

## 7 ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО - КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТА СТАТИСТИЧНОЇ ФІЗИКИ

### ЗВЕДЕННЯ ОСНОВНИХ ФОРМУЛ

#### 7.1 Кількість речовини

$$\nu = \frac{m}{M}, \text{ або } \nu = \frac{N}{N_A},$$

де  $N$  – кількість структурних елементів системи;  $N_A$  – стала Авогадро.

#### 7.2 Молярна маса речовини

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

Масу моля називають **молярною масою**  $M$ . Маса моля, визначена в г/моль, чисельно відносній молекулярній масі:  $M = M_r$ , г/моль, або в кг/моль:  $M = 0,001 \cdot M_r$ , кг/моль.

**7.3 Концентрація** частинок однорідної системи обчислюється за формулою

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \rho}{M},$$

де  $V$  - об'єм системи;  $\rho$  – густина речовини.

**7.4 Основне рівняння** молекулярно-кінетичної теорії газів

$$p = \frac{1}{3} n m \langle v_{\text{кв}}^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle,$$

де  $p$  - тиск газу;  $n$  - концентрація атомів чи молекул;  $m$  - маса;  $\langle v_{ке} \rangle$  - квадратична швидкість;  $\langle E_k \rangle$  - середня кінетична енергія поступального руху молекули.

### 7.5 Середня кінетична енергія, що припадає:

а) на один ступінь вільності молекули

$$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{kT}{2};$$

б) на всі ступені вільності молекули (повна енергія молекули)

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

де  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – термодинамічна температура;  $i$  - кількість ступенів вільності молекули.

**Середня кінетична енергія поступального руху молекул**

$$\langle \varepsilon_k \rangle = \frac{3}{2} kT.$$

**7.6 Залежність тиску газу від концентрації молекул і температури**

$$p = nkT.$$

### 7.7 Швидкість молекул:

а) середня квадратична

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \text{ або } \langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}};$$

б) середня арифметична

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \text{ або } \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$$

в) найбільш імовірна

$$v_i = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \text{ або } v_i = \sqrt{\frac{2RT}{M}},$$

де  $m$  - маса однієї молекули.

## ОСНОВИ СТАТИСТИЧНОЇ ФІЗИКИ

**7.8 Розподіл Больцмана** (розподіл частинок у силовому полі)

$$n = n_0 e^{-\frac{E_n}{kT}},$$

де  $n$  - концентрація частинок;  $E_n$  - потенціальна енергія;  $n_0$  – концентрація частинок у точках поля, де  $E_n = 0$ ;  $k$  - стала Больцмана;  $T$  - термодинамічна температура.

**7.9 Барометрична формула** (розподіл тиску в однорідному полі сили тяжіння)

$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \text{ або } p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}},$$

де  $p$  - тиск газу;  $m$  - маса частинки;  $M$  - молярна маса;  $h$  - координата (висота) точки відносно нульового рівня;  $p_0$  - тиск на цьому рівні;  $g$  - прискорення вільного падіння;  $R$  - молярна газова стала.

**7.10** Імовірність того, що фізична величина  $x$ , яка характеризує молекулу, міститься в інтервалі значень від  $x$  до  $x+dx$  і дорівнює

$$dW(x) = f(x)dx,$$

де  $f(x)$  - функція розподілу молекул за значеннями даної фізичної величини  $x$  (густина імовірності).

Кількість молекул, для яких фізична величина  $x$ , що характеризує їх, міститься в інтервалі значень від  $x$  до  $x+dx$

$$dN = NdW(x) = Nf(x)dx.$$

**7.11 Розподіл Максвелла** (розподіл молекул за швидкостями) визначається співвідношеннями:

а) кількість молекул, модулі швидкості яких є у межах від  $v$  до  $v + dv$  :

$$dN(v) = Nf(v)dv = 4\pi N \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv,$$

де  $f(v)$  - функція розподілу молекул за абсолютними значеннями швидкостей, яка відображає відношення імовірності того, що швидкість молекули міститься в інтервалі від  $v$  до  $v + dv$ , до величини цього інтервалу, а також частину кількості молекул, швидкості яких є у зазначеному інтервалі;  $N$  - загальна кількість молекул;  $m$  - маса молекули;

б) кількість молекул, відносні швидкості яких змінюються у межах від  $u$  до  $u + du$  :

$$dN(u) = Nf(u)du = \frac{4}{\sqrt{\pi}} Ne^{-u^2} u^2 du ,$$

де  $u = \frac{v}{v_i}$  - відносна швидкість, тобто відношення швидкості  $v$  до найбільш імовірної швидкості  $v_i$ ;  $f(u)$  - функція розподілу за відносними швидкостями.

**7.12 Розподіл молекул за імпульсами.** Кількість молекул, імпульси яких змінюються у межах від  $p$  до  $p+dp$  :

$$dN(p) = Nf(p)dp = 4\pi N \left( \frac{1}{2\pi mkT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{p^2}{2mkT}} p^2 dp ,$$

де  $f(p)$  - функція розподілу за імпульсами.

**7.13 Розподіл молекул за енергіями.** Кількість молекул, енергії яких змінюються у межах від  $E$  до  $E+dE$ :

$$dN(E) = Nf(E)dE = \frac{2}{\sqrt{\pi}} N \frac{e^{-\frac{E}{kT}}}{(kT)^{\frac{3}{2}}} E^{\frac{1}{2}} dE ,$$

де  $f(E)$  - функція розподілу за енергіями.

**7.14 Середнє значення фізичної величини  $x$  в загальному випадку**

$$\langle x \rangle = \frac{\int xf(x)dx}{\int f(x)dx} ,$$

у випадку, якщо функція розподілу нормована на одиницю:

$$\langle x \rangle = \int x f(x) dx,$$

де  $f(x)$  - функція розподілу, а інтегрування проводиться за змінами величини  $x$ .

Наприклад, середнє значення швидкості (середня арифметична швидкість)

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv,$$

– середня квадратична швидкість

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle},$$

$$\text{де } \langle v^2 \rangle = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv.$$

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

**Приклад 7.1** У посудині, об'єм якої складає  $V = 3 \text{ л}$  міститься  $m = 4 \text{ г}$  кисню. Визначити кількість речовини газу та концентрацію його молекул.

**Розв'язання**

Кількість речовини визначається співвідношенням

$v - ?$	$n - ?$
$V = 3 \text{ л}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ,
$m = 4 \text{ г}$	$4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ .

$$v = \frac{m}{M},$$

де  $M$  - молярна маса або маса моля речовини.

Маса моля, визначена в  $\text{г/моль}$ , чисельно дорівнює відносній молекулярній масі:  $M = M_r \cdot \text{г/моль}$ , або в  $\text{кг/моль}$ :  $M = 0,001 \cdot M_r \cdot \text{кг/моль}$ . Для кисню  $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

Підставимо числові значення

$$v = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} = 0,125 (\text{моль}).$$

Концентрацію частинок знайдемо із співвідношення

$$n = \frac{N}{V} = \frac{v \cdot N_A}{V},$$

де  $N_A$  - число Авогадро, воно дорівнює кількості молекул в одному молі речовини.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

Підставимо числові значення величин

$$n = \frac{0,125 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ (м}^{-3}\text{)}.$$

**Відповідь:**  $\nu = 0,125 \text{ моль}$ ;  $n = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

**Приклад 7.2** Знайти молярну масу суміші кисню масою  $m_1 = 15 \text{ г}$  і гелію масою  $m_2 = 10,0 \text{ г}$ .

**Розв'язання**

Молярна маса суміші дорівнює відношенню її маси до кількості речовини суміші:

$$M_{\text{сум}} = m_{\text{сум}} / \nu_{\text{сум}}. \quad (1)$$

Маса суміші дорівнює сумі

мас її компонентів

$$m_{\text{сум}} = m_1 + m_2. \quad (2)$$

Кількість речовини суміші дорівнює сумі кількості речовини компонентів:

$$\nu_{\text{сум}} = \nu_1 + \nu_2 = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}, \quad (3)$$

де  $M_1 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ,  $M_2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  – молярні маси кисню та гелію відповідно.

Підставимо вирази (2), (3) в (1) та отримаємо



$$M_{\text{сум}} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 / M_1 + m_2 / M_2} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/моль)}.$$

**Відповідь:**  $M_{\text{сум}} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$

**Приклад 7.3** Визначити кількість  $N$  молекул ртуті, що містяться у  $V = 1 \text{ м}^3$  повітря у приміщенні, забрудненому ртуттю, при температурі  $T = 20^\circ \text{ C}$ , якщо тиск насиченої пари ртуті при цій температурі дорівнює  $p = 0,13 \text{ Па}$ .

**Розв'язання**

$N - ?$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $V = 1 \text{ м}^3,$ $T = 20^\circ \text{ C} = 293 \text{ K},$ $p = 0,13 \text{ Па}.$	<p>Залежність тиску газу від концентрації молекул і температури визначається співвідношенням</p> $p = nkT, \quad (1)$
--	---

де  $p$  - тиск газу;  $T$  - його температура;  $n$  - концентрація атомів чи молекул.

Кількість молекул знайдемо із співвідношення

$$n = \frac{N}{V} \Rightarrow N = n \cdot V. \quad (2)$$

З (1) знайдемо концентрацію молекул

$$n = \frac{p}{kT},$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  - стала Больцмана, і підставимо в (2)

$$N = \frac{p \cdot V}{kT}.$$

Підставимо числові значення величин у отриманий вираз

$$N = \frac{0,13 \cdot 1}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293} = 3,2 \cdot 10^{-19}.$$

**Відповідь:**  $N = 3,2 \cdot 10^{-19}$ .

**Приклад 7.4** Визначити середню кінетичну енергію обертального руху  $\langle \varepsilon_{OB} \rangle$  однієї молекули азоту при температурі  $T = 7^{\circ}C$ , а також кінетичну енергію обертального руху усіх молекул цього газу, коли його маса  $m = 4 \text{ г}$ .

$$\langle \varepsilon_{OB} \rangle - ? \quad W_{OB} - ?$$

$$T = 7^{\circ}C = 280 \text{ K},$$

$$m = 4 \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

#### Розв'язання

Відомо, що на кожний ступінь вільності молекули газу припадає однакова середня енергія

$$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{kT}{2}, \quad (1)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  - стала Больцмана.

Оскільки молекула азоту є двохатомною, то вона має два обертальні ступені вільності, а отже, середня кінетична енергія обертального руху молекули азоту

$$\langle \varepsilon_{OB} \rangle = 2 \cdot \frac{kT}{2} = kT.$$

Підставимо в цю формулу числові значення

$$\langle \varepsilon_{OB} \rangle = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 280 = 3,86 \cdot 10^{-21} \text{ (Дж)}.$$

Середня кінетична енергія усіх молекул газу визначається співвідношенням

$$W_{OB} = N \cdot \langle \varepsilon_{OB} \rangle. \quad (2)$$

Врахуємо, що кількість молекул системи дорівнює добутку сталої Авогадро на кількість речовини, то формулу (2) можна записати у вигляді

$$W_{OB} = \nu \cdot N_A \cdot \langle \varepsilon_{OB} \rangle = \frac{m}{M} \cdot N_A \cdot \langle \varepsilon_{OB} \rangle, \quad (3)$$

де  $m$  - маса газу;  $M$  - його молярна маса. Молярна маса азоту  $M = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ , число Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

Підставимо в (3) числові значення величин та виконаємо обчислення

$$W_{OB} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{28 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,86 \cdot 10^{-21} = 332 \text{ (Дж)}.$$

**Відповідь:**  $\langle \varepsilon_{OB} \rangle = 3,86 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;  $W_{OB} = 332 \text{ Дж}$ .

**Приклад 7.5** Перрен експериментально встановив значення числа Авогадро шляхом спостережень за зміною концентрації завислих частинок гуммігута з застосуванням барометричної формули. В одному із своїх дослідів Перрен виявив, що при відстані між двома шарами  $d = 100 \text{ мкм}$  кількість частинок гуммігута в одному шарі вдвічі більша, ніж в іншому. Температура

гуммігута  $T = 20^{\circ}C$ . Частинки гуммігута мають діаметр  $d = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вони знаходяться у завислому стані у рідині, густина якої на  $\Delta\rho = 0,2 \text{ г/см}^3$  менша за густину частинок. Знайти за цими даними значення число Авогадро.

**Розв'язання**

$$N_A - ?$$

$$\Delta h \quad h_2 - h_1 = 100 \text{ мкм} = 10^{-4} \text{ м},$$

$$T = 20^{\circ}C = 293 \text{ К},$$

$$d = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$N_1 = 2N_2,$$

$$\Delta\rho = 0,2 \text{ г/см}^3 = 200 \text{ кг/м}^3.$$

Візьмемо барометричну формулу

$$p = p_0 e^{-\frac{Mgz}{RT}}, \quad (1)$$

де  $p$  - тиск газу;  $m$  - маса частинки;  $M$  - молярна маса;  $z = h$  - координата (висота) точки відносно нульового рівня;  $p_0$  - тиск на цьому рівні;

$g$  - прискорення вільного падіння;  $R$  - газова стала.

**Залежність тиску газу** від концентрації молекул і температури визначається співвідношенням

$$p = nkT. \quad (2)$$

Підставимо (2) в (1) та отримаємо відповідно для висот  $h_1$  та  $h_2$

$$n_1 = n_0 e^{-\frac{Mgh_1}{RT}} \quad \text{і} \quad n_2 = n_0 e^{-\frac{Mgh_2}{RT}}.$$

Звідки

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{Mg(h_1-h_2)}{RT}} = e^{-\frac{Mg\Delta h}{RT}}.$$

Або

$$\ln \frac{n_1}{n_2} = -\frac{Mg\Delta h}{RT}. \quad (3)$$

Оскільки маса частинки дорівнює

$$m = \frac{M}{N_A},$$

то формулу (3) можна записати так:

$$\ln \frac{n_1}{n_2} = -\frac{mN_A g \Delta h}{RT}.$$

Звідки, враховуючи поправку на закон Архімеда, отримаємо

$$N_A = \frac{RT \ln \frac{n_1}{n_2}}{gV\Delta\rho\Delta h}.$$

Об'єм частинки

$$V = \frac{\pi d^3}{6},$$

тоді

$$N_A = \frac{6RT \ln \frac{n_1}{n_2}}{g\pi d^3 \Delta\rho \Delta h}$$

Підставимо числові значення та отримаємо

$$N_A = \frac{6 \cdot 8,31 \cdot 293 \ln 2}{9,8 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-7})^3 \cdot 200 \cdot 10^{-4}} = 6,1 \cdot 10^{23} \text{ (моль}^{-1}\text{)}.$$

**Відповідь:**  $N_A = 6,1 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

## ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

7.1 Виразувати масу  $M$  моля електронів.

**Відповідь:**  $M = 5,49 \cdot 10^{-7} \text{ кг/моль}$ .

7.2 Скільки молекул міститься в  $1 \text{ см}^3$  води? Яка маса молекули води? Чому наближено дорівнює діаметр молекули води?

**Відповідь:**  $n = 3,33 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ ;  $m = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ ;  $d = 0,311 \text{ нм}$ .

7.3 За 10 діб повністю випарувалося із стакана  $100 \text{ г}$  води. Скільки в середньому молекул вилітало з поверхні води за  $1 \text{ с}$ ?

**Відповідь:**  $N \approx 4 \cdot 10^{18}$ .

7.4 У балоні об'ємом  $V = 5 \text{ л}$  міститься кисень масою  $m = 20 \text{ г}$ .

Визначити концентрацію  $n$  молекул у балоні.

**Відповідь:**  $n = 7,52 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

7.5 У посудині об'ємом  $V = 2,24 \text{ л}$  за нормальних умов міститься кисень. Визначити кількість речовини  $\nu$  і масу кисню, а також концентрацію  $n$  його молекул у посудині.

**Відповідь:**  $\nu = 0,1 \text{ моль}$ ;  $m = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

**Відповідь:**  $\nu = 0,223 \text{ моль}$ ;  $m = 6,24 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $n = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

7.6 За якої температури середня арифметична швидкість молекули кисню дорівнює  $\langle v \rangle = 495 \text{ м/с}$  ?

**Відповідь:**  $T = 370 \text{ К}$ .

7.7 Визначити середню квадратичну швидкість молекул: а) кисню при  $T_1 = 405 \text{ К}$ ; б) гелію при  $T_2 = 0,1 \text{ К}$ .

**Відповідь:** а)  $\langle v_{\text{кв}} \rangle_1 = 562 \text{ м/с}$ ; б)  $\langle v_{\text{кв}} \rangle_2 = 24,5 \text{ м/с}$ .

7.8 Визначити середню арифметичну та найбільш імовірну швидкості молекул вуглекислого газу при температурі  $T = 405 \text{ К}$ .

**Відповідь:**  $\langle v \rangle = 441 \text{ м/с}$ ;  $v_i = 391 \text{ м/с}$ .

7.9 Обчислити середню кінетичну енергію поступального руху молекул гелію при температурі  $T = 300 \text{ К}$ .

**Відповідь:**  $\langle \varepsilon_k \rangle = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ .

7.10 Знайти середню квадратичну  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , середню арифметичну  $\langle v \rangle$  та найбільш імовірну  $v_i$  швидкості молекул водню. Підрахунки виконати для трьох значень температури: а)  $T = 20 \text{ К}$ ; б)  $T = 300 \text{ К}$ ; в)  $T = 5 \text{ К}$ .

**Відповідь:**

а)  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 500 \text{ м/с}$ ;  $\langle v \rangle = 462 \text{ м/с}$ ;  $v_i = 407 \text{ м/с}$ ;

б)  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 1940 \text{ м/с}$ ;  $\langle v \rangle = 1790 \text{ м/с}$ ;  $v_i = 1580 \text{ м/с}$ ;

в)  $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 7900 \text{ м/с}$ ;  $\langle v \rangle = 7300 \text{ м/с}$ ;  $v_i = 6480 \text{ м/с}$ .

7.11 При тиску  $p = 10^5 \text{ Па}$  в  $V = 1 \text{ м}^3$  міститься  $N = 2,7 \cdot 10^{25}$  молекул повітря. Обчислити їх найбільш імовірну швидкість.

**Відповідь:**  $v_i = 400 \text{ м/с}$ .

7.12 Деяка маса кисню перебуває у такому стані: температура  $T = 300 \text{ К}$  і тиск  $p = 10^5 \text{ Па}$ . Середня кінетична енергія поступального руху молекул кисню  $W = 6,3 \text{ Дж}$ . Обчислити кількість молекул кисню, його об'єм і масу.

**Відповідь:**  $N = 10^{21}$ ;  $V = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ ;  $m = 54 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ .

**7.13** Визначити повну енергію всіх молекул  $0,1 \text{ кг}$  гелію і азоту при  $T=27^0 \text{ С}$ .

**Відповідь:** Для гелію  $W = 93,5 \text{ кДж}$ , для азоту  $W = 22,3 \text{ Дж}$ .

**7.14** При якій температурі середня кінетична енергія теплового руху атомів гелію буде достатньою для того, щоб атоми гелію подолали притягання Землі та назавжди залишили її атмосферу? Розв'язати аналогічну задачу для умов Місяця.

**Відповідь:** а)  $T = 20\,000 \text{ К}$ ; б)  $T = 900 \text{ К}$ .

**7.15** Ротор центрифуги обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ . Використовуючи функцію розподілу Больцмана, встановити розподіл концентрації  $n$  частинок масою  $m$ , які розміщені у роторі центрифуги, як функцію відстані  $r$  від осі обертання.

**Відповідь:**  $n = n_0 e^{m\omega^2 r^2 / (2kT)}$ .

**7.16** Ротор центрифуги, радіус якої дорівнює  $a = 0,4 \text{ м}$ , обертається з кутовою швидкістю  $\omega = 500 \text{ рад/с}$ . Визначити молярну масу газу, якщо тиск біля стінки ротора в  $2,5$  рази більший за тиск в його центрі. Який це газ?

**Відповідь:**  $M = 84 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ , криптон.

**7.17** Закрита з одного боку труба довжиною  $l = 1 \text{ м}$  обертається навколо перпендикулярної до неї осі, яка проходить через відкритий кінець труби із кутовою швидкістю  $\omega = 62,8 \text{ рад/с}$ . Тиск оточуючого повітря складає  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ , а температура  $T = 20^0 \text{ С}$ . Знайти тиск повітря біля закритого кінця.

**Відповідь:**  $p = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**7.18** Яка частина молекул кисню при  $T=0^0 \text{ С}$  має швидкість від  $v_1 = 100 \text{ м/с}$  до  $v_2 = 110 \text{ м/с}$ ?

**Відповідь:**  $\frac{\Delta N}{N} = 0,4\%$ .



7.19 Яка частина молекул азоту при  $T=150^0$  С має швидкість від  $v_1 = 300$  м/с до  $v_2 = 325$  м/с ?

**Відповідь:**  $\frac{\Delta N}{N} = 2,8\%$ .

7.20 Визначити частку  $w$  молекул ідеального газу, енергії яких відрізняються від середньої енергії  $\langle \varepsilon_{II} \rangle$  поступального руху при тій самій температурі не більше ніж на 1%.

**Відповідь:**  $w = 9,3 \cdot 10^{-3}$ .

7.21 У балоні міститься  $m = 8$  г кисню при температурі  $T = 1600$  К. Яка кількість молекул має кінетичну енергію поступального руху більшу за  $\langle \varepsilon_K \rangle > 6,65 \cdot 10^{-29}$  Дж ?

**Відповідь:**  $\frac{\Delta N}{N} = 12\%$ .

7.22 Висотна космічна станція міститься на висоті 3250 м над рівнем моря. Знайти тиск повітря на цій висоті. Температура повітря стала і дорівнює  $T=5^0$  С. Тиск повітря на рівні моря дорівнює 760 мм.рт.ст.

**Відповідь:**  $p = 510$  мм.рт.ст.

7.23 На якій висоті тиск повітря складає 75% тиску на рівні моря? Температура стала і дорівнює  $T=0^0$  С.

**Відповідь:**  $h = 2,3$  км.

7.24 На якій висоті густина повітря складає 50% від його густини на рівні моря? Температура стала і дорівнює  $T=0^0$  С.

**Відповідь:**  $h = 5,5$  км.

7.25 Визначити тиск: а) на висоті 5 км; б) на висоті 10 км; в) в шахті на глибині 2 км. Вважати атмосферу ізотермічною ( $T = 293$  К), а прискорення вільного падіння таким, що не залежить від висоти.

**Відповідь:** а)  $p = 0,56 \cdot p_0$ ; б)  $p = 0,31 \cdot p_0$ ; в)  $p = 1,26 \cdot p_0$ .