

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ

**Мета роботи:** Дослідити поверхневий шар рідини і визначити поверхневий натяг двох різних рідин.

### Теорія і метод вимірювання

Молекули рідини зазнають притягання з боку оточуючих їх молекул. Сили притягання, звані *силами Ван-дер-Ваальса*, за своєю природою є електричними. Вони обумовлені тим, що атоми і молекули містять електричні заряди.



Рис. 1.

Сили притягання виникають через те, що хоча молекули в цілому є нейтральними, електричні заряди в них розділені і можуть зміщуватися відносно один одного (рис.1). В електричному відношенні молекула перетворюється в диполь, тобто систему двох зарядів, рівних за величиною і протилежних за знаком, що знаходяться один від одного на відстані, дуже малій в порівнянні з відстанню до точки спостереження.

Сили притягання між молекулами зі збільшенням відстані між ними швидко зменшуються. Тому вплив молекул одна на одну здійснюється в межах невеликої відстані  $r_{м.д}$ , званої *радіусом молекулярної дії*. Сфера радіуса  $r_{м.д}$  називається *сферою молекулярної дії*. Радіус молекулярної дії дорівнює кільком ефективним діаметрам молекули.

Таким чином, кожна молекула відчуває притягання з боку всіх молекул, що містяться всередині сфери молекулярної дії, центр якої збігається з центром даної молекули.

Коли молекула знаходиться всередині рідини, то її з усіх боків симетрично оточують інші молекули. Результуюча сила притягання до сусідніх молекул в середньому дорівнює нулю (рис. 2).

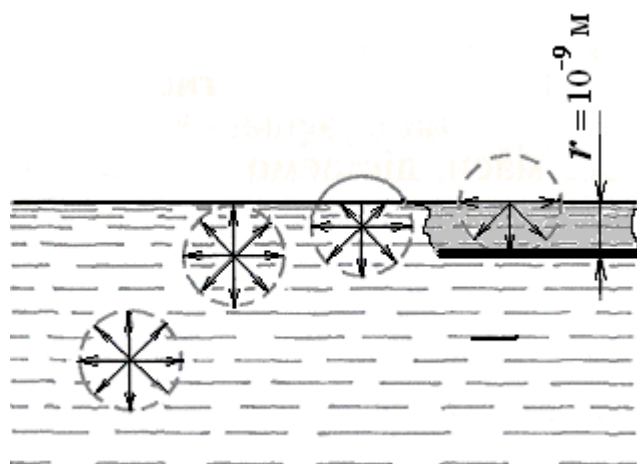


Рис. 2.

У молекули, яка знаходиться на поверхні рідини, оточення є несиметричним (рис. 2) і молекула притягується рідиною. Всі молекули, які розташовані в поверхневому шарі рідини, товщина якого дорівнює радіусу сфери молекулярної дії, знаходяться під дією результуючих сил молекулярних взаємодій, спрямованих всередину рідини. Ці сили створюють поверхневий натяг.

Переходячи з глибини рідини в поверхневий шар, молекули виконують роботу *проти* сил, спрямованих всередину рідини. За рахунок цього потенціальна енергія молекули збільшується. Тому молекули поверхневого шару мають більшу потенціальну енергію, ніж молекули решти об'єму рідини.

Переходячи з глибини рідини в поверхневий шар, молекули виконують роботу *проти* сил, спрямованих всередину рідини. За рахунок цього потенціальна енергія молекули збільшується. Тому молекули поверхневого шару мають більшу потенціальну енергію, ніж молекули решти об'єму рідини.

Положення рівноваги відповідає мінімуму потенціальної енергії.

Наявність поверхневої енергії обумовлює прагнення рідини до скорочення своєї поверхні. Поверхневий шар подібний до пружної розтягнутої плівки, яка прагне стиснутися. Природно, що ніякої плівки, що обмежує рідину зовні, не існує. Поверхневий шар складається з тих самих молекул, що і вся рідина.

Виділимо подумки ділянку поверхні рідини, обмежену замкненим контуром. Прагнення цієї ділянки до скорочення призводить до того, що вона діє на іншу частину поверхні дотичними до поверхні силами, перпендикулярними в кожному місці до відповідного елемента контура. Ці сили називають *силами поверхневого натягу*.

Сила, яка припадає на одиницю довжини контура, називається **поверхневим натягом** і позначається буквою  $\sigma$ . Вимірюють її в ньютонах на метр (Н/м).

$$\sigma = \frac{F}{l}. \quad (1)$$

Робота  $A$ , здійснена для збільшення поверхні рідини на одиницю поверхні  $S$ , також характеризує поверхневий натяг, і тоді поверхневий натяг виражається як

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S}. \quad (2)$$

і має розмірність Дж/м<sup>2</sup>.

Якщо зовнішня поверхня рідини є не плоскою, а опуклою, то на рідину додатково до зовнішнього тиску діє додатковий тиск  $\Delta p$ , що викликаний силами поверхневого натягу. У разі сферичної поверхні рідини додатковий тиск  $\Delta p$  виражається як

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}, \quad (3)$$

де  $R$  - радіус сфери.

Наприклад, такий надлишковий тиск існує усередині бульбашки повітря радіуса  $R$ , що знаходиться всередині рідини поблизу її поверхні.

Пропонуємо метод визначення поверхневого натягу рідини (**метод максимального тиску в газовій бульбашці**) полягає в тому, що в досліджувану рідину через капіляр вдувається повітряний пухирець. Тиск повітря, який потрібний для відриву бульбашки від капіляра, є шуканою величиною, яка використовується для подальшого розрахунку поверхневого натягу.

**Лабораторна установка** (рис. 3) складається з аспіратора 1 (процес відбору газу називається аспірацією), манометра 2, шкали 3 і кранів 4, 5 і 8, пробірок 6 і 7 з досліджуваними рідинами, судини 9, капілярних трубок 10 і 11.

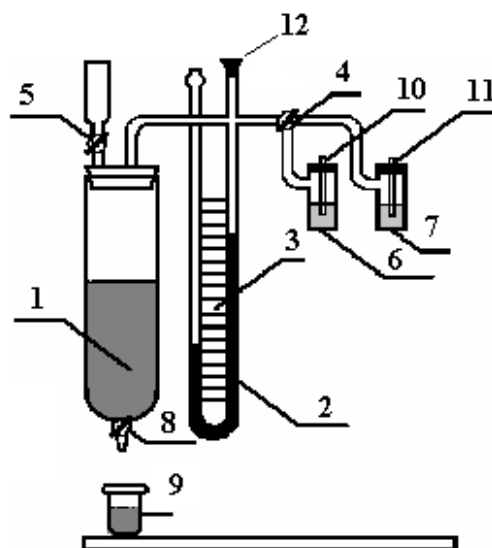


Рис. 3.

Якщо випускати воду з аспіратора, об'єм повітря в ньому збільшується, а тиск повітря зменшується. Знижений тиск  $p_1$  передається по скляних трубках в пробірку 6 (або 7) над поверхнею рідини, в яку опущено кінець капіляра. Відкритий верхній кінець капіляра знаходиться за атмосферного тиску  $p$ , який більше,

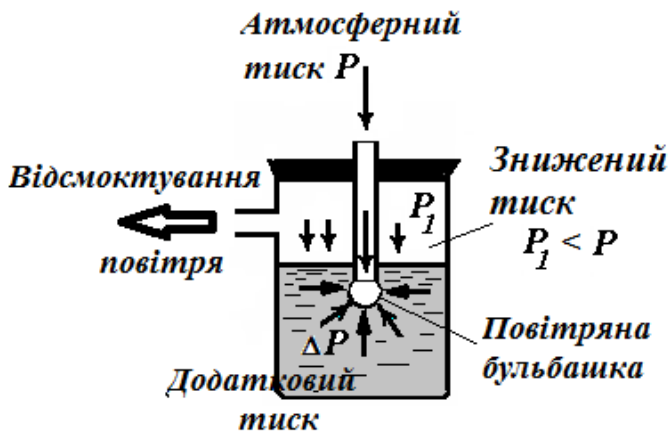


Рис.4

$\Delta p$  (див. рис. 4)

У міру витікання води з аспіратора тиск  $p_1$  зменшується, що призводить до збільшення тиску повітря усередині бульбашки

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R},$$

а отже до зменшення його радіуса кривизни (див. рис. 5).

Максимального значення тиск  $\Delta p$  досягає, коли радіус бульбашки стає рівним радіусу капіляра  $R_0$ . Подальше зменшення тиску  $p_1$  призводить до відриву бульбашки повітря, оскільки порушується рівновага тисків.

Різниця тисків  $(p - p_1)$ , яка є максимальною в цей момент, вимірюється U-подібним манометром і дорівнює  $\rho gh$ , де  $\rho$  – густина рідини в манометрі,  $h$  – різниця рівнів рідини в колінах манометра в момент відриву бульбашки.

Таким чином, в момент видування бульбашки має місце рівність:

$$\rho gh = 2\sigma/R_0. \quad (5)$$

Звідки

$$\sigma = \frac{\rho gh R_0}{2}. \quad (6)$$

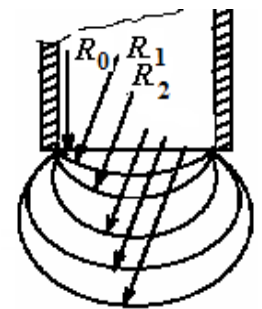


Рис. 5.

ніж тиск  $p_1$ .

Різниця тисків  $(p - p_1)$  (рис. 4) прагне видути бульбашку повітря з капіляра в рідину, але цьому протидіє додатковий тиск

$$\Delta p = 2\sigma/R,$$

що створюється силами поверхневого натягу рідини в утвореній бульбашці радіуса  $R$  і спрямований до центра бульбашки.

Атмосферний тиск  $p$  врівноважується сумою тиску  $p_1$  повітря в пробірці і тиску повітря в бульбашці

$$p = p_1 + \Delta p. \quad (4)$$

### Порядок виконання роботи

- 1 . Відкрити пробку 12, кран 5. Наповнити аспіратор водою.
- 2 Закрити кран 5 і пробку 12.
3. Повернути кран 4 таким чином, щоб одна з пробірок з досліджуваною рідиною була з'єднана з манометром і аспіратором.

4. Відкрити кран 8 і підібрати таку швидкість витікання води з аспіраатора, щоб в досліджуваній рідині у кінця капіляра утворювалося 2-3 пухирця в хвилину.
5. За шкалою манометра зробити відлік найбільшої різниці рівнів  $h$  води в колінах манометра, що відповідає максимальному додаткового тиску всередині повітряної бульбашки. Дослід повторити 5 разів.
6. За допомогою крана 4 з'єднати другу пробірку з аспіратором.
7. Повторити пункти 4,5 для другої досліджуваної рідини.
8. Обчислити поверхневий натяг  $\sigma$  за формулою (6).
9. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю.

№	Ріди-на	$R_0$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$h$ , м	$\sigma_i$ , Н/м	$\langle \sigma \rangle$ , Н/м	$\Delta \sigma_i$ , Н/м	$\Delta \sigma_i^2$ , (Н/м) <sup>2</sup>	$S_{\langle \sigma \rangle}$	$t_{\alpha, n}$	$\Delta \sigma$ , Н/м	Е, %
1												
2												
3												
4												
5												
1												
2												
3												
4												
5												

Остаточний результат записати у вигляді

$$\sigma = (\langle \sigma \rangle \pm \Delta \sigma), \text{ Н/м} \quad \text{при } \alpha =$$

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яка природа сил молекулярної взаємодії?
2. Що називається поверхневим натягом і який його фізичний зміст?
3. Як направлені сили поверхневого натягу?
4. Яка розмірність поверхневого натягу?
5. У чому полягає метод максимального тиску в газовій бульбашці?

### Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцік П. П. Загальний курс фізики у трьох томах : навч. посіб. Київ: Техніка, 2006. Т. 1 : Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с.
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є.). – Львів. – "Бескід Біт". – 2002.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики. Кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. К. «Либідь»2001. – 422 с.
4. І.П.Гаркуша, В.П.Курінний. Фізика. Навч. посібник у 7 частинах. Ч.2 Молекулярна фізика. Д. НГУ. 2011.

Укладач І.П. Гаркуша