

ПЛАН-КОНСПЕКТ ПРОВЕДЕННЯ

ЛЕКЦІЙНОГО ЗАНЯТТЯ №7

МОДУЛЬ 1.

ТЕМА 1.3. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ.

Заняття 2. Статистичні розподіли та явища перенесення.

Навчальна дисципліна: Фізика

Категорія здобувачів вищої освіти: курсанти та студенти.

Навчальна мета: оволодіти знаннями про статистичні розподіли молекул та явища перенесення.

Виховна мета: сприяти підвищенню рівня знань про основні форми руху матерії, формуванню наукового світогляду.

Розвивальна мета: розвивати інтелектуальні здібності, пам'ять, увагу, уяву, мислення, спостережливість, активність, творчість, самостійність здобувачів вищої освіти, прищеплювати їм раціональні способи пізнавальної діяльності з зазначеної теми.

Кількість аудиторних годин: 2 години.

Навчальне обладнання, ТЗН: відеопроєктор, комп'ютерна техніка та відповідне програмне забезпечення.

Наочні засоби: наочність викладення матеріалу забезпечується використанням схем, таблиць та мультимедійним супроводженням окремих питань теми.

Міжпредметні та міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна "Фізика" зв'язана з дисципліною "Вища математика" та в ряді інших є основою для вивчення дисциплін загальної підготовки: «Хімія», «Технічна механіка», «Матеріалознавство та технологія матеріалів», «Технічна механіка рідини та газу», а також дисциплін циклу професійної підготовки: «Термодинаміка та теплопередача», «Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках», «Пожежна та виробнича автоматика», «Будівлі й споруди та їх поведінка в умовах пожежі», які викладаються як правило пізніше. Знання з дисципліни «Фізика» та одержані навички й уміння дозволяти створити якісну базу для вивчення теоретичних і практичних питань вказаних дисциплін.

План лекції (навчальні питання):

- 1.3.5. Поняття про розподіл Максвелла.
- 1.3.6. Розподіл Больцмана. Розподіл молекул у полі сил тяжіння.
- 1.3.7. Поняття про явища перенесення.

Список рекомендованих джерел:

Основні джерела

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики. Т. 1. – Київ: Техніка, 1999.
2. Савельєв И. В. Курс общей физики. Т. 1-4. М. : КноРус, 2009.
3. Горбачук І.Т. Загальна фізика (збірник задач). Київ: Вища школа, 1993.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Профессия, 2010.
5. Фізика. Розділи: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний електричний струм: довідник / Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 94 с.
6. Фізика. Розділи: Магнітне поле. Електромагнетизм. Коливання, хвилі і хвильові явища. Елементи квантової механіки. Фізика атома і атомного ядра. Елементи фізики твердого тіла: довідник./ Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 122 с.

Додаткові джерела

7. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике. М. : Мир и образование., 2006.

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

1.3.5. Поняття про розподіл Максвелла.

Закон розподілу молекул ідеального газу за швидкостями. Цей закон визначає кількість молекул dn у системі, чисельні значення швидкості яких лежать в інтервалі від v до $v + dv$:

$$dN = N f(v)dv, \quad (1.3.5.1)$$

де N – загальна кількість молекул у системі. Функція $f(v)$ називається *функцією розподілу* молекул за швидкостями. Вона визначає відносну кількість молекул, швидкості яких перебувають в одиничному інтервалі швидкостей, взятому в околі швидкості v . Явний вигляд функції розподілу залежить від стану, в якому перебуває система. У випадку, коли система перебуває в стані термодинамічної рівноваги, на неї не діють зовнішні силові поля, а рух часточок описується законами класичної механіки, функція розподілу має універсальний характер і називається *функцією розподілу Максвелла*. Вона має вигляд

$$f(v) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \cdot 4\pi v^2, \quad (1.3.5.2)$$

де T – температура системи; k – постійна Больцмана, m_0 – маса однієї молекули. Графік функції розподілу Максвелла наведений на рис. 1.3.5.1 для двох значень температур.

Швидкість, яка відповідає максимуму функції розподілу, називається *найбільш імовірною* і дорівнює

$$v_{\text{с}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (1.3.5.3)$$

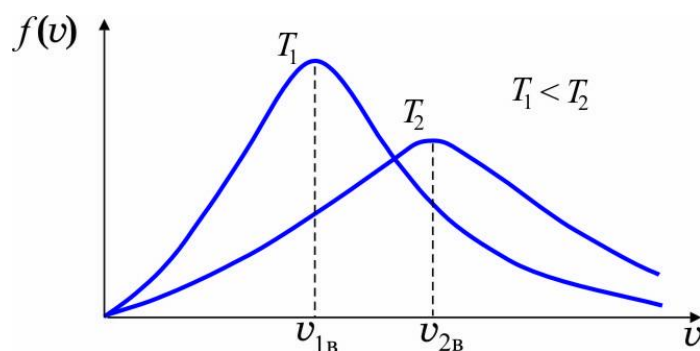


Рис. 1.3.5.1

За допомогою функції розподілу (1.3.5.2), можна знайти *середню арифметичну швидкість* молекул газу

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (1.3.5.4)$$

і *середню квадратичну швидкість*

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}. \quad (1.3.5.5)$$

1.3.6. Розподіл Больцмана. Розподіл молекул у полі сил тяжіння.

Функція розподілу Больцмана описує розподіл молекул у просторі, коли система перебуває в зовнішньому потенційному силовому полі

$$n(\vec{r}) = n_0 e^{-\frac{W_n(\vec{r})}{kT}}, \quad (1.3.6.1)$$

де $n(\vec{r})$ – концентрація молекул у тому місці простору, де потенційна енергія однієї молекули дорівнює $W_n(\vec{r})$; n_0 – концентрація молекул у тому місці простору, де потенційна енергія дорівнює нулю.

Якщо газ перебуває у полі земного тяжіння, то розподіл Больцмана набуває вигляду

$$n(h) = n_0 e^{-\frac{m_0 gh}{kT}}, \quad (1.3.6.2)$$

де $n(h)$ – концентрація молекул на висоті h , n_0 – концентрація молекул на висоті $h=0$, m_0 – маса однієї молекули.

Врахувавши в (1.3.6.2) зв'язок між тиском газу і концентрацією його молекул (1.3.4.1), приходимо до так званої *барометричної формули*, яка показує залежність тиску газу від висоти h над поверхнею Землі

$$P(h) = P_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}, \quad (1.3.6.3)$$

де P_0 – тиск на висоті $h=0$, μ – молярна маса газу.

Графік залежності тиску від висоти для двох різних температур наведений на рис. 1.3.6.1

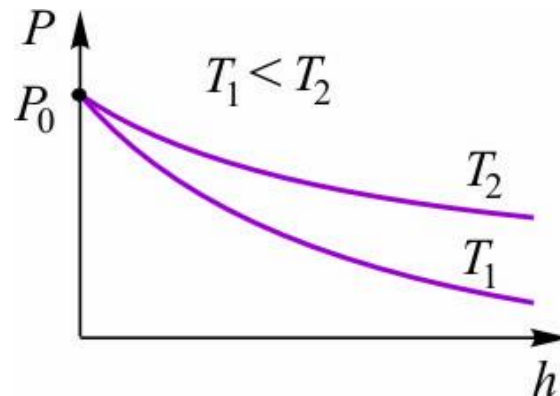


Рис. 1.3.6.1

1.3.7. Явища перенесення

Ці явища виникають внаслідок порушення в системі термодинамічної рівноваги. До *явищ перенесення* відносяться процеси, в яких система переходить до стану рівноваги. При цьому, в результаті хаотичного руху молекул (частинок) відбувається перенесення із одного місця простору в інше маси, енергії, імпульсу або іншої фізичної величини.

Дифузія – це явище перенесення маси речовини із області з більшою щільністю цієї речовини в область, де його щільність менша. Зокрема, якщо щільність речовини змінюється в напрямку осі x , то маса dm речовини, яка переноситься через площу S_{\perp} , розташовану перпендикулярно до напрямку перенесення за час dt дорівнює

$$dm = -D \frac{d\rho}{dx} S_{\perp} dt, \quad (1.3.7.1)$$

де похідна $d\rho/dx$ характеризує швидкість зміни щільності по осі x . Знак мінус показує, що перенесення відбувається в напрямку зменшення щільності. Коефіцієнт D називається *коефіцієнтом дифузії*.

Теплопровідність – це явище перенесення тепла в системі з області з більшою температурою в область з меншою температурою. Зокрема, якщо температура змінюється тільки в напрямку осі x , то кількість тепла δQ , яке переноситься через площу S_{\perp} , розташовану перпендикулярно до напрямку переносу, за час dt дорівнює

$$\delta Q = -K \frac{dT}{dx} S_{\perp} dt . \quad (1.3.7.2)$$

Похідна dT/dx характеризує швидкість зміни температури по осі x . Знак мінус показує, що перенесення відбувається в напрямку зменшення температури. Коефіцієнт K називається *коефіцієнтом теплопровідності*.

Явище в'язкості (внутрішнього тертя) спостерігається в потоці рідини або газу у випадку, коли швидкість потоку змінюється в напрямку поперечному до напрямку руху потоку. В цьому явищі відбувається перенесення імпульсу упорядкованого руху молекул від більш швидких шарів рідини (газу) до більш повільних. Якщо швидкість u шарів у потоці рідини змінюється в напрямку осі y , то в цьому ж напрямку відбувається перенесення. Імпульс dP речовини, який переноситься вздовж осі y через площу S_{\perp} , що розташована перпендикулярно до напрямку переносу, за час dt дорівнює

$$dP = -\eta \frac{du}{dy} S_{\perp} dt . \quad (1.3.7.2)$$

Похідна du/dy характеризує швидкість зміни швидкості u потоку з відстанню в поперечному напрямку. Знак мінус показує, що перенесення відбувається в напрямку зменшення швидкості. Коефіцієнт K називається *коефіцієнтом в'язкості*.

Сила внутрішнього тертя, яка діє між шарами рідини (газу), визначається співвідношенням

$$F_{\text{вн.тр.}} = \frac{dP}{dt} = -\eta \frac{du}{dy} S_{\perp} . \quad (1.3.7.3)$$

Коефіцієнти перенесення D , K , η характеризують швидкість переносу відповідної величини і залежать від виду речовини і її стану, зокрема, від температури й тиску.

Явища перенесення в газах. В основі явищ перенесення лежить один і той же механізм – хаотичний тепловий рух молекул. Коефіцієнти перенесення залежать від взаємодії між молекулами. У випадку ідеальних газів вони визначаються лише процесами *зіткнення* молекул. Основними характеристиками зіткнення є:

1. *Частота зіткнень* ν – це середня кількість зіткнень однієї молекули за одиницю часу.
2. *Час вільного пробігу* τ – це середній час між двома послідовними зіткненнями молекули. Він обернено пропорційний частоті зіткнень, тобто

$$\tau = \frac{1}{\bar{v}}. \quad (1.3.7.3)$$

3. *Середня довжина вільного пробігу λ* – це середній шлях, який проходить молекула між двома послідовними зіткненнями. Вона зв'язана часом вільного пробігу співвідношенням

$$\lambda = \bar{v}\tau. \quad (1.3.7.4)$$

де \bar{v} – середня арифметична швидкість молекул (1.3.5.4). Довжина вільного пробігу також визначається співвідношенням

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n}. \quad (1.3.7.5)$$

де n – концентрація молекул у газі. Величина σ називається *ефективним перерізом зіткнення* молекул. Вона залежить від *ефективного діаметра молекул d*

$$\sigma = \pi d^2. \quad (1.3.7.6)$$

Ефективним діаметром молекули називається мінімальна відстань, на яку зближаються при зіткненні центри двох молекул.

Коефіцієнти переносу в ідеальних газах визначаються такими співвідношеннями:

коефіцієнт дифузії

$$D = \frac{1}{3}\lambda\bar{v}; \quad (1.3.7.7)$$

коефіцієнт в'язкості (внутрішнього тертя)

$$\eta = D\rho = \frac{1}{3}\lambda\bar{v}\rho; \quad (1.3.7.8)$$

коефіцієнт теплопровідності

$$K = \eta \frac{c_v}{\mu} = \frac{1}{3}\lambda\bar{v}\rho \frac{c_v}{\mu}. \quad (1.3.7.9)$$

У співвідношеннях (1.3.7.7) – (1.3.7.9) ρ – щільність газу, μ – молярна маса, c_v – теплоємність одного моля газу в ізохорному процесі.