

## ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ ПО ВИВЧЕННЮ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

*У статті розглядаються можливості створення спеціального лабораторного практикуму по вивченню фізичних властивостей води студентами інженерних спеціальностей напрямку "Водні ресурси" та "Будівництво". Аналізуються різні способи вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу води. Обґрунтовується доцільність використання в лабораторній роботі способу відриву краплі.*

**Ключові слова:** фізичні властивості води, водневі зв'язки, спеціальний лабораторний практикум, коефіцієнт поверхневого натягу.

**Постановка проблеми.** Навчальний план підготовки бакалаврів напрямку "Водні ресурси" та "Будівництво" включає дисципліни, для яких вода є об'єктом технічного застосування. Під час проектування споруд різноманітного призначення, ключовим елементом яких є вода, важливо враховувати не тільки фізичні властивості води але й розуміти їхню природу. Існуючі лабораторні практикуми по вивченню фізичних властивостей води досліджують такі її властивості як прозорість та каламутність, смак, температуру, густину. Такі практикуми спрямовані на дослідження якості води й зовсім не розглядають вплив особливостей молекулярної будови води на її фізичні властивості. Це завдання може вирішити спеціальний лабораторний практикум, який спрямований на вивчення студентами таких фізичних властивостей води як здатність створювати поверхню, проводити електричний струм, змінювати свій об'єм із зміною температури, створювати внутрішнє тертя, накопичувати тепло, заломлювати світлові промені.

**Мета дослідження.** Метою цієї статті є дослідження можливостей створення спеціального лабораторного практикуму по вивченню таких фізичних властивостей води, в яких проявляється дія водневих зв'язків між її молекулами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз літературних джерел показує на те, що існують певні труднощі в адаптації сучасних методик дослідження фізичних властивостей речовин до води в рамках навчального лабораторного практикуму. У першу чергу це пов'язане із обмеженням часу виконання лабораторної роботи та необхідним устаткуванням. Покажемо це на прикладі визначення коефіцієнта поверхневого натягу води.

Вода як й інші рідини створює поверхню, але за значенням коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma = 71,9 \cdot 10^{-3} \frac{H}{m}$  при температурі  $298^\circ C$  вона поступається лише ртуті. Наявність у рідин вільної поверхні приводить до існування так званих поверхневих сил, які діють в площині поверхні й намагаються скоротити її площу. Причиною існування цих сил є водневі зв'язки, які зтягують молекули води поверхневого шару в середину рідини, створюючи цим самим натяг поверхні. Мірою поверхневого натягу є коефіцієнт поверхневого натягу, який чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, що припадає на одиницю довжини контура поверхні рідини:

$$\sigma = \frac{F}{l}.$$

Існують різноманітні способи визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідин, серед яких найбільш поширеними є спосіб відриву краплі, спосіб відриву кільця, капілярний спосіб, спосіб максимального тиску в бульбашці, спосіб капілярних хвиль. Проаналізуємо ці способи з метою виявлення найбільш ефективного для використання в лабораторній роботі.

Суть способу відриву краплі полягає в тому, що під час витікання рідини з трубки (бюретки) на її кінці утворюється крапля. Сили поверхневого натягу намагаються зменшити площу поверхні краплі. У момент відриву сила ваги краплі зрівноважується силами поверхневого натягу.

У способі відриву кільця визначається сила відриву кільця від поверхні рідини, яка дорівнює силі поверхневого натягу:

$$F = 2\sigma\pi(D - d),$$

де  $D$  – діаметр кільця,  $d$  – його товщина. Для визначення сили відриву використовують пружину із гирями або вагові терези.

Капілярний спосіб використовує капілярні трубки, що занурюються в рідину. Залежно від того, змочує чи не змочує рідина внутрішні стінки капіляру, вона піднімається або опускається всередині трубки. Сили поверхневого натягу створюють додатковий тиск, значення якого залежить від радіуса кривизни поверхні рідини (меніска):

$$P = \frac{2\sigma}{r},$$

де  $r$  – радіус меніска. У випадку змочування або незмочування радіус кривизни меніска збігається з радіусом капіляру. Піднімання або опускання рідини всередині трубки відбувається доти, поки додатковий тиск не зрівноважується з гідростатичним тиском стовпчика рідини:

$$\frac{2\sigma}{r} = \rho gh,$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $h$  – висота стовпчика рідини,  $g$  – прискорення вільного падіння. Висоту стовпчика рідини вимірюють за допомогою мікроскопа. Відносна похибка вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу цим способом залежить від чистоти внутрішніх стінок капіляру, для забезпечення якої перед дослідом рекомендується промити трубки розчином двохромового калію в сірчаній кислоті, потім дистильованою водою, спиртом й після чого просушити. Ця процедура створює незручності у використанні даного способу в лабораторній роботі.

Спосіб максимального тиску в бульбашці створює умови для утворення бульбашки повітря всередині рідини. Внаслідок кривизни поверхні виникає додатковий тиск на повітря в бульбашці:

$$P = \frac{2\sigma}{r},$$

де  $r$  – радіус бульбашки. Спосіб використовує посудину, в яку наливають рідину, й капілярну трубку, кінець якої дотикається до поверхні рідини. Капілярну трубку з'єднують із манометром та гумовою грушею. Під час нагнітання повітря через капіляр всередину рідини потрапляє бульбашка повітря. Під час виконання досліду досить важко точно виміряти радіус бульбашки. Щоб виключити цей параметр із розрахунків, рекомендується спочатку дослід проводити з еталонною рідиною, а потім із досліджуваною рідиною. На думку автора ця обставина робить непридатним використання даного способу в лабораторній роботі по визначенню коефіцієнта поверхневого натягу води.

Спосіб капілярних хвиль використовує поверхневі хвилі дуже малої довжини, які збуджуються на поверхні рідини точковим джерелом за допомогою звукового генератора. Швидкість поширення цих хвиль визначається співвідношенням:

$$V = \sqrt{\frac{2\pi\sigma}{\lambda\rho}},$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $\rho$  – густина рідини. З іншого боку швидкість хвилі:

$$V = \lambda\nu,$$

де  $\nu$  – частота хвилі, що визначається звуковим генератором. Прирівнюючи праві частини обох формул, одержимо співвідношення для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини:

$$\sigma = \frac{\lambda^3 \nu^2 \rho}{2\pi}.$$

Для визначення довжини хвилі використовують мікроскоп. Капілярні хвилі мають досить велику швидкість поширення, тому при звичайному освітленні виміряти їх довжину практично неможливо. Вимірювання довжини хвилі значно полегшується, якщо поверхню рідини освітлювати стробоскопічно за допомогою строботометра. Синхронізуючи стробоскопічний освітлювач із звуковим генератором, можна одержати картину "нерухомої" хвилі. Тоді відстань між двома сусідніми гребенями й відповідатиме довжині капілярної хвилі.

Підсумовуючи аналіз способів вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу рідин, автор приходить до висновку, що для лабораторної роботи, де об'єктом дослідження є вода, найбільш підходить спосіб відриву краплі та спосіб відриву кільця. Попередні випробування показали, що вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу води способом відриву краплі є більш точним. Відносна похибка цих вимірювань складає  $\sim 3\%$ , що дає можливість більш коректно порівнювати одержані результати із довідниковими даними.

Експериментальна установка лабораторної роботи (рис. 1) включає бюретку (1), капіляр якої має кран (2), посудину для збору води (3), мікроскоп (4).

Визначення коефіцієнту поверхневого натягу способом відриву краплі ґрунтується на тому, що розрив поверхневої плівки під час відривання краплі відбувається по краю шийки краплі (рис. 2), контурна довжина якої дорівнює  $l = \pi D$ , де  $D$  – діаметр шийки краплі. У момент відриву вага краплі зрівноважується силою поверхневого натягу  $P = F$ , де  $P = mg$ ,  $F = \sigma l = \sigma \pi D$ . Отже,  $mg = \sigma \pi D$ .

Звідки  $\sigma = \frac{mg}{\pi D}$ , де  $m$  – маса однієї краплі.

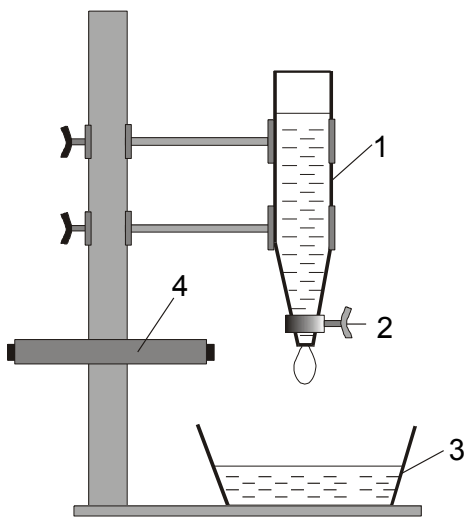


Рис. 1. Схема експериментальної установки

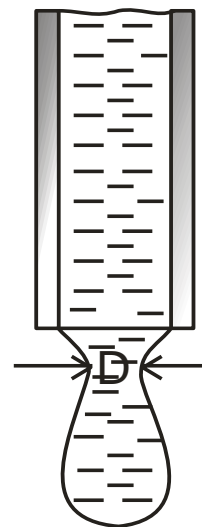


Рис. 2. Утворення краплі рідини (D – діаметр шийки краплі)

Масу однієї краплі вимірювати недоцільно внаслідок великої похибки вимірювання. Тому зважуванням спочатку визначають масу 50-100 краплин, а потім розраховують масу однієї краплі:

$$m = \frac{m_2 - m_1}{N},$$

де  $m_1$  – маса порожньої бюкси,  $m_2$  – маса бюкси з  $N$  краплями води. Тоді розрахункова формула набуває вигляду:

$$\sigma = \frac{(m_2 - m_1)g}{\pi DN}.$$

**Висновок.** Вивчення унікальних фізичних властивостей води шляхом виконання лабораторних робіт забезпечує засвоєння провідних ідей та понять фізики як наукової бази для опанування професійно орієнтованих навчальних дисциплін. Показана можливість створення спеціального лабораторного практикуму по вивченню таких фізичних властивостей води, в яких проявляється дія водневих зв'язків між її молекулами. Результатом даної статті є лабораторна робота, теоретична частина якої розглядає природу поверхневого натягу води, експериментальна частина дозволяє із достатньою точністю вимірювати коефіцієнт поверхневого натягу води та порівнювати його значення з довідниковими даними.

#### Використані джерела

1. Гапчин Б.М. Молекулярна фізика. Лабораторний практикум : навчальний посібник / Гапчин Б.М., Дутчак Я.Й., Френчко В.С. – Львів: Світ, 1990. – 240 с.
2. Боровий М.О. Фізичний практикум. Частина 1: Механіка. Молекулярна фізика. Електрика та магнетизм [Боровий М.О., Лисов В.І., Цареградська Т.Л., Овсієнко І.В., Жабітенко О.М., Козаченко В.В.]. – К. : Освіта України, 2011. – 289 с.
3. Белопухов С.Л. Химия окружающей среды : Учебное пособие / Белопухов С.Л., Сюняев Н.К., Тютюнькова М.В. – М. : ООО "Прометей", 2015. – 261 с.
4. Калюкова Е.П. Химия воды : Учебное пособие для инженерной подготовки студентов по направлению "Промышленное и гражданское строительство" и "Теплогазовентиляция" / Е.П. Калюкова, Л.В. Петрова. – Ульяновск : Ул ГТУ, 2004. – 48 с.
5. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика. Общий курс физики в 5т. / Д.В. Сивухин. – Т. 2, 5-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2005. – 544 с.

Sitnikov A.

#### LABORATORY WORKSHOP ON THE STUDY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF WATER FOR ENGINEERING STUDENT

*The curriculum for bachelors direction "Water" and "Construction" includes the disciplines for which water is the subject of technical applications. When designing buildings for various purposes, the key element of which is water, it is important to consider not only the physical properties of water but also to understand their nature. Existing laboratory workshops on studying the physical properties of water exploring its properties such as transparency and turbidity, taste, temperature, hosting.*

*Take workshops designed to study the water quality and does not consider the impact characteristics of the molecular structure of water in its physical properties. This problem can be solved special laboratory practice, aimed at students studying physical properties of water such as the ability to create a surface to conduct electricity, change their volume with changes in temperature, create internal friction, accumulate heat refract light rays.*

*The purpose of this article is to explore the possibilities of establishing a special laboratory workshop on the study of the physical properties of water, which is manifested action of hydrogen bonds between the molecules. The possibility of creating a special laboratory workshop on the study of the physical properties of water, which is manifested action of hydrogen bonds between the molecules. The result of this article is laboratory work, theoretical part which examines the nature of the surface tension of water, allowing experimental part with sufficient accuracy to measure the surface tension of water and compare it with the value of reference data.*

**Key words:** *physical properties of water, hydrogen connections, special laboratory practical work, coefficient of surface-tension of water.*

Стаття надійшла до редакції 15.03.2016 р.