

Молекулярні характеристики. Швидкості молекул

Р⁰. Маса молекули

Ще Джон Дальтон (John Dalton, «Долтон») (*6 вересня 1766 — †27 червня 1844) — англійський хімік і фізик, запропонував, для зручності вимірювання мас молекул, в якості одиниці, прийняти масу найлегшого атома — водню. Тоді за відношенням мас елементів у сполуках з воднем, а потім між собою можна знайти масу кожного елемента у водневих одиницях (*закон постійних кратних відношень* Дальтона). Ідея Дальтона знайшла продовження і в сьогоденні, хоча сучасна атомна одиниця маси є трохи іншою.

В сучасний момент **відносною молекулярною масою** M_r — називається відношення маси молекули m_0 до $1/12$ маси атома вуглецю $C-12$, яка прийнята за **атомну одиницю маси** (*а.о.м.*) — m_u .

Зауважимо, що в зв'язку з тим, що атоми вуглецю можуть відрізнятись за масою (ізотопи), в даному випадку мають на увазі так званий «вуглець-12» — найбільш поширений в природі різновид (ізотоп) з масою атома m_{0c} .

Отже

$$M_r = \frac{m_0}{m_u} = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}} = \frac{12m_0}{m_{0c}}. \quad (1)$$

Маса речовини, чисельно рівна відносній молекулярній масі, називається **молярною масою** M .

$$M = M_r \varrho = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}} \varrho = m_0 \frac{12 \varrho}{m_{0c}} = m_0 N_A. \quad (1)$$

З формули (1) видно, що молярна маса рівна масі молекули помноженій на сталу

$$N_A = \frac{12 \varrho}{m_{0c}} = \frac{1}{m_u},$$

яка називається *числом Авогадро*, і яка рівна кількості атомів в 12 г вуглецю.

Кількість речовини, що містить число Авогадро структурних одиниць (молекул, атомів) називають *молем*.

Таким чином, *молярна маса є масою моля речовини*,

$$M = M_r \text{ (г/моль)} = N_A m_0 \quad (2)$$

Кількість молей речовини (ν) в масі m , яка містить N молекул, буде:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{N m_0}{N_A m_0} = \frac{m}{M} \quad (3)$$

З формули (2) *маса молекули*

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Таким чином для знаходження маси молекули, необхідно знати число Авогадро, або величину атомної одиниці маси m_u .

Як видно з попереднього, для знаходження числа Авогадро, достатньо виміряти масу будь-якого атома, або безпосередньо масу атома вуглецю.

Це можна здійснити розрахувавши рух іонізованого атома вуглецю в електричному полі.

2⁰. Визначення числа Авогадро за вимірною масою атома

Атом (іон), відсортований селектором швидкостей, має визначену початкову швидкість v_0 перпендикулярну до напрямку встановленої напруженості електричного поля E .

Електрична сила $F = |q|E$ відхиляє атом на відстань h , яка визначається за світлою точкою на екрані в точці попадання атома (іона з найменшим зарядом q рівним заряду електрона).

За рівняннями динаміки та кінематики матимемо:

$$m_0 = \frac{F}{a} = \frac{|q|E}{a}$$

$$a = \frac{2h}{t^2}; t = \frac{l}{v_0},$$

остаточно:

$$m_0 = \frac{|q|El}{2hv_0^2}.$$

Зробивши відповідні вимірювання отримаємо:

$$m_u = \frac{1}{12} m_{0c} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ Г},$$

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

3⁰. Відстань між молекулами. Діаметр молекул.

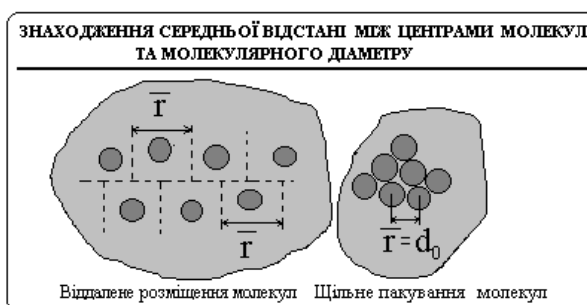
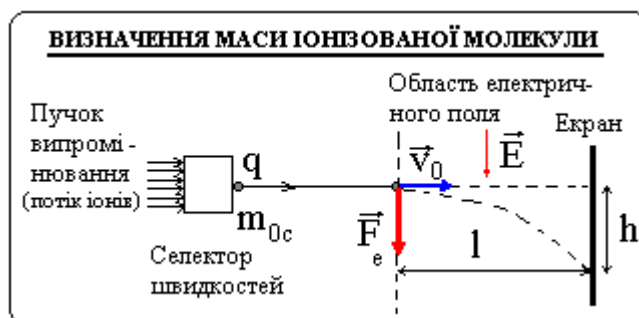
Врахуємо, що рівномірному просторовому розподілу молекул, на кожну молекулу припадає кубічна комірка, об'єм якої

$$V_0 = r^3,$$

де r – середня відстань між молекулами

(див. мал.).

Оскільки



$$V_0 = \frac{V}{N} = \frac{V}{vN_A} = \frac{MV}{mN_A} = \frac{MV}{\rho vN_A} = \frac{M}{\rho N_A},$$

то середня **відстань між центрами молекул**

$$r = \sqrt[3]{V_0},$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}.$$

Якщо молекули розташовані впритул (при « щільному пакуванні », то середня відстань між центрами молекул рівна молекулярному діаметру (див мал.)

$$r = d_0,$$

тому **діаметр молекули**

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}.$$

4⁰. **Концентрація молекул (число молекул на одиницю об'єму) та відстань між ними**

Відстань між молекулами r можна виразити також через їх концентрацію $n = \frac{N}{V}$,

врахувавши, що

$$V_0 = \frac{V}{N} = \frac{1}{n}.$$

У відповідності з попереднім

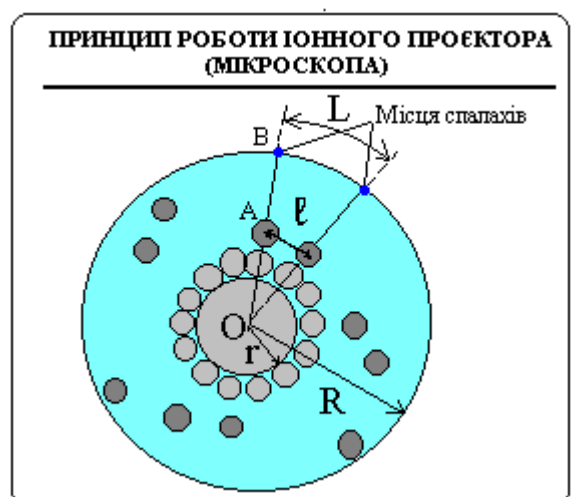
$$r = \sqrt[3]{\frac{1}{n}}.$$

Оскільки при щільному пакуванні відстань між молекулами рівна **молекулярному діаметру**

$$d_0 = r = \sqrt[3]{\frac{1}{n}}.$$

5⁰. **Пряма оцінка діаметра частинки**

Пряму оцінку діаметра частинки (молекули, атома) можна провести за допомогою іонного проектора (мікроскопа), який являє собою сферичний балон, заповнений розрідженим інертним газом, в центрі якого поміщують вістря з речовини, яку досліджують. Між вістрями і поверхнею балона створюється висока напруга. Сильне електричне поле іонізує молекулу інертного



газу, що дотикається до частинки вістря. Утворений іон рухається до внутрішньої поверхні балона, яка покрита речовиною, що світиться в точці попадання на неї іона.

Відстань між сусідніми спалахами L є збільшеною відстанню між атомами вістря – d_0 . Легко отримати зв'язок між ними. $OA = r$ – радіус вістря, $OB = R$ – радіус балона

$$\frac{l}{L} = \frac{r}{R},$$

і в решті

$$d_0 = l = r \frac{L}{R}.$$

4. Визначення швидкостей молекул газу. Дослід Штерна (1920)

В цьому досліді по осі вакуумного, подвійного циліндра протягувалась розжарювана струмом дротина. Атоми, що випаровувались з дротини, вилітали через щілину A у внутрішньому циліндрі і потрапляли на стінку зовнішнього циліндра, утворюючи напilenня у вигляді чіткої прямокутної смужки. При обертанні системи з кутовою швидкістю ω , смужка, яку залишали атоми, розмивалась. Це означало, що атоми рухались від щілини до стінки з різними швидкостями.

Фіксуючи відхилення l атомного сліду від прямолінійно розташованої точки B , можна визначити швидкість даної групи атомів на основі таких міркувань.

Час руху атома між циліндрами рівний часу повороту циліндрів на центральний кут φ з дугою l

$$t_{\text{ат}} = t_{\text{пов}}$$

або

$$\frac{R - r}{v} = \frac{\varphi}{\omega};$$

так як

$$\varphi = \frac{l}{R},$$

то

$$v = \frac{\omega (R - r) R}{l}.$$



5. Визначення швидкостей молекул. Дослід Ламмерта і Елдріджа (1927-1929рр)

В цьому досліді пучок частинок (молекул, атомів) спрямовувався на пару дисків зі зміщеними на кут φ прорізами. Диски були жорстко закріплені на осі, що оберталась з кутовою швидкістю ω .

Через обидві прорізи пролітали лише ті частинки, які встигали подолати відстань між дисками l за час повороту системи на кут φ рівний куту між прорізами

$$t = \frac{\varphi}{\omega}$$

З цієї умови *швидкість частинки*

$$v = \frac{l}{t} = \frac{l\omega}{\varphi}$$

