

№ 2750

Н.Ю. Обвинцева  
О.В. Рычкова

## **Физика**

Молекулярная физика и термодинамика

Сборник задач

**№ 2750**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра физики

Н.Ю. Обвинцева  
О.В. Рычкова

# Физика

Молекулярная физика и термодинамика

Сборник задач

Рекомендовано редакционно-издательским  
советом университета



Москва 2016

УДК 536  
О-13

Рецензент  
д-р физ.-мат. наук, проф. *И.А. Васильева* (МПГУ)

**Обвинцева Н.Ю.**

О-13 Физика : молекулярная физика и термодинамика : сб. задач / Н.Ю. Обвинцева, О.В. Рычкова. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2016. – 65 с.  
ISBN 978-5-87623-988-4

Сборник задач предназначен для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов по основным темам раздела «Молекулярная физика и термодинамика». По каждой теме даны краткие теоретические сведения, которые используются при решении задач, примеры решения задач и качественные вопросы. Задачи для самостоятельной работы по каждой теме расположены в порядке возрастания их трудности. В приложении даны необходимые справочные данные.

Предназначен для студентов НИТУ «МИСиС» всех направлений подготовки, обучающихся на кафедре физики.

**УДК 536**

**ISBN 978-5-87623-988-4**

© Н.Ю. Обвинцева,  
О.В. Рычкова, 2016  
© НИТУ «МИСиС», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Основы молекулярно-кинетической теории газов.....	4
Тема 2. Статистические распределения .....	12
Тема 3. Явления переноса в газах .....	20
Тема 4. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота .....	27
Тема 5. Термодинамические циклы. Цикл Карно .....	36
Тема 6. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики.....	43
Тема 7. Термодинамические свойства реальных газов.....	50
Ответы на задачи .....	54
Приложение.....	59
Библиографический список .....	64

# ТЕМА 1. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ

*Основные понятия и определения молекулярной физики и термодинамики.*

*Давление. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.*

*Температура и средняя кинетическая энергия теплового движения молекул.*

*Законы идеальных газов.*

*Уравнение состояния идеального газа.*

## 1.1. Основные законы и формулы

Молярная масса газа

$$M = m_0 N_A,$$

где  $m_0$  – масса одной молекулы;  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> – число Авогадро.

Масса газа

$$m = m_0 N,$$

где  $N$  – число молекул в объеме газа  $V$ .

Количество вещества

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}.$$

Зависимость давления газа от концентрации молекул  $n$  и температуры  $T$

$$p = nkT,$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  – постоянная Больцмана ( $k = R/N_A$ );

здесь  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  – газовая постоянная.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v \rangle^2,$$

или

$$pV = \frac{2}{3} N \left( \frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2} \right) = \frac{2}{3} E,$$

или

$$pV = \frac{1}{3} N m_0 \langle v \rangle^2 = \frac{1}{3} m \langle v \rangle^2,$$

где  $\langle v \rangle$  – средняя квадратичная скорость молекул;  $E$  – суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа.

Средняя квадратичная скорость молекул

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\langle v \rangle^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

Средняя кинетическая энергия:

– приходящаяся на одну степень свободы:

$$\langle \epsilon_1 \rangle = 1/2 kT;$$

– поступательного движения молекулы идеального газа:

$$\langle \epsilon_{\text{п}} \rangle = 3/2 kT;$$

– вращательного движения:

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle = (i - 3)/2 kT;$$

– колебательного движения:

$$\langle \epsilon_{\text{кол}} \rangle = kT.$$

Полная энергия молекулы

$$\langle \epsilon \rangle = i/2 kT,$$

где  $i$  – число степеней свободы:  $i = i_{\text{п}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{кол}}$ .

*Закон Больцмана* о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул: для статистической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, на каждую поступательную и вращательную степень свободы приходится в среднем кинетическая энергия, равная  $kT/2$ , а на каждую колебательную степень свободы – в среднем энергия, равная  $kT$ .