



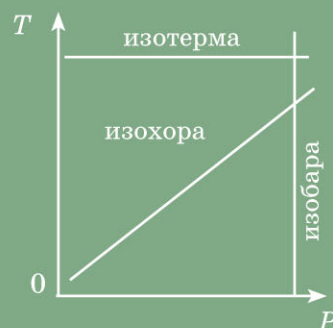
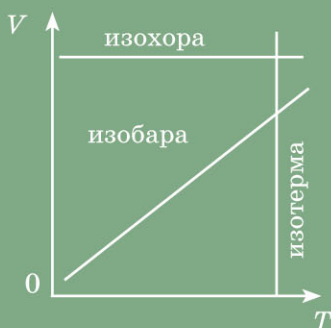
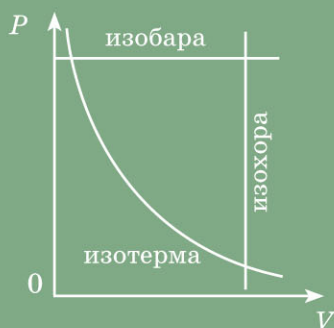
К. К. Щегольков

Решение задач школьного курса  
элементарной физики

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Учебное пособие  
для учащихся старших классов  
общеобразовательных учебных заведений

$$pV = \frac{m}{M} RT$$



Москва

2020

УДК 53(076.5)

ББК 22.3я73

Щ 34

**Щегольков К.К.**

Щ 34 Решение задач школьного курса элементарной физики. Молекулярная физика и термодинамика: Учебное пособие для учащихся старших классов общеобразовательных учебных заведений / К.К. Щегольков. – М.: Прометей, 2020. – 52 с.

Учебное пособие содержит типовые задачи и их подробные решения. Пособие может быть рекомендовано учащимся старших классов средних общеобразовательных учебных заведений и абитуриентам технических вузов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ) .....	4
2. Законы идеального газа. Уравнение состояния. ....	11
3. Термодинамика. Внутренняя энергия и работа расширения газов. Теплоёмкость.....	24
4. Тепловое расширение тел .....	39
5. Парообразование и конденсация. Насыщенный пар. Влажность. ....	42

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (МКТ)

1. Вещество состоит из частиц (молекул и атомов). В одном моле вещества содержится  $N_A = 6,02 * 10^{23}$  молекул независимо от агрегатного состояния вещества (число  $N_A$  называется числом Авагадро).

2. Молекулы в веществе находятся в непрерывном тепловом движении.

3. Характер теплового движения молекул зависит от характера взаимодействия молекул и изменяется при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое.

4. Интенсивность теплового движения молекул зависит от степени нагретости тела, характеризуемой абсолютной температурой  $T$ .

5. Полная энергия  $E$  тела является суммой следующих слагаемых

$$E = E_k + E_{\text{п}} + U,$$

где  $E_k$  — кинетическая энергия тела как целого,

$E_{\text{п}}$  — потенциальная энергия тела как целого в некотором внешнем поле,

$U$  — энергия, связанная с тепловым движением молекул тела; её называют внутренней энергией тела.

МКТ экспериментально обоснована. К числу её обоснований относятся:

- возможность механического дробления вещества;
- растворение веществ в растворителях;
- сжатие и расширение газов;
- тепловое сжатие и расширение веществ;
- диффузия;
- броуновское движение.

В международной системе единиц количество вещества выражают в молях.

Моль — число граммов вещества, численно равное относительной молекулярной массе вещества  $M_r$  (молекулярному весу). В одном моле любого вещества содержится одно и тоже число атомов или молекул, т.е.

$$N_A = 6,02 * 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

Столько молекул содержится в 2г водорода, 18г воды. Размеры атома

$$D \approx 10^{-8} \text{ см} = 10^{-10} \text{ м}$$

За единицу массы атомов и молекул принимается  $\frac{1}{12}$  массы атома углерода. Она называется атомной единицей массы (а.е.м.)

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 * 10^{-27} \text{ кг.}$$

Относительной молекулярной массой называется отношение массы молекулы к  $\frac{1}{12}$  массы атома углерода

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{\text{oc}}}$$

Моль—количество вещества, содержащее столько же молекул (или атомов) сколько содержится атомов в углероде массой 0,012кг.

Если количество вещества  $\nu = 2,5$  моль, то число молекул в нём

$$N = \nu N_A = 1,5 * 10^{24}$$

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad [\nu] = \text{моль}$$

Молярной массой  $M$  вещества называют массу вещества, взятого в количестве одного моля

$$M = m_0 N_A; \quad M \approx 10^{-3} M_r; \quad [M] = \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$M = \frac{m}{\nu}; \quad \nu = \frac{m}{M}; \quad m = m_0 N \quad (m \text{ — масса вещества})$$

$$N = \nu N_A = N_A \frac{m}{M}; \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

Основное уравнение МКТ идеального газа

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon},$$

т.е. давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул  $n$  на среднюю кинетическую энергию  $\bar{\epsilon}$  поступательного движения молекул.

Под идеальным газом понимается упрощённая модель реального газа. К нему применимы известные газовые законы. В случае идеального газа пренебрегают не самим взаимодействием молекул, а энергией их взаимодействия, в результате чего внутренняя энергия газа  $U$  представляется просто как сумма кинетических энергий молекул.

Газ может рассматриваться как идеальный, если он достаточно нагрет и разряжён. Такие газы, как азот или кислород, в обычных условиях с хорошей

точностью могут рассматриваться как идеальные газы. Под обычными условиями следует понимать условия, близкие к нормальным

$$T = 273\text{К}, \quad p = 10^5\text{Па}$$

Абсолютная температура  $T$  является мерой средней кинетической энергии движения молекул газа  $T = 273 + t^0\text{C}$ ,  $[T] = \text{К}$ . Для идеального газа

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT, \quad \text{где } k = 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \text{ — постоянная Больцмана.}$$

Подставив  $\bar{E}$  в основное уравнение МКТ идеального газа, получим

$$p = nkT \text{ — зависимость давления газа от концентрации } n = \frac{N}{V} \text{ и}$$

температуры.

Среднеквадратическая скорость движения молекул

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad \text{или} \quad \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad \text{где } R = kN_A \text{ — универсальная газовая постоянная}$$

$$R = 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * 6,02 * 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}}$$

### Вопросы и задачи

1. Определить среднюю квадратичную скорость молекул углекислого газа при температуре  $127^0\text{C}$ .

### **Решение**

$$M = 0,044 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$t = 127^0\text{C}; \quad T = 400\text{К}$$

$$N_A = 6 * 10^{23} \text{моль}^{-1}$$

$$k = 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Из выражения для средней кинетической энергии движения молекул газа

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} \quad \text{определим}$$

среднюю квадратичную скорость как

$$\sqrt{\overline{v^2}} = ?$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \quad \text{где масса молекулы газа } m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$\text{Окончательно } \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M}} = \sqrt{\frac{3 * 1,38 * 10^{-23} * 6 * 10^{23} * 400}{0,044}} = 475,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } \sqrt{\overline{v^2}} = 475,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. При какой температуре средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа будет в 2 раза больше, чем при температуре  $-73^0\text{C}$ ?