



Технически университет – София

Катедра приложна физика

Протокол № Факултет: Специалност: Група:
Студент: Фак №

Упражнение № 2 Среден свободен пробег и ефективен диаметър на въздушни молекули

1. Цел на упражнението:

2. Схема на опитната постановка:

3. Кратко теоретично въведение:

При веществата в газообразно състояние молекулите, извършвайки хаотично топлинно движение, се движат праволинейно между два последователни удара. Разстоянието изминато при това движение се нарича свободен пробег λ . Средно статистическата стойност на свободните пробези на голям брой молекули се нарича средна дължина на свободния пробег на молекулите $\bar{\lambda}$. Изменение на праволинейното движение на молекулата може да стане само при взаимодействие с друга молекула. Минималното разстояние между центровете на молекулите, на което те могат да се доближат, се нарича ефективен диаметър на молекулите D_{eff} .

Според молекулно-кинетичната теория (МКТ) коефициентът на вътрешно триене η е свързан със средния свободен пробег на молекулите

$$(1) \eta = \frac{1}{2} \rho \bar{\lambda} \bar{v} \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{2\eta}{\rho \bar{v}}.$$

Следователно, за да се определи средната дължина на свободния пробег на молекулите $\bar{\lambda}$ е необходимо да се определят коефициента на вътрешно триене η , плътността на газа ρ и средната аритметична скорост на молекулите $\bar{v}$. Те могат да се определят съответно от закона на Хаген – Поазбой за изтичането на газ при ламинарно течение, закона на Максвел за средната аритметична скорост и уравнението на Клапейрон – Менделеев за идеален газ:

$$(2) V = \frac{\pi r^4 \Delta P t}{8 \eta l} \Rightarrow \eta = \frac{\pi r^4 \Delta P t}{8 V l}; \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}; \quad PV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow \rho = \frac{P \mu}{RT},$$

където $R = 8,31 \text{ J/(mol.K)}$, $\mu = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$.

Замествайки получените стойности от (2) в (1), за средната дължина на свободния пробег на молекулите (в този случай на въздушните) се получава

$$(3) \bar{\lambda} = \frac{\pi r^4 \Delta P t \sqrt{\pi R T_0}}{8 V P_0 \sqrt{2 \mu}}, \text{ където } \Delta P = \rho_{\text{вода}} g h = \rho_{\text{вода}} g \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \text{ е средното хидростатично налягане на водния стълб} \\ (g = 9,81 \text{ m/s}^2, \rho_{\text{вода}} = 998 \text{ kg/m}^3).$$

Ефективният диаметър на молекулите D_{eff} е свързан със средния свободен пробег: (4) $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi D_{eff}^2 n} \Rightarrow D_{eff} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2} \pi \bar{\lambda} n}}$,

а концентрацията n на газовите молекули може да се определи от основното уравнение на МКТ, приложено за въздуха в стаята и за въздух при нормални условия: (5) $\frac{P_0}{P_0} = \frac{n k T_0}{n_0 k T_0} \Rightarrow n = n_0 \frac{P_0}{P_0} \frac{T_0}{T_0}$, където $n_0 = 2,68719 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ е числото на

Лошмид, P_0 и T_0 са налягането и температурата на въздуха в момента на измерването, $P_0 = 1,01105 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ и $T_0 = 273 \text{ K}$ са налягането и температурата при нормални условия.

Това е типичен случай на косвено измерване и грешките се определят от изразите

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \left[\frac{4 \Delta r}{r} + \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{h_1 + h_2} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta t}{t} \right],$$

$$\frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} = \left[\frac{\Delta \eta}{\eta} + \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{h_1 + h_2} + \frac{1}{2} \frac{\Delta T_g}{T_g} \right],$$

$$\frac{\Delta D_{eff}}{D_{eff}} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} + \frac{\Delta P_g}{P_g} + \frac{\Delta T_g}{T_g} \right].$$

Абсолютните и процентните грешки за $\bar{\lambda}$ и D_{eff} се определят от относителните.

4. Експериментални задачи:

Определяне на средната дължина на свободен пробег на молекулите.

Измерва се времето t за равномерно изтичане на определен обем V от водата в съда през голямата капилярна тръбичка. Това е и обемът въздух, който е протекъл през малката капилярна тръбичка в съда. Налягането ΔP , под действие на което протича въздухът в съда, е равно на средното хидростатично налягане на водата, поради което се отчита началната h_1 и крайната h_2 височина на водния стълб. Останалите величини са измерени предварително, тъй като не могат да бъдат измерени в рамките на експеримента. Средната дължина на свободния пробег се определя по формула (3).

Определяне на ефективния диаметър на молекулите.

Определя се концентрацията n на въздушните молекули в стаята по формула (5), като за целта се измерват температурата T_g и налягането P_g в стаята по време на експеримента. Ефективният диаметър на въздушните молекули се определя от формула (4), като се има предвид резултатът, получен в първата задача.

5. Въпроси за самоподготовка:

Как се определя плътността на въздуха в стаята?

Защо се измерва височината на водния стълб преди и след експеримента?

Как се определя радиуса на малката капилярна тръбичка?

Как се определя температурата в стаята?

6. Опитни данни:

$$\Delta r = 10 \mu\text{m}, \quad \Delta l = 0,1 \text{ mm}, \quad \Delta h_1 = \Delta h_2 = 1 \text{ mm}$$

$$\Delta V = 1 \text{ ml}, \quad \Delta t = 1 \text{ s}, \quad \Delta T_g = 1 \text{ K}, \quad \Delta P_g = 133 \text{ Pa}$$

$$r = \quad \quad \quad l = \quad \quad \quad P_g = \quad \quad \quad T_g = \quad \quad \quad n =$$

	h_1 [m]	h_2 [m]	h [m]	ΔP [Pa]	V [m ³]	t [s]	$\bar{\lambda}$ [m]	D_{eff} [m]
1								
2								

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \quad \quad \quad \frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} = \quad \quad \quad \frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} \% = \quad \quad \quad \Delta \bar{\lambda} =$$

$$\frac{\Delta D_{eff}}{D_{eff}} = \quad \quad \quad \frac{\Delta D_{eff}}{D_{eff}} \% = \quad \quad \quad \Delta D_{eff} =$$

7. Резултати и преценка на точността:

$$\bar{\lambda} = \quad \quad \quad \pm \quad \quad \quad ; \quad \quad \quad \bar{\lambda} = \quad \quad \quad \pm$$

$$D_{eff} = \quad \quad \quad \pm \quad \quad \quad ; \quad \quad \quad D_{eff} = \quad \quad \quad \pm$$

Подпис на студента:

Дата

Подпис на асистента: