

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Термодинамика

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

---

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.06 Термодинамика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

| Формируемые компетенции<br>(код, содержание компетенции)                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Наименование оценочного средства    |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                   | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Для текущего контроля успеваемости  | Для промежуточной аттестации  |
| ПК-13: Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике | <p>ПК-13.1: Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике</p> <p>ПК-13.2: Знает математические методы обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</p> <p>ПК-13.3: Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности</p> <p>ПК-13.4: Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</p> | <p>ПК-13.1: Знает понятия, основные законы и принципы, описывающие физические явления, а также следствия, вытекающие из этих законов и принципов, имеющие теоретическое и прикладное значение;</p> <p>ПК-13.2: Знает математические методы, используемые для постановки и решения задач термодинамики и статистической физики.</p> <p>ПК-13.3: Умеет адекватно описывать физические явления, составлять и анализировать их математические модели, использовать математические методы исследования этих моделей</p> <p>ПК-13.4: Владеет навыками составления математических моделей, описывающих физические явления в области термодинамики и статистической физики, и</p> | Собеседование<br>Контрольная работа | Зачёт:<br>Контрольные вопросы |

|  |  |                                |  |  |
|--|--|--------------------------------|--|--|
|  |  | методами их решения и анализа. |  |  |
|--|--|--------------------------------|--|--|

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|                                                                          |                          |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                                                                          | <b>очная</b>             |
| <b>Общая трудоемкость, з.е.</b>                                          | <b>3</b>                 |
| <b>Часов по учебному плану</b>                                           | <b>108</b>               |
| в том числе                                                              |                          |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>                           |                          |
| - занятия лекционного типа                                               | <b>36</b>                |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | <b>36</b>                |
| - КСР                                                                    | <b>1</b>                 |
| <b>самостоятельная работа</b>                                            | <b>35</b>                |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                                          | <b>0</b><br><b>Зачёт</b> |

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего       |                                           |
|                                        | 0<br>Ф<br>0  | 0<br>Ф<br>0                                                                | 0<br>Ф<br>0                                                                | 0<br>Ф<br>0 | 0<br>Ф<br>0                               |
| Законы термодинамики                   | 26           | 9                                                                          | 9                                                                          | 18          | 8                                         |
| Термодинамические методы и теоремы     | 27           | 9                                                                          | 9                                                                          | 18          | 9                                         |
| Статистическая физика                  | 33           | 12                                                                         | 12                                                                         | 24          | 9                                         |
| Физическая кинетика                    | 21           | 6                                                                          | 6                                                                          | 12          | 9                                         |
| Аттестация                             | 0            |                                                                            |                                                                            |             |                                           |
| КСР                                    | 1            |                                                                            |                                                                            | 1           |                                           |
| Итого                                  | 108          | 36                                                                         | 36                                                                         | 73          | 35                                        |

#### Содержание разделов и тем дисциплины

##### 1. 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 процессов.

## 2. 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.

## 3. 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.

## 4. 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.

## 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

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>.

Иные учебно-методические материалы:

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

2. 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>

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

## 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-13:**

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.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

| Оценка     | Критерии оценивания                                                   |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.      |

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) 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.

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

#### Задача 2.

Поршневым воздушным насосом откачивают сосуд объемом  $V$ . За один цикл (ход поршня) насос захватывает объем  $\Delta V$ . Через сколько циклов давление в сосуде уменьшится в  $\eta$  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?

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

#### Задача 2.

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

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

## Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

| Оценка     | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты представлены преподавателю в срок.                                                         |
| не зачтено | Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю) |

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций) | плохо             | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо           | очень хорошо     | отлично          | превосходно      |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                                         | не зачтено        |                     | зачтено           |                  |                  |                  |                  |
| Знания                                                                  | Отсутствие знаний | Уровень знаний ниже | Минимально        | Уровень знаний в | Уровень знаний в | Уровень знаний в | Уровень знаний в |

|               |                                                                                                              |                                                                                                |                                                                                                                              |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                   |                                                                                                                          |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа      | минимальных требований. Имели место грубые ошибки                                              | допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок                                                                    | объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок                                                                          | объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок                                                | объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.                                                                                         | объеме, превышающем программу подготовки.                                                                                |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. 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                                      | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами                                                                   | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов                                                | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов                                                                  | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач                                                        |

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка  |                          | Уровень подготовки                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено | <b>превосходно</b>       | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
|         | <b>отлично</b>           | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».                                                                                                                            |
|         | <b>очень хорошо</b>      | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»                                                                                                                        |
|         | <b>хорошо</b>            | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».                                                                                                                             |
|         | <b>удовлетворительно</b> | 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»                                     |

|                   |                            |                                                                        |
|-------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>не зачтено</b> | <b>неудовлетворительно</b> | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
|                   | <b>плохо</b>               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»                |

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-13**

##### **I. Законы термодинамики**

1. Нулевой закон термодинамики
2. Первый закон термодинамики
3. Второй закон термодинамики
4. Коэффициент полезного действия общего цикла Карно. Абсолютная
5. Теплоемкость.
6. Политропические процессы.
7. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла
8. Энтропия
9. Общая формулировка второго закона термодинамики. Направление реальных процессов

##### **II. Термодинамические методы и теоремы**

1. Термодинамические потенциалы
2. Соотношения между производными термодинамических величин
3. Термодинамическая шкала температуры - практическая реализация
4. Процесс Джоуля-Томсона
5. Максимальная работа
6. Термодинамические неравенства
7. Принцип Ле-Шателье
8. Теорема Нернста

9. Условие отсутствия конвекции
10. Условие равновесия многокомпонентных систем
11. Правило фаз Гиббса

### III. Статистическая физика

1. Основные принципы статистической физики
2. Теорема Лиувилля
3. Микроканоническое распределение
4. Энтропия (статистическое определение)
5. Распределение Гиббса (каноническое)
6. Свободная энергия в распределении Гиббса
7. Распределение Максвелла
8. Термодинамический потенциал омега
9. Распределение Гиббса с переменным числом частиц (большое каноническое)
10. Распределение Больцмана
11. Уравнение состояния идеального газа (статистический вывод)
12. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы
13. Распределение Ферми-Дирака
14. Распределение Бозе-Эйнштейна
15. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц

### IV. Физическая кинетика

1. Уравнение теплопроводности
2. Простейшие стационарные задачи теплопроводности
3. Нестационарные задачи теплопроводности. Теорема единственности
4. Принцип суперпозиции температур. Температурные волны
5. Явления переноса
6. Вязкость газов

## Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка     | Критерии оценивания                                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено    | Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.             |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач. |

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Базаров Иван Павлович. Методологические проблемы статистической физики и термодинамики. - М. : Изд-во МГУ, 1979. - 87 с. : ил. - 0.20., 2 экз.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика : учебник для вузов / Савельев И. В. - 19-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 436 с. - Допущено Научно-методическим советом по физике Министерства образования и науки РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим (550000) и технологическим (650000) направлениям. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-507-48093-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=867137&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Кубо Риого. Термодинамика : Современный курс с задачами и решениями / сост. при участии Х. Ичимура [и др.] ; пер. с англ. А. Г. Башкирова, Е. Е. Тареевой ; под ред. Д. Н. Зубарева, Н. М. Плакиды. - М. : Мир, 1970. - 304 с. : граф. - 30.00., 25 экз.
2. Ландау Лев Давидович. Курс общей физики : Механика и молекулярная физика : [для втузов]. - М. : Наука, 1965. - 384 с. : черт. - 0.80., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

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 (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную

информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Панасенко Адольф Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

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

Заведующий кафедрой: Иванченко Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.