

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІВАНА ПУЛЛОЯ В ГАЛУЗІ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФІЗИКИ

Представлено огляд наукових праць в галузі молекулярної фізики видатного вченого кінця XIX початку XX ст. Івана Пуллоя. Акцентується увага на результатах досліджень коефіцієнта внутрішнього тертя, його температурної залежності і дифузії газів, їх суміші та пари, що послужили багатим експериментальним матеріалом для побудови молекулярно-кінетичної теорії реальних газів. В контексті порівняльного аналізу з працями Максвелла, Грагама, Масра оцінено внесок вченого у розвиток молекулярної фізики.

Умовні позначення:

η - коефіцієнт тертя газу при довільній температурі;

η_0 - його абсолютне значення при 0 °С;

α - коефіцієнт розширення газу;

θ - температура;

n - показник степеня;

m_1, m_2 - молекулярні маси компонентів суміші;

ρ_1, ρ_2 - складові частини компонентів суміші.

Багатогранність таланту та різнобічність наукових інтересів видатного вченого кінця XIX початку XX ст. Івана Пуллоя і сьогодні захоплюють дослідників його наукової спадщини. Тонкий і вдумливий експериментатор, що отримав фізичну підготовку у всесвітньо відомих лабораторіях Кундта і Лянга, І.Пуллою мав схильність до глибокого осмислення отриманих результатів, досліджуваних явищ і процесів.

Свої перші кроки в науці І.Пуллою здійснив у стінах фізичної лабораторії Віденського університету під керівництвом проф. Лянга.

Це був період, коли численні теоретичні та експериментальні дослідження в області молекулярної фізики закладали підвалини новітньої науки про мікроструктуру речовини. Тому не дивно, що увагу початкуючого науковця привернули питання, пов'язані з молекулярно-кінетичною теорією газів. Досліджуючи їх протягом кількох років, Пуллою отримав ряд важливих результатів, що мали істотне значення для подальшого розвитку молекулярної фізики. Його перші наукові праці були присвячені експериментальному дослідженню температурної залежності коефіцієнта внутрішнього тертя повітря.

Як відомо, динамічна теорія газу дає для внутрішнього тертя два важливі закони:

1. Закон незалежності коефіцієнта тертя від тиску.

2. Пропорційність коефіцієнта тертя квадратному кореню з абсолютної температури, тобто

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha\theta)^n,$$

$$\text{де } \alpha = 1/273, n = 1/2.$$

Якщо перший закон був підтверджений численними дослідженнями Максвелла, Грагама, Масра, Кундта та Варбурга, то результати досліджень за-

лежності коефіцієнта тертя від температури не узгоджувалися з передбаченими теорією.

Так, зокрема, результати досліджень, проведених Максвеллом для повітря, дали значення показника ступеня $n=1$. Це сгонукало останнього в рамках існуючої теорії газів висунути додаткову гіпотезу, згідно з якою молекули відштовхуються з силами, обернено пропорційними п'ятому ступеню віддалей між ними. За результатами інших дослідників, таких як Маср та Обермаер, показник ступеня $n=3/4$. Результати, отримані І.Пулюєм, дають $n=2/3$.

Як показує аналіз, результати обчислень, виконаних за формулою, виведеною на підставі закону Пуазейля в дослідях з просочуванням повітря через капілярні трубки є найбільш достовірними.

Опис експерименту, методика вимірювань, теоретичні викладки, результати численних дослідів, поправки, введені в процесі обробки результатів вимірювань, все це представлено у двох перших публікаціях І.Пулюя під назвою "Про коефіцієнт тертя повітря як функцію температури" [1].

Наступна серія досліджень тертя в різних газах проводилась Пулюєм у фізичному інституті Кундта в Страсбургу. В своїх дослідженнях Пулюй використовував видозмінений прилад Кундта, а обчислення проводив за формулою, виведеною Максвеллом. Обчислені абсолютні значення сталої тертя для повітря, вуглекислого газу та водню добре узгоджувались із попередньо отриманими Кундтом і Варбургом. Що ж до температурної залежності коефіцієнтів тертя названих газів, то для водню показник ступеня n виявився меншим, а для вуглекислого газу значно більшим, аніж для повітря [2]. На цій підставі Пулюй робить припущення про те, що залежність коефіцієнта тертя від температури є різною для різних газів. Останнє було підтверджено результатами досліджень, проведених Обермаером.

Отже, розбіжність результатів, отриманих при дослідженні температурної залежності коефіцієнта тертя повітря, частково може бути пояснена неоднаковим вмістом у ньому вуглекислого газу у різних дослідників. Певні розходження між результатами експерименту та теорії, котрі так і не вдалося усунути, зумовлені тим, що остання побудована на припущенні про ідеальний газ.

Цікавими і важливими є отримані І.Пулюєм результати досліджень коефіцієнта внутрішнього тертя пари речовин, які при звичайних температурах перебувають у рідкому стані [3]. Їх аналіз дає можливість стверджувати, що положення кінетичної теорії газів про незалежність коефіцієнта тертя від тиску поширюється і на випадок пари. Це твердження, однак, є справедливим лише в діапазоні тисків, обмеженому точкою насичення, оскільки тиск насиченої пари не може змінюватися без зміни температури, а зміна останньої спричинює зміну коефіцієнта тертя. З'ясувалося також, що температурна залежність коефіцієнта тертя, як і співвідношення між показником заломлення і середньою довжиною вільного пробігу молекул для пари такі ж, як і для газів.

Подальші дослідження коефіцієнта внутрішнього тертя стосовно газових сумішей привели дослідника до наступних емпіричних закономірностей:

1. Величина коефіцієнта внутрішнього тертя суміші газів, які хімічно не взаємодіють, лежить в інтервалі між значеннями коефіцієнтів компонент.

2. Парціальний внесок у значення коефіцієнта внутрішнього тертя суміші газів є більшим для газу з більшою молекулярною масою.

При цьому, Пуллой отримав розрахункову формулу для коефіцієнта внутрішнього тертя суміші газів, яка, окрім коефіцієнтів компонент, містить їх молекулярні маси та складові частини ($p_1 + p_2 = 1$).

$$\eta = \frac{\eta_1 \sqrt{p_1 + \frac{m_2}{m_1} p_2}}{\left[p_1 + \left(\frac{\eta_1}{\eta_2} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \right)^{3/2} p_2 \right]^{2/3}}$$

Ця формула добре кількісно відображає наведені вище емпіричні закономірності, особливо в області незначних концентрацій легшого газу. Результати досліджень опубліковані у двох статтях під однаковою назвою "Про внутрішнє тертя в суміші вуглекислоти і водню" [4].

До цієї ж групи робіт належать його дослідження дифузії пари через пористі перегородки. До Пуллой дифузією пари не цікавився ніхто з дослідників, і лише Діфур займався дифузією сухого і волого повітря, намагаючись довести, що швидкість дифузії першого є більшою. Останнє суперечило законові Грагама, сформульованому для дифузії газів: коефіцієнти дифузії двох хімічно не взаємодіючих газів, що перебувають під однаковим тиском і перегороджені пористою перегородкою, є обернено пропорційними до кореня квадратного з густини цих газів. Досліди Пуллой показали, що аналогічною є закономірність і для пари води, хлороформу, спиртів, ефіру. Вивчаючи залежність коефіцієнта дифузії пари цих речовин від температури, вчений прийшов до висновку, що вона нормується такою ж функцією, що і максимальна пружність [5].

Згаданими працями молодого науковця завершується цикл досліджень, присвячених вивченню коефіцієнта внутрішнього тертя та дифузії газів і їх пари. Результати, отримані І.Пуллой, послужили важливим матеріалом для побудови молекулярно-кінетичної теорії реальних газів, деякі з них залишаються актуальними і сьогодні.

Простота та оригінальність постановки експерименту, всесторонній і тонкий аналіз можливих помилок, надзвичайно висока точність і достовірність проведених вимірів - все це відносить його роботи до розряду класичних і дає підстави стверджувати про вагомий вклад вченого у розвиток молекулярної фізики.

Summary: A review of the scientific works in the field of molecular physics of the outstanding scientist of the late XIX-th and the beginning of XX-the century Ivan Puluj is presented. The main attention is paid to the results of the investigations of the coefficient on the inner friction, its temperature dependance and diffusion of gases, their mixture and vapour, which were great experimental material to create a molecular-kinetic theory of real gases. As the comparative analyses with the works of Maxwell, Gragam and Mayer the contribution of the scientist in the development of the molecular physics was estimated.

Література

1. Puluj I. Über die Reibungskonstante der Luft als Funktion der Temperatur. // Wiener Berichte II Abt, 1874.- 69.- S.287-317; 1874.- 70.- S. 243-267.
2. Puluj I. Über die Abhandigkeit der Reibung der Gase von der Temperatur // Ibid, 1876.- 73.- S. 589-628.
3. Puluj I. Über die Reibung der Dampfe // Ibid, 1878.- 78.- S.279-311.
4. Puluj I. Über die innere Reibung in einem Gemische von Kohlensäure und Wasserstoff // Ibid. I, 1879.- 79.- S. 97-113; II.- S. 745-756.
5. Puluj I. Über Diffusion der Dampfe durch Thonzellen / Ibid.- I, 1877.- 75.- S. 401-418; II.- S-639-664.