



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Т. В. Лютий, О. С. Денисова



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ з ФІЗИКИ



для напрямку підготовки 6.040106 -
екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансованого
природокористування



ЧАСТИНА 2



Навчальний посібник



На оцінку “добре”

6. Навести приклади застосування поляриметричного аналізу. У чому його перевага над іншими методами?
7. Пояснити загальну будову та принцип роботи поляриметра.
8. Що таке призма Ніколя? Яка її роль у поляриметрі?
9. Що таке звичайний та незвичайний промені?
10. Одержати робочу формулу для визначення невідомої концентрації цукрового розчину.

На оцінку “відмінно”

11. Пояснити, чому відбувається подвійне променезаломлення?
12. У чому сутність явища обертання площини коливань вектора напруженості у світловій хвилі згідно з теорією Френеля?
13. Сформулювати та обґрунтувати закон Малюса.
14. Показати за допомогою закону Малюса, що природне світло під час проходження через поляризатор втрачає половину своєї інтенсивності.
15. Класифікувати похибки, що виникають у процесі вимірювань, та викласти методику їх урахування.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельев И.В. Курс физики. Том 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – М.: Наука, 1989.
2. Черняк Л.М. Лекції із загальної фізики: навчальний посібник: у 3 книгах. Книга 3. Фізика атома, твердого тіла і ядра. – Суми: Алан ЕКС, 2003.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики: у 2 книгах. Книга 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Либідь, 2001
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник по физике. Том 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – М.: Физматлит, 2001.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 4. Оптика. – М.: Наука, 1980.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Т. В. Лютий, О. С. Денисова

Лабораторний практикум із фізики

*Рекомендовано вченою радою
Сумського державного університету
як навчальний посібник*

Суми
Сумський державний університет
2012

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Уважно ознайомтеся з установкою та попередніми розділами методичних вказівок до даної лабораторної роботи.
2. Підключіть поляриметр 1 до мережі живлення. Встановіть чітке зображення ноніуса в окулярі 6 та зображення межі між по-різному освітленими частинами поля зору в окулярі 7.
3. Виміряйте значення нульового відліку α_0 . Для цього обертанням ручки компенсатора 8 досягніть однакового затемненого кольору обох половин зору в окулярі 7. Під час обертання ручки 8 освітленість двох частин поля зору в окулярі 7 змінюється. Кювета 9 з розчином при цьому має бути відсутньою в поляриметрі.
4. Повторіть дані вимірювання ще 4 рази, а результати занесіть до таблиці 1.
5. Проведіть аналогічні серії вимірювань для кювети з розчином еталонної концентрації та заповніть колонку α_1 таблиці 1.
6. Запишіть довжини кювет та похибки їх вимірювання у таблицю 1.
7. Проведіть аналогічні серії вимірювань для кювет з розчином невідомої концентрації та заповніть колонки α_2 та α_3 таблиці 1.

Таблиця 1 – Вимірювання концентрації цукрового розчину

№	Кути				Похибки				$l_1 =$	$\Delta l_1 =$
	α_0	α_1	α_2	α_3	$\Delta \alpha_0$	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	$\Delta \alpha_3$		
1									$l_2 =$	$\Delta l_2 =$
2										
3										
4									$l_3 =$	$\Delta l_3 =$
5										
<...>										
$\Delta_1 \alpha = 0,05^\circ \text{S}$		$C_1 \pm \Delta C_1 = \dots$			$C_2 \pm \Delta C_2 = \dots$			$C_3 \pm \Delta C_3 = \dots$		

8. Знайдіть середні значення кутів α_i , результат занесіть до таблиці 1.

Графік виконання лабораторних робіт

II модульний цикл

Номер бригади	Тиждень 1	Тиждень 2	Тиждень 3	Тиждень 4	Тиждень 5	Заліковий тиждень
I	6	7	8	13	9	13
II	6	7	8	13	9	13
III	7	6	9	10	13	13
IV	7	6	9	10	13	13
V	8	6	7	13	10	13
VI	8	6	7	13	10	13
VII	6	8	9	10	13	13
VIII	6	8	9	10	13	13

13 – індивідуальний захист виконаних лабораторних робіт

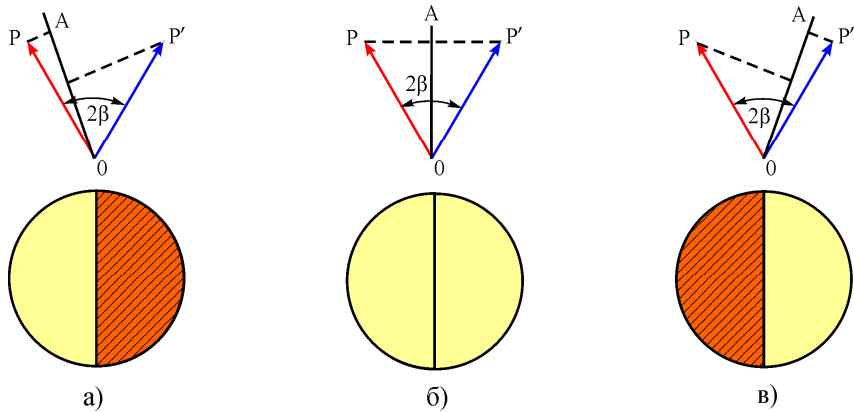


Рисунок 5 – Поле зору в окулярі поляриметра для різних кутів між площинами пропускання аналізатора та поляризаторів

є основою для вимірювання концентрації розчинів таких речовин. Нехай маємо кювету відомої довжини l_1 з розчином відомої концентрації C_1 . Згідно із законом Біо (6) кут повороту площини коливань для неї становить $\alpha_1 = [\alpha] \cdot C_1 \cdot l_1$. Даний кут можна виміряти за допомогою поляриметра, як і кут $\alpha_2 = [\alpha] \cdot C_2 \cdot l_2$ для кювети довжиною l_2 з розчином невідомої концентрації C_2 . При цьому велика точність вимірювання кутів забезпечується наявністю шкали ноніуса (див. рисунок б), яка знаходиться в полі зору другого окуляра поляриметра. Виключенням питомого обернення $[\alpha]$ одержимо

$$C_2 = C_1 \frac{\alpha_2 l_1}{\alpha_1 l_2}. \quad (8)$$

Зауважимо, що досить часто конструкція поляриметра передбачає нерухоме положення аналізатора, а обертається площина коливань вектора \vec{E} за допомогою спеціального компенсатора.

Зовнішній вигляд лабораторної установки показаний на рисунку 7.

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	41
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	44
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	45
Лабораторна робота 9. ВИВЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ.....	46
1. МЕТА РОБОТИ.....	46
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	46
2.1. Поняття магнітного поля.....	46
2.2. Магнітне поле Землі.....	47
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	49
4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	50
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	53
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	56
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	57
Лабораторна робота 10. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА.....	58
1. МЕТА РОБОТИ.....	58
2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	58
2.1. Явище поляризації.....	58
2.2. Подвійне променезаломлення.....	59
2.3. Обертання площини поляризації.....	62
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ.....	64
4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	64
5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	68
6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	69
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70

ртання площини коливань α . Такий метод називають **поляриметричним** методом кількісного аналізу. Він є одночасно точнішим і швидшим за інші методи, тому має широке застосування як у лабораторних дослідженнях, так і в промисловості.

3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ

1. Поляриметр.
2. Кювета з розчином відомої концентрації.
3. Дві кювети з розчином невідомої концентрації.

4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Значна поширеність поляриметричного методу аналізу зумовила наявність великого набору вимірювальних пристроїв – **поляриметрів**, призначених для спостереження за обертанням площини коливань вектора \vec{E} у світловій хвилі. У найбільш типовому виконанні схема поляриметра має вигляд, як показано на рисунку 4а. Як правило, як поляризатори використовують так звані **призми Ніколя** (див. рисунок 4б). Кожна така призма являє собою кристал ісландського шпату (різновид кальциту, CaCO_3), розрізаний навпіл під певним кутом, як показано на рисунку 4б. Дві половини кристала в подальшому склеюються за допомогою канадського бальзаму (екстракт ефірних олій та смол з рослин *Abies balsamea* – пихти бальзамічної, або *Abies canadensis* – канадської ялини). Склад речовин та геометрія виробу підібрані таким чином, що з утворених унаслідок подвійного променезаломлення двох плоскополяризованих променів один (незвичайний) вийде з призми, не змінюючи напрямку. Водночас звичайний промінь унаслідок повного відбивання на межі поділу ісландський шпат – канадський бальзам буде виходити через іншу грань призми і поглинатиметься поляриметром.

Від джерела S світло проходить через систему лінз та світлофільтр F , а потім потрапляє в поляризатор P та поляризатор P' .

$$dU = \delta A' + \delta Q, \quad (1)$$

де $\delta A'$ – нескінченно малий приріст роботи, що виконується ззовні над вибраною системою; δQ – нескінченно малий приріст кількості теплоти, що передається системі. Різниця у позначеннях приростів « d » та « δ » свідчить про те, що лише внутрішня енергія системи є функцією стану, у той час коли робота і кількість теплоти – ні.

Оборотним називається процес, який можна змусити протікати у зворотному напрямку через ту саму сукупність станів, за умови, що у навколишньому середовищі не відбуваються зміни. У термодинаміці доведено, що оборотним процесом є **рівноважний** процес або процес, під час якого параметри стану релаксують до своїх рівноважних значень набагато швидше, ніж відбуваються їх зміни під дією зовнішніх чинників. Експериментально встановлено, що під час оборотного процесу відношення прирощення кількості теплоти до температури T , за якої воно відбувається, $\delta Q/T$ є повним диференціалом. З точки зору термодинаміки **ентропією** називається така функція S , повний диференціал якої визначається як

$$dS = \frac{\delta Q}{T}. \quad (2)$$

З означення (2) очевидно, що сама функція S визначена з точністю до константи. Але для ентропії, як і для внутрішньої енергії, як правило, значення має не абсолютна величина, а її зміна

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}, \quad (3)$$

де межі інтегрування 1 та 2 умовно позначають різні стани системи. Якщо мають місце лише процеси теплопередачі, прирощення кількості теплоти можна подати у вигляді

$$\delta Q = cm \cdot dT, \quad (4)$$

де c – питома теплоємність речовини; m – маса тіла, що є частиною системи. Підкреслимо ще раз, що вирази (2) та (3) справедливі лише для оборотних процесів. У зворотному випадку

2.3. Обертання площини поляризації

З історичних причин **площиною поляризації** називають площину, перпендикулярну до площини коливань вектора \vec{E} . Оскільки ці площини однозначним чином пов'язані одна з одною, в подальшому будемо користуватися також і терміном “площина поляризації”. Встановлено, що деякі речовини здатні обертати площину коливань вектора \vec{E} . Такі речовини називають оптично активними. До них відносять тверді тіла – кварц, кіновар (сульфід ртуті II); чисті рідини – нікотин, скипидар; а також розчини оптично активних речовин у неактивних розчинниках, наприклад, водні розчини цукру та винної кислоти. Елементарна теорія обертання площини коливань була побудована Френелем. В її основу покладене припущення, що оптично активні речовини мають особливий тип подвійного променезаломлення, який полягає в розкладанні плоскополяризованої світлової хвилі на дві хвилі, кожна з яких поляризована по колу. При цьому для однієї з них напрямок обертання вектора напруженості електричного поля буде збігатися з напрямком руху годинникової стрілки (права поляризація), для іншої – буде протилежним (ліва поляризація). Амплітуди поляризованих по колу хвиль однакові й становлять половину амплітуди початкової хвилі $E_1 = E_2 = E/2$. У разі, коли швидкість їх поширення однакова, в будь-який момент часу їх сума зображатиме коливання вектора \vec{E} в одній площині (див. рис. 3а, б).

Іншою буде ситуація, якщо швидкості їх поширення не збігатимуться. Це є можливим завдяки різним показникам заломлення n_n для правополяризованої та n_l для лівополяризованої хвиль. Синхронність обертання \vec{E}_1 та \vec{E}_2 порушується завдяки тому, що довжини двох поляризованих по колу хвиль стають різними. За час одного оберту вектора напруженості хвиля проходить відстань, що дорівнює її довжині. Тому внаслідок проходження через шар оптично активного середовища довжиною l кути повороту хвиль \vec{E}_1 та \vec{E}_2 будуть відрізнятись на $\Delta\Psi = \Psi_n - \Psi_l$. У результаті площина поляризації змінить свою орієнтацію на кут $\alpha = \Delta\Psi/2$ (див. рисунок 3в). Оптична різниця ходу двох хвиль

максимальної ($\Omega < \Omega_{\max}$). Тому впродовж необоротного процесу ентропія замкнутої системи може лише збільшуватися. Останнє твердження складає зміст **другого закону термодинаміки**

$$\Delta S \geq 0. \quad (6)$$

Відповідно під час необоротного процесу ентропія має збільшуватися не лише за рахунок теплообміну, як у випадку оборотного процесу, а й за рахунок необоротності процесу. Тому вираз (3) у випадку, узагальненому на необоротні процеси, набуває вигляду

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}. \quad (7)$$

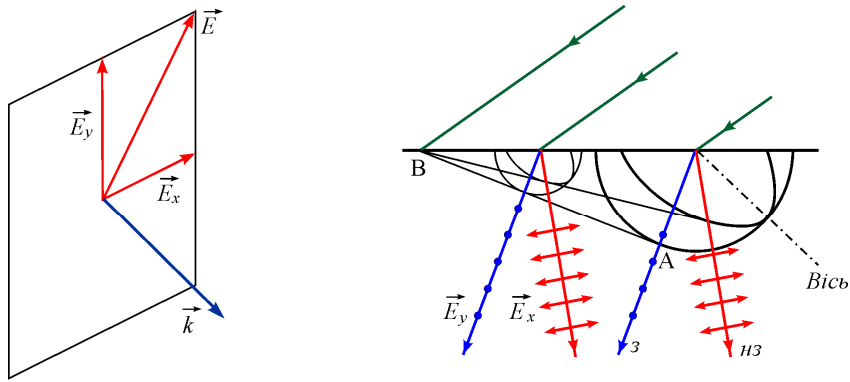
3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ

1. Калориметр.
2. Термометр.
3. Водомірна склянка.
4. Нагрівач.
5. Набір тіл з різних матеріалів.

4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Нехай маємо термоізолюваний калориметр, в якому знаходиться вода масою m_e при температурі T_0 . Якщо у воду опустити тіло масою m_m при температурі T_m , то в системі буде певний час відбуватися нерівноважний (необоротний) процес теплообміну між тілом та водою. На початку процесу температури води та тіла будуть різними, а в кінці – однаковими та дорівнюватимуть T_p .

Оскільки процес необоротний, безпосереднє застосування виразу (3) для розрахунку ентропії є безпідставним. У той самий час ентропія є функцією стану, а, отже, величини ентропії складових системи повинні визначатися виключно температурою на початку процесу та кінцевою температурою (усі інші параметри стану, окрім температури, незмінні). Отже, приріст ентропії ΔS_1 води у калориметрі має бути однаковим як під час порівняно



а)

б)

Рисунок 2 – Схематичні зображення: розкладання вектора \vec{E} на компоненти (а); хід звичайного (з) та незвичайного (nz) променів в одновісному кристалі (б)

поляризованого світла, що готові до використання. На практиці реалізувати таку ситуацію можливо шляхом пропускання світла через деякі анізотропні кристали. Анізотропія електричних властивостей, зумовлена кристалічною будовою, призводить до того, що умови подальшого поширення коливань для взаємно перпендикулярних компонент \vec{E}_x та \vec{E}_y є різними. Це проявляється в різних значеннях показників заломлення для хвильносіїв \vec{E}_x та \vec{E}_y і, як наслідок, у різних напрямках поширення для таких хвиль.

Пояснимо дане явище на прикладі одновісного кристала. **Одновісним** називають кристал, який має лише одну оптичну вісь. **Оптичною віссю** називають напрямок у кристалі, вздовж якого показник заломлення не залежить від напрямку коливань \vec{E} . Тобто під час поширення вздовж оптичної осі природне світло не буде поділятися на дві плоскополяризовані частини. Будь-яку площину, що проходить через оптичну вісь, називають **головною площиною кристала**. Нехай промінь природного світла падає під певним кутом на кристал. Користуючись довільністю поділу вектора \vec{E} на компоненти \vec{E}_x та \vec{E}_y , будемо вважати, що \vec{E}_x лежить у головній площині, а \vec{E}_y перпендикулярна до неї. Одновісний кристал має два значення відносної

Усі величини, наявні в останньому виразі, є або табличними, або доступні для експериментального визначення. Зовнішній вигляд лабораторної установки наведено на рисунку 1.

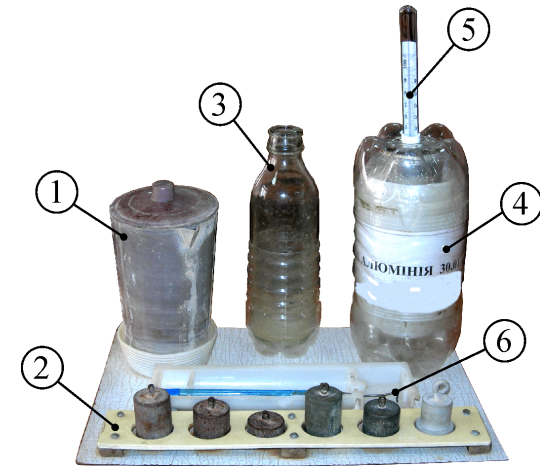


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд лабораторної установки: 1 – нагрівач; 2 – набір досліджуваних тіл; 3 – мірна склянка; 4 – калориметр; 5 – термометр; 6 – спиця для маніпуляцій з вантажами

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Уважно ознайомтеся з попередніми розділами лабораторної роботи та будовою установки.
2. Опустіть у нагрівач 1 перше тіло із набору 2. Залейте його водою так, щоб тіло було повністю занурене, однак шар води зверху був невеликим.
3. Увімкніть нагрівач 1, та поки тіло нагрівається, наповніть водою водомірну склянку 3 до позначки 100 мл та вилийте її у стакан калориметра 4.

Увага! Будьте обережні під час роботи з нагрівачем та уникайте потрапляння гарячої води на відкриті ділянки шкіри.

Лабораторна робота 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА

1. МЕТА РОБОТИ

1. Засвоїти методику роботи з поляриметром.
2. Визначити концентрацію цукрового розчину за допомогою поляриметра.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1. Явище поляризації

Світлом у вузькому розумінні називають сукупність електромагнітних хвиль, частоти яких лежать у межах сприйняття людського ока: $\nu = 4,3 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц, що відповідає довжинам хвиль у вакуумі від $\lambda = 400$ до 700 нм. У свою чергу, під електромагнітною хвилею розуміють процес поширення взаємно перпендикулярних коливань електричної \vec{E} та магнітної \vec{H} компонент єдиного електромагнітного поля. При цьому як \vec{E} , так і \vec{H} перпендикулярні до напрямку поширення хвилі, що задається хвильовим вектором \vec{k} . Таким чином, електромагнітна теорія визначає лише відносну орієнтацію зазначених векторів, проте жодним чином не регламентує безпосереднього положення \vec{E} та \vec{H} для поточного моменту часу. Для того щоб однозначно задати хвильовий процес, потрібно вказати часову залежність положення площини коливань \vec{E} або **тип поляризації**. У разі, коли вектор \vec{E} виконує коливання весь час в одній площині, світло називають **плоскополяризованим**. Якщо площина коливань обертається рівномірно навколо напрямку поширення хвилі, говорять, що світло є **поляризованим по колу**, або **циркулярно поляризованим** (див. рис. 1). Коли під час обертання площини коливань змінюється модуль вектора \vec{E} таким чином, що його кінець описує еліпс, – світло є **поляризованим по еліпсу**, або **еліптично поляризованим**. Узагальнюючи наведені визначення, можна зробити висновок, що **поляризованим** називають таке світло, для якого коливання вектора \vec{E} певним чином

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Що таке термодинаміка та що вона вивчає?
2. Що називають параметрами стану? Функціями стану?
3. Сформулювати перший та другий закони термодинаміки.
4. Який процес називається оборотним?
5. Послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Пояснити термодинамічний зміст ентропії.
7. Пояснити статистичний зміст ентропії.
8. Записати рівняння теплового балансу та пояснити його зміст.
9. Пояснити, чому процес охолодження металевого тіла у воді є необоротним.
10. Дати визначення статистичній вазі та пояснити її зміст.

На оцінку “відмінно”

11. Пояснити різницю між статистичним та термодинамічним підходами до вивчення макросистем.
12. Пояснити, чому графік залежності $\Delta S(C)$ має зростати.
13. Одержати розрахункову формулу (13).
14. Які чинники зумовлюють похибку вимірювань у даній роботі?
15. Розкрити суть явища кипіння рідини та охарактеризувати його.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельев И.В. Курс физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1989.
2. Черняк Л.М. Лекції із загальної фізики: навчальний посібник: у 3 книгах. Книга 1. Класична механіка і теорія відносності. Молекулярно-кінетична теорія і термодинаміка. Механічні коливання та хвилі. Звук. – Суми: Алан ЕКС, 2003.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики: у 2 книгах. Книга 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Либідь, 2001.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990.

$$\Delta_2\alpha = 3\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^N(\langle\alpha\rangle - \alpha_i)^2} \quad (N = 5). \quad (9)$$

Результати запишіть у таблицю 2.

21. Визначте абсолютні похибки визначення величин магнітного нахилення та магнітного схилення згідно з виразами

$$\Delta\beta = \sqrt{(\Delta_1\beta)^2 + (\Delta_2\beta)^2}, \quad (1)$$

$$\Delta\alpha = \sqrt{(\Delta_1\alpha)^2 + (\Delta_2\alpha)^2}. \quad (10)$$

Результати запишіть у таблицю 2.

22. Зробіть висновки до лабораторної роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Що називають магнітним полем?
2. Записати закон Біо-Савара-Лапласа, пояснити усі величини, які він містить. Пояснити даний закон за допомогою рисунка.
3. Перелічити елементи земного магнетизму та дати їм визначення.
4. Пояснити будову тангенс-гальванометра та інклінометра.
5. Викласти послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Нарисувати силові лінії магнітного поля Землі, показати на рисунку географічні та магнітні полюси.
7. Пояснити принцип дії тангенс-гальванометра та інклінометра.
8. Одержати формулу (2), користуючись законом Біо-Савара-Лапласа (1).
9. Як за допомогою магнітної стрілки можна визначити положення площини географічного меридіана?
10. Пояснити природу похибок вимірювань у даній лабораторній роботі.

молекулою, що знаходиться у товщі рідини, то її переміщення у середньому дорівнюватиме нулю (за умови, що рідина покоїться як ціле). Це дозволяє говорити, що середнє значення сили притягання (або відштовхування), яка діє на одну молекулу у товщі рідини зі сторони інших молекул, також дорівнює нулю ($\langle\vec{F}\rangle = 0$, див. рисунок 1а). Інша ситуація спостерігається для молекул приповерхневого шару. Внаслідок близькості межі поділу середовищ сила притягання зі сторони молекул товщі рідини виявляється у середньому незкомпенсованою зі сторони менш численних молекул приповерхневого шару, молекул пари цієї рідини та інших газів ($\langle\vec{F}\rangle \neq 0$, див. рисунок 1б). При цьому незкомпенсована сила спрямована переважно у товщу рідини. Такий стан речей має наступні наслідки.

1) Молекули приповерхневого шару мають тенденцію до переміщення у товщу рідини. Тобто внаслідок флуктуацій молекули будуть переважно переміщуватися з приповерхневого шару у середину рідини, поки збільшення тиску всередині рідини не зупинить цей процес. У макроскопічному масштабі це призводить до того, що площа вільної поверхні рідини є завжди мінімальною за визначених умов. Так, наприклад, якщо на рідину не діють будь-які інші тіла, вона самостійно набуває форми кулі, оскільки саме така форма відповідає мінімальній площі поверхні.

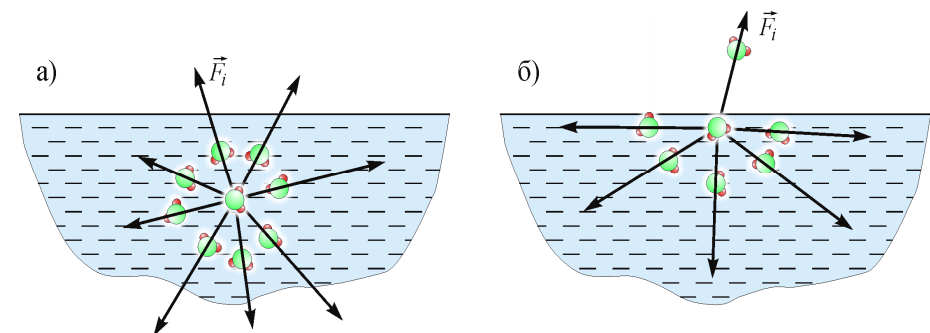


Рисунок 1 – Дія сил міжмолекулярної взаємодії на молекулу у товщі води (а) та у приповерхневому шарі (б)

Таблиця 1 – До визначення горизонтальної складової поля Землі

№ досліджу	$I, \text{мА}$	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_2, ^\circ$	$\varphi = (\varphi_1 + \varphi_2)/2, ^\circ$	$B_0, \text{Тл}$	$ \langle B_0 \rangle - B_{0i} , \text{Тл}$
1						
2						
...						
$N-1$						
N						

$\Delta\varphi = \dots$	$\Delta I = \dots$	$\Delta R = 0,5 \text{ см}$	$\langle B_0 \rangle = \dots$
$\max(\Delta_1 B_0) = \dots$	$\Delta_2 B_0 = \dots$		$\Delta B_0 = \dots$

8. Перемикачем K_1 змініть напрямок струму у витках, не змінюючи його величини. Визначте кут φ_2 і занесіть його до таблиці 1.
9. Повторіть наведені у пунктах 7 та 8 операції для наступних чотирьох значень струму. Результати занесіть до таблиці 1.
10. Відімкніть установку від електричної мережі.
11. Розмістіть інклінометр таким чином, щоб північний полюс його стрілки вказував на 0.
12. Поверніть вісь вала на 90° та виміряйте кут β . Результат занесіть до таблиці 2.

Таблиця 2 – До визначення магнітного нахилення β та схилення α

№ досліджу	$\beta, ^\circ$	$ \langle \beta \rangle - \beta_i , ^\circ$	$\Delta_1 \beta, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$ \langle \alpha \rangle - \alpha_i , ^\circ$	$\Delta_1 \alpha, ^\circ$
1						
2						
...						
$N-1$			$\Delta_2 \beta, ^\circ$			$\Delta_2 \alpha, ^\circ$
N						
середнє $\langle \dots \rangle$		–			–	
–	$\Delta\beta =$			$\Delta\alpha =$		

13. Повторіть дії пунктів 11 та 12 ще чотири рази.
14. За допомогою глобуса, нитки та транспортира визначте магнітне схилення α для міста Сум. Для цього візьміть шматок нитки, складіть удвоє та зафіксуйте його середину в місці знаходження м. Сум ($50^\circ 55'$ північної широти, $34^\circ 45'$ східної

вода об'ємом близько 50 мм^3 за тих самих умов може набувати форми, близької до сферичної (крапля роси). Залежність від об'єму тіла існує не лише для поверхневого натягу, а й для усіх інших поверхневих ефектів.

2.2. Сила поверхневого натягу

Тенденція до зменшення вільної поверхні рідини внаслідок поверхневого натягу зумовлює існування на поверхні рідини певної сили, яка отримала назву **сили поверхневого натягу**. Поведінка поверхні рідини еквівалентна поведінці розтягнутої пружної плівки, а дія сили поверхневого натягу ідентична дії сили пружності, що протидіє розтягу плівки. Тому сила поверхневого натягу завжди спрямована вздовж дотичної до поверхні рідини.

Розглянемо дуже малу, практично прямокутну ділянку поверхні рідини площею ΔS (див. рис. 2). Нехай зовнішня сила \vec{F}_3 прикладена перпендикулярно до сторони Δl . Під дією цієї сили площа вільної поверхні збільшується на $dS = \Delta l dx$, і відповідно до виразу (1), поверхнева енергія зростає на $dW = \sigma dS = \sigma \Delta l dx$. Цей приріст енергії має дорівнювати роботі, що виконується проти сили поверхневого натягу \vec{F}_n , спрямованої проти \vec{F}_3 . Користуючись тим фактом, що робота у цьому випадку визначається добутком сили на переміщення $\sigma \Delta l dx = dW = dA = F_n dx$, легко встановити, що

$$F_n = \sigma \Delta l. \quad (2)$$

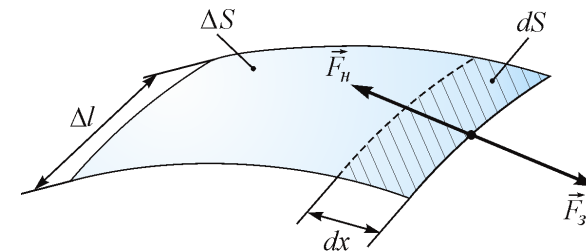


Рисунок 2 – До визначення сили поверхневого натягу

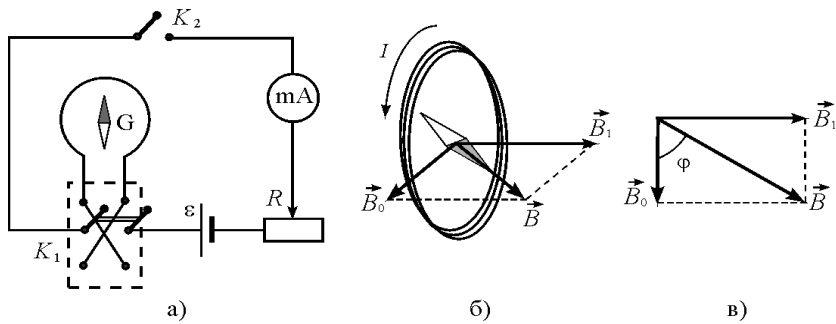


Рисунок 5 – Схема ввімкнення тангенс-гальванометра (а); магнітна стрілка під дією горизонтальної складової магнітного поля Землі та поля витків зі струмом (б); сумарне поле в центрі колових витків тангенс-гальванометра (в)

Величину магнітного нахилення β визначають за допомогою **інклінометра** (див. рисунок б). Даний прилад являє собою магнітну стрілку, вісь обертання якої проходить через геометричний центр перпендикулярно до її площини. Вісь обертання стрілки, в свою чергу, може обернутися у вертикальній площині за допомогою горизонтального вала, закріпленого у опорі. При цьому разом зі стрілкою буде повертатися і площина проградуєваної шкали.

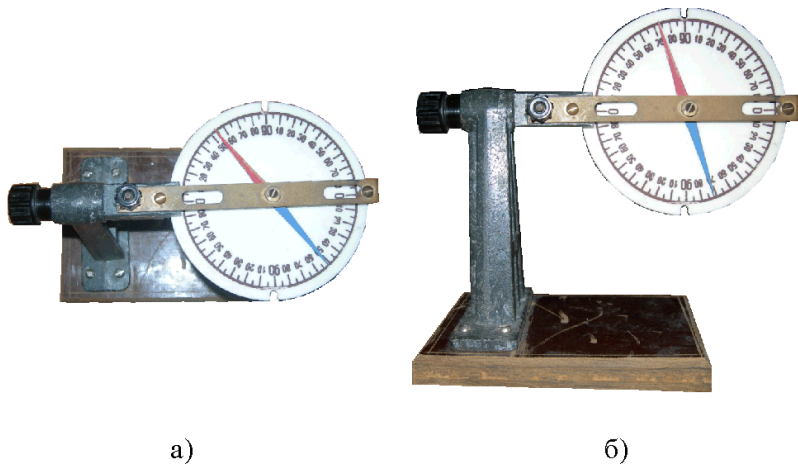


Рисунок 6 – Інклінометр: горизонтальне положення стрілки, вид згори (а); вертикальне положення стрілки, вид збоку (б)

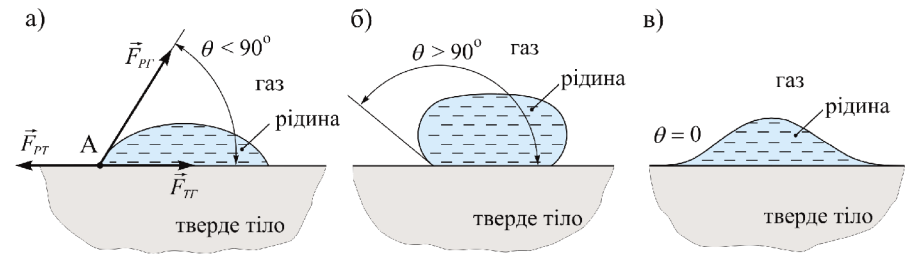


Рисунок 3 – Схематичне зображення часткового змочування рідиною твердого тіла (а), незмочування (б), повного змочування (в)

де θ – **крайовий кут змочування**.

Розрізняють такі ситуації:

1) $(\sigma_{PT} - \sigma_{TT})/\sigma_{PL} > 1 \Rightarrow \cos \theta \equiv 1 \Rightarrow \theta = 0^\circ$. При цьому рідина необмежено розтікається по поверхні твердого тіла, і говорять, що має місце **повне змочування** твердого тіла рідиною (див. рис. 3в).

2) $0 < (\sigma_{PT} - \sigma_{TT})/\sigma_{PL} < 1 \Rightarrow 0 < \cos \theta < 1 \Rightarrow 0^\circ < \theta < 90^\circ$. При цьому рідина розтікається по поверхні твердого тіла лише до визначених меж, і говорять, що має місце **часткове змочування** твердого тіла рідиною (див. рис. 3а).

3) $(\sigma_{PT} - \sigma_{TT})/\sigma_{PL} \leq 0 \Rightarrow \cos \theta \leq 0 \Rightarrow 90^\circ \leq \theta < 180^\circ$. При цьому рідина прагне «зібратися» у кульку, і говорять, що має місце **незмочування** твердого тіла рідиною (див. рис. 3б).

Явища змочування та незмочування можна спостерігати у побуті та живій природі. Так, краплі роси на листках рослин (див. рис. 4а) є яскравим прикладом незмочування. Цікаво, що у наведеному випадку ефект незмочування підсилюється тим, що поверхня листків та стеблин рослин є не плоскою, а має досить нерівномірний мікроскопічний рельєф. Це зменшує контакт між рослиною та водою та збільшує число меж поділу за типом рослина-вода-повітря з достатньо великим кутом змочування. В кінцевому підсумку достатньо великі краплини роси мають можливість знаходитися на поверхні рослини або навіть рухатися по ній. Під час руху краплини роси вона змочує поверхню частинок бруду, що знаходяться на рослині, та забирає бруд із собою. Саме такий спосіб самоочищення дозволяє бути білому лотосу

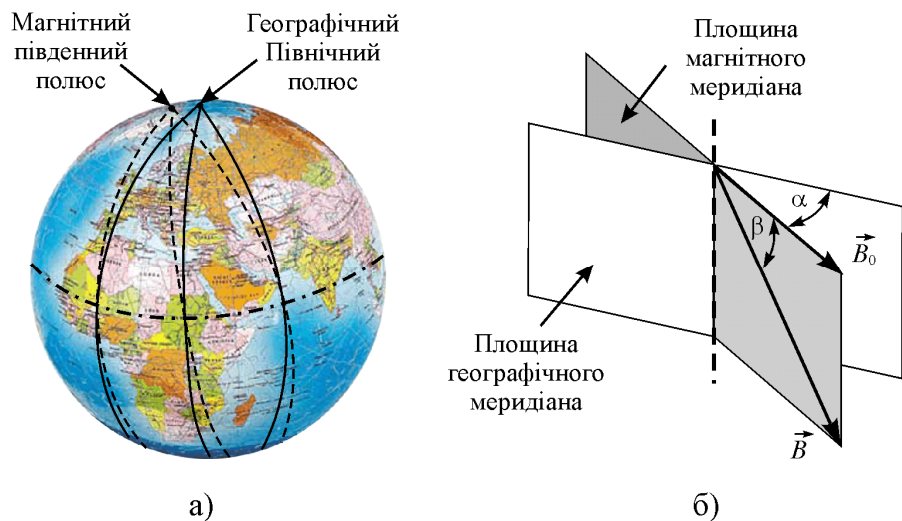


Рисунок 3 – Магнітні (пунктирна лінія) та географічні (суцільна лінія) меридіани. Штрих-пунктирна лінія – екватор (а). Елементи земного магнетизму. Пунктирна пряма – нормаль до Землі в точці знаходження спостерігача (б)

4. ОПИС УСТАНОВКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для визначення горизонтальної складової індукції поля Землі \vec{B}_0 використовується **тангенс-гальванометр** або тангенс-бусоль (див. рис. 4), що підключається до джерела живлення згідно з принциповою схемою рисунка 5а. Прилад складається з немагнітного кільця радіусом R , на яке намотаний тонкий провідник. Кількість витків – N . У центрі кільця розміщено магнітну стрілку у такий спосіб, що вона може обертатися у площині, перпендикулярній до площини витків. Тангенс-гальванометр встановлюють так, що площина витків є вертикальною. Тоді магнітна стрілка, вільно обертаючись у горизонтальній площині, встановлюється вздовж горизонтальної складової вектора індукції магнітного поля.

$$mg = F_n = 2\pi r\sigma \Rightarrow \rho \cdot h\pi r^2 g = 2\pi r\sigma \Rightarrow h = 2\sigma / r\rho g. \quad (5)$$

Вважається, що стовп піднятої рідини являє собою циліндр, і його маса визначається як $m = \rho \cdot h\pi r^2$. Легко побачити, що висота підняття рідини у капілярі обернено пропорційна його розмірам, тобто чим тонший капіляр, тим вище піднімається рідина (див. рис. 5в).

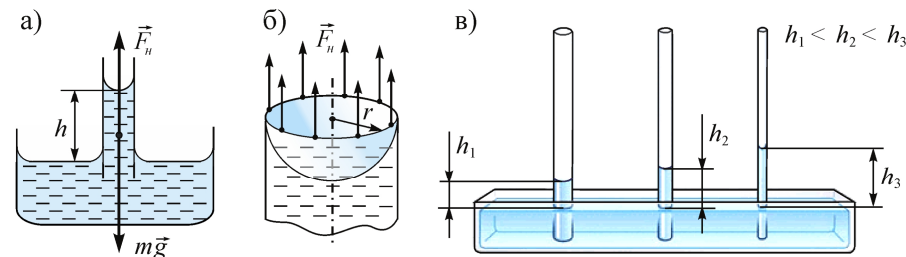


Рисунок 5 – До пояснення фізичної природи капілярних явищ. Сили, що діють на рідину в капілярі (а); характер дії сили поверхневого натягу в капілярі (б); схематичне зображення обернено пропорційної залежності висоти підняття рідини від товщини капіляра (в)

2.5. Поверхневоактивні речовини

Поверхневоактивними речовинами (ПАР) називаються хімічні сполуки, що концентруються на межі поділу рідини з іншими тілами та зменшують коефіцієнт поверхневого натягу речовини. Основною кількісною характеристикою ПАР є **поверхнева активність** (A_s) – здатність речовини зменшувати величину σ . Вона визначається як похідна від коефіцієнта поверхневого натягу за величиною концентрації n ПАР за умови, що концентрація прямує до нуля

$$A_s = - \left. \frac{d\sigma}{dn} \right|_{n \rightarrow 0}. \quad (6)$$

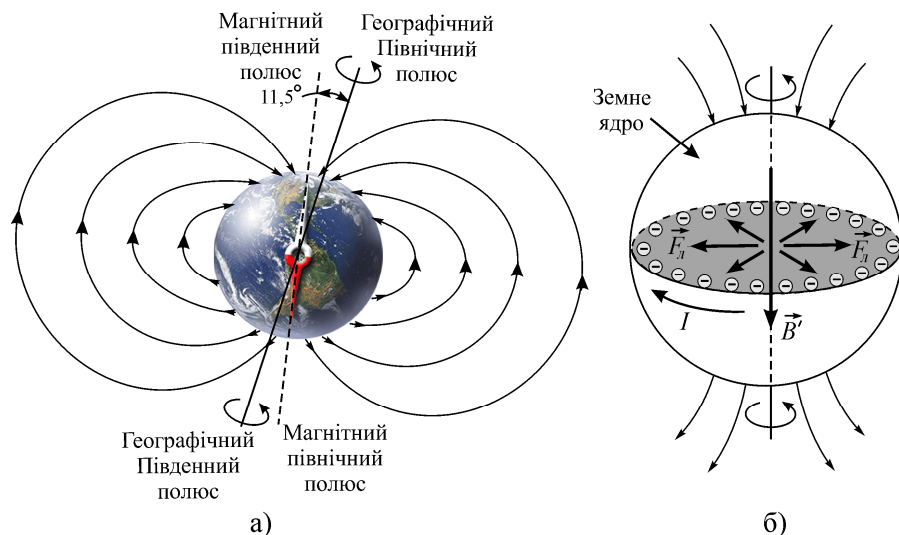


Рисунок 2 – Силові лінії магнітного поля Землі (а). До пояснення гіпотези гідромагнітного динамо (б)

поки явище самоіндукції не зупинить подальше його зростання. На подібному ефекті працюють генератори постійного струму із самозбудженням. Початкове поле \vec{B}' може мати дуже малу величину і бути зумовленим гіромагнітним ефектом, який полягає у наявності магнітного поля вздовж осі обертання для будь-якого тіла, що обертається. Значний вплив на результуюче магнітне поле має той факт, що верхні шари земного ядра є рідкими, і їх рух є досить складним завдяки конвективним потокам та потокам, зумовленим відцентровими силами. Тому ще раз зазначимо, що вищенаведені пояснення є дуже спрощеними.

У результаті конфігурація силових ліній магнітного поля Землі подібна до поля, що створюється постійним смуговим магнітом (див. рис. 2а). Умовились, що ділянку магніту, в яку входять силові лінії, називають **південним полюсом**, а ділянку магніту, з якої виходять силові лінії, називають **північним полюсом** магніту. Лінії, проведені вздовж поверхні Землі, які з'єднують географічні полюси, називають **географічними меридіанами** (див. рис. 3а). Аналогічні лінії, які з'єднують магнітні полюси, нази-

2.6. Класифікація ПАР

Існує надзвичайно велика кількість ПАР, які значно відрізняються між собою за фізико-хімічними характеристиками. Також існує декілька класифікацій таких речовин. Так, у відповідності до класифікації, прийнятої Міжнародною Організацією зі стандартизації (International Organization for Standardization – ISO), ПАР за хімічними властивостями поділяють на чотири типи.

1) **Аніонактивні** ПАР. Вони містять в молекулі одну чи декілька полярних груп та добре дисоціюють у воді з утворенням аніонів у вигляді довгих ланцюжків, які і визначають їх поверхневу активність. Це групи: $\text{COOH}(\text{M})$, $\text{OSO}_2\text{OH}(\text{M})$, $\text{SO}_3\text{H}(\text{M})$, де М – одно-, дво- або тривалентний метал. Гідрофобна частина молекули, як правило, являє собою аліфатичні ланцюжки або алкілові та ароматичні радикали.

2) **Катіонактивні** ПАР, молекули яких під час дисоціації утворюють поверхневоактивний катіон з довгим гідрофобним ланцюжком аніона – як правило галогеніду. Катіонактивні ПАР менше знижують поверхневий натяг, ніж аніонактивні, однак можуть брати участь у хімічних реакціях з поверхнею **адсорбенту** (твердого тіла, здатного накопичувати у собі інші хімічні сполуки). Наприклад, реакція з клітинними білками бактерій зумовлює бактерицидні властивості катіонактивних ПАР, а реакція з волокнами целюлози, що міститься у тканині, надає їй водовідштовхувальних властивостей.

3) **Неіоногенні** ПАР не дисоціюють у воді на іони. Їх розчинність зумовлена наявністю в молекулах гідрофільних ефірних (СО-О) та гідроксильних (ОН) груп. Під час розчинення молекули води за допомогою водневого зв'язку приєднується до кисню ефірних та гідроксильних груп. Подібні з'єднання називаються **гідратами**. Характерною особливістю неіоногенних ПАР є рідкий стан та низьке піноутворення у водних розчинах.

4) **Амфотерні** ПАР. Даний тип речовин не дисоціює під час розчинення, однак самі по собі вони є хімічно активними. Остання властивість забезпечується, як правило, гідрофільним радикалом та здатністю гідрофобної частини бути акцептором або донором протона. Тому, залежно від концентрації іонів вод-

Лабораторна робота 9

ВІВЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

1. МЕТА РОБОТИ

Визначити вектор індукції магнітного поля Землі.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1. Поняття магнітного поля

Згідно з класичним визначенням **магнітне поле** – це особливий вид матерії, який існує навколо електричних струмів (постійних магнітів) та передає дію одних струмів (магнітів) на інші. Як і електричне, магнітне поле має свою силову характеристику, що визначає інтенсивність взаємодії струмів – **магнітну індукцію** \vec{B} . Але формального визначення за аналогією з напруженістю електричного поля для \vec{B} не існує. Причина у тому, що будь-який струм як джерело магнітного поля є просторовим об'єктом. Відповідно індукція магнітного поля \vec{B} буде залежати, в тому числі, і від геометричної конфігурації струму. Експериментально встановлено, що кожен елемент $d\vec{l}$ струму I в точці простору, положення якої задано радіусом-вектором \vec{r} (див. рис. 1), збуджує поле $d\vec{B}$, яке визначається **законом Біо-Савара-Лапласа**

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{|\vec{r}|^3}, \quad (1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м) – магнітна стала. Індукція сумарного поля \vec{B} , що створюється усім провідником зі струмом, визначається лінійним інтегралом від $d\vec{B}$, оскільки для магнітного поля є справедливим принцип суперпозиції. Просторова конфігурація магнітного поля описується за допомогою так званих **силових ліній** – ліній, дотична до кожної з яких в будь-якій точці простору збігається з напрямком \vec{B} , а їх густина пропорційна модулю індукції

миючих засобів на душу населення за рік, а в Україні рівень їх споживання наближається до 5 кг на душу населення за рік. Як і для ПАР попереднього типу, молекули детергенту приєднуються гідрофільними частинами до частинок бруду, а завдяки утвореній гідрофобній оболонці виштовхуються з води та концентруються у стабілізованих частинках емульсії або суспензії. Детергенти повинні мати весь комплекс властивостей, характерних для трьох попередніх типів, тобто суттєво знижувати поверхневий натяг, проявляти змочувальну, гідрофілізуючу дію і бути не тільки диспергаторами, але і сильними стабілізаторами емульсії і суспензій. Також бажаним є стійкість піни, за рахунок якої збільшується активна площа розчину детергенту.

2.7. Вплив ПАР на екологію

Основні загрози, що несе використання ПАР, можна розділити на такі категорії.

1) Оскільки життя практично усіх високорозвинених організмів базується на використанні води, негативна дія ПАР невід'ємно пов'язана із призначенням цих речовин. Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу у відповідності до виразу (5) суттєво впливає на капілярні явища, які визначають процеси обміну речовин.

2) Накопичення ПАР як у прісних водоймах, так і у океані має наслідком зниження поверхневого натягу води. У свою чергу, це зменшує здатність води утримувати кисень та вуглекислий газ, що розчинені у ній, і негативно позначається на умовах існування водної флори та фауни.

3) Більшість ПАР є синтетичними речовинами, що досить повільно розпадаються і тому здатні накопичуватися в організмах в неприпустимих концентраціях. Крім того, це стосується і продуктів їх розпаду.

4) Практично всі ПАР, що використовуються у промисловості та побуті, добре адсорбуються на поверхні частинок ґрунту, піску та глини. За певних умов адсорбовані молекули ПАР можуть вивільняти іони важких металів, які утримуються цими частинками, що підвищує ризик їх потрапляння у живі організми.

12. Визначте середні значення $\langle l_x \rangle$ та $\langle l_N \rangle$ та величини $\langle l_x \rangle - l_{xi}$ та $\langle l_N \rangle - l_{Ni}$. Результати запишіть до відповідних колонок таблиці 1.
13. Обчисліть E_x за допомогою формули (9) та даних таблиці 1. Тут як l_x та l_N слід брати обчислені за даними таблиці 1 середні значення $\langle l_x \rangle$ та $\langle l_N \rangle$.
14. За допомогою даних таблиці 1 обчисліть абсолютну похибку визначення ЕРС за формулою

$$\Delta E_x = E_x \sqrt{\left(\frac{\Delta E_N}{E_N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_N}{\langle l_N \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_x}{\langle l_x \rangle}\right)^2}, \quad (10)$$

де як $\Delta \dot{A}_N$ потрібно брати одиницю найменшого розряду величини \dot{A}_N ,

$$\Delta l_N = \sqrt{(\Delta_1 l)^2 + (\Delta_2 l_N)^2}, \quad (11)$$

$$\Delta_2 l_N = 3 \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\langle l_N \rangle - l_{Ni})^2} \quad (N = 5). \quad (12)$$

Абсолютну похибку Δl_x слід визначати аналогічно до виразів (11) та (12) зміною індексу «N» на «x».

15. Зробіть висновки до лабораторної роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Що називають електричним струмом? Умови його існування.
2. Дати визначення сили струму.
3. Сформулювати закон Ома в інтегральній формі для повного кола та для ділянки кола.
4. Яка перевага методу компенсації над прямими вимірюваннями ЕРС?
5. Викласти послідовність виконання роботи.

Зовнішньою силою може служити сила пружності пружини динамометра, що одночасно забезпечує вимірювання величини сили та компенсацію сили тяжіння відповідним встановленням нуля динамометра. Тоді коефіцієнт поверхневого натягу визначається виразом

$$\sigma = F_\delta / 2l, \quad (7)$$

де F_δ ($F_\delta = F_n$) – максимальне показання динамометра, або показання у момент відриву петлі.

Додавання розчину ПАР призводить до зменшення величини σ . Як наслідок, сила, за допомогою якої можна відірвати петлю від поверхні рідини, також зменшиться. Шляхом додавання ПАР у рідину вимірювання сили F_δ та визначення коефіцієнта поверхневого натягу за допомогою виразу (7) можна побудувати залежність $\sigma(n)$ (див. рис. 7б). Тангенс нахилу дотичної до одержаної кривої, побудованої на початку залежності, являтиме собою значення поверхневої активності

$$A_s = - \left. \frac{d\sigma}{dn} \right|_{n \rightarrow 0} = \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{\Delta' \sigma}{\Delta' n}. \quad (8)$$

Схема експериментальної установки наведена на рисунку 8.

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1. Визначення коефіцієнта поверхневого натягу

1. Уважно ознайомтеся з попередніми розділами лабораторної роботи та будовою установки.
2. Установіть корпус динамометра 1 вертикально. Корпус тримача 9 встановіть так, щоб його вісь збігалася з віссю стакану 2 та пружини 3.
3. Висоту підставки 8 встановіть так, щоб петля могла занурюватися у рідину та виходити з неї за допомогою гвинта 10.
4. Налийте у чашку 7 100 см³ чистої води.
5. Установіть чашку 7 з рідиною на підставку 8.

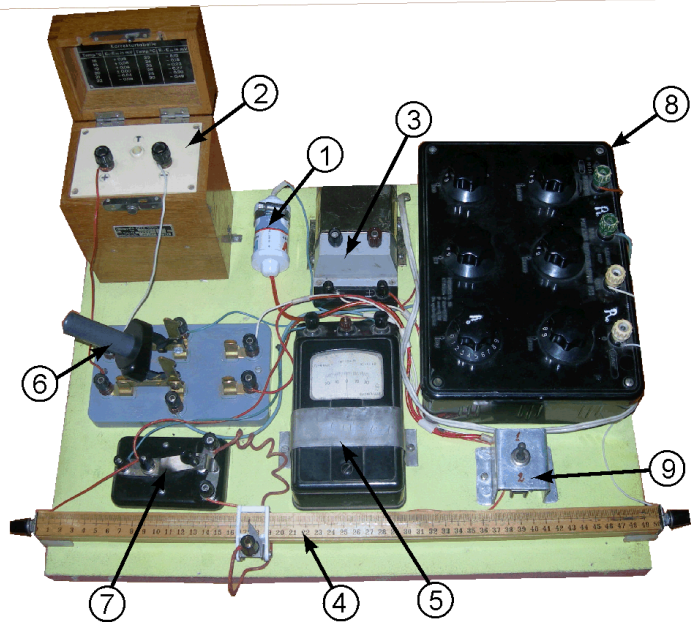


Рисунок 3 – Лабораторна установка: 1 – невідоме джерело E_x ; 2 – еталонне джерело E_N ; 3 – зовнішнє джерело E_0 ; 4 – реохорд; 5 – гальванометр; 6 – перемикач для перемикання невідомого та еталонного джерел K_1 ; 7 – ключ K_2 ; 8 – магазин опорів; 9 – тумблер підключення E_x послідовно з E_0

3. Запишіть у таблицю 1 інструментальну похибку $\Delta_1 l$ визначення довжини дроту реохорда.
4. Встановіть на магазині опорів 8 опір $R_0 = 0$.
5. За допомогою перемикача K_1 підключіть невідоме джерело E_x 1.
6. Виставте бігунок реохорда так, щоб струм через гальванометр був відсутній. Занесіть значення l_x до таблиці 1.

Увага! Щоб запобігти виходу з ладу гальванометра, для розриву вітки поставлено ключ K_2 . У процесі компенсації слід замикати вітку гальванометра шляхом короткочасних натискань на даний ключ.

9. Повільно обертаючи гвинт 10, забезпечте повільний та рівномірний по усій довжині l вихід петлі з рідини з утворенням плівки, як це показано на рисунку 7а. Показання динамометра при цьому будуть рівномірно збільшуватися аж до відриву петлі від рідини.
10. У момент відриву зафіксуйте показання динамометра та запишіть їх у таблицю 1.
11. Повторіть зазначені у пунктах 7-10 вимірювання ще 4 рази для тієї самої петлі. Результати запишіть у таблицю 1.
12. Повторіть зазначені у пунктах 6-10 вимірювання для решти петель. Результати запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань коефіцієнта поверхневого натягу чистої води

№ досліду	F, H		
	$l_1 =$ мм	$l_2 =$ мм	$l_3 =$ мм
1			
2			
3			
4			
5			
$\langle F_i \rangle, \text{H}$			
$\Delta_2 F_i, \text{H}$			
$\Delta F_i, \text{H}$			
$\sigma_i, \text{H/м}$			
$\Delta \sigma_i, \text{H/м}$			

$\Delta l =$	$\Delta_1 F =$	$\langle \sigma \rangle =$	$\Delta \sigma =$
$\sigma = \langle \sigma \rangle \pm \Delta \sigma =$			

Увага! Подальший опис стосується обробки одержаних даних. Тому спочатку виконайте вимірювання, зазначені у пунктах 1-12, та завершіть експериментальну частину робіт, а потім здійсніть зазначені далі розрахунки.

Підкреслимо, падіння напруги $I_0 R_x$ створюється за рахунок енергії додаткового джерела E_0 .

Визначати невідомі величини I_0 та R_x не буде потреби, якщо повторити усі наведені операції для **еталонного джерела** струму E_N , а потім порівняти одержані результати. ЕРС еталонного джерела відома з великою точністю. Схема, за допомогою якої реалізується зазначена ідея, наведена на рисунку 1в. Шляхом перемикаання ключа K в положення 2 та переміщенням бігунка змінного опору можна компенсувати ЕРС еталонного джерела

$$E_N = I_1^N R_N = I_0 R_N. \quad (8)$$

При цьому струм I_0 у виразах (7) та (8) однаковий, оскільки в обох випадках він визначається сумарним опором потенціометра та внутрішнім опором зовнішнього джерела.

Як потенціометр зручно використовувати реохорд, який являє собою тонкий провідник зі сталим перерізом, розміщений вздовж проградуєваної в міліметрах шкали. Тоді згідно з виразом (2) опори R_x та R_N будуть визначатися відповідними довжинами провідників l_x та l_N , а коефіцієнти пропорційності будуть однакові. Поділимо співвідношення (7) на (8) і з урахуванням останньої обставини одержимо вираз для знаходження ЕРС E_x через ЕРС еталонного джерела E_N

$$E_x = E_N \frac{l_x}{l_N}. \quad (9)$$

3. КОМПЛЕКТАЦІЯ РОБОТИ

1. Невідоме джерело ЕРС (E_x).
2. Еталонне джерело ЕРС (E_N).
3. Джерело ЕРС, за допомогою якого відбувається компенсація (E_0).
4. Реохорд.
5. Гальванометр.
6. Магазин опорів.
7. Ключ.
8. Перемикач.

18. Кінцевий результат визначення коефіцієнта поверхневого натягу чистої води подайте у вигляді

$$\sigma = \langle \sigma \rangle \pm \Delta \sigma,$$

$$\text{де } \langle \sigma \rangle = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3, \Delta \sigma = \max(\Delta \sigma_i).$$

5.2. Визначення поверхневої активності ПАР

1. У другу колонку таблиці 2 (для $k = 0$) переписіть дані з таблиці 1 для визначеної викладачем петлі.
2. За допомогою пінцета підвісьте петлю, зазначену викладачем, до гачка у нижній частині пружини. Довжину горизонтальної сторони петлі запишіть у таблицю 2.
3. За допомогою піпетки додайте у чашку з водою одну краплю 10 % розчину мильного порошку (ПАР).

Таблиця 2 – Результати вимірювань поверхневої активності мильного розчину

№ досліду	$F, \text{ Н (для } l = \text{ мм)}$					
	$k = 0$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
1						
2						
3						
4						
5						
$n_k, \text{ кг/м}^3$	0					
$\langle F_k \rangle, \text{ Н}$						
$\Delta_2 F_k, \text{ Н}$						
$\Delta F_k, \text{ Н}$						
$\sigma_k, \text{ Н/м}$						
$\Delta \sigma_k, \text{ Н/м}$						

$\Delta' n =$	$\Delta' \sigma =$	$\Delta n =$	$\Delta \sigma =$
$A_s =$	$\Delta A_s =$		

$$I = U/R. \quad (3)$$

Рух заряджених частинок, зумовлений чинниками електростатичного походження, не може існувати необмежено довго. Припустимо, певний об'єм провідника заряджений нерівномірно. У цьому випадку між ділянками провідника існуватиме різниця потенціалів $\Delta\varphi = U$, яка зумовить проходження струму. Однак струм приведе до вирівнювання густини заряду в провіднику, внаслідок чого його потенціал стане однаковим в усьому об'ємі. Таким чином, струм, зумовлений електростатичними силами, буде усувати одну із причин свого існування і згасати. Тому такі сили не можуть забезпечити постійний рух зарядів у колі. Сталу різницю потенціалів на окремих ділянках кола (відповідно і силу струму в колі) можна створювати за рахунок так званих сторонніх сил. **Сторонні сили** – це сили будь-якого походження, крім електростатичного, які здатні переміщати заряди проти електростатичного поля. Відношення роботи A сторонніх сил з переміщення заряду вздовж замкнутого контуру до величини цього заряду q називається **електрорушійною силою**, або **ЕРС** джерела струму

$$E = A/q. \quad (4)$$

Як і напруга, ЕРС вимірюється у вольтах: $[E] = \text{В}$.

Важливою характеристикою джерела струму є також його **внутрішній опір** r . Він впливає на струм у колі так само, як і зовнішній стосовно джерела опір R . Сила струму у колі, що містить джерело ЕРС, визначається за законом **Ома для повного кола**

$$I = E/(R + r). \quad (5)$$

2.2. Суть методу компенсації

Будь-яке електричне вимірювання вимагає певних затрат енергії на роботу вимірювального приладу. Наприклад, у випадку вимірювання величини ЕРС E_x вольтметром (див. рис. 1а) через нього буде проходити струм, що визначається за формулою (5). Відповідно показання вольтметра будуть

13. Відповідно до виразу (8) обчисліть поверхневу активність A_s мильного розчину.

14. Похибку визначення поверхневої активності розрахуйте за допомогою співвідношення

$$\Delta A_s = A_s \sqrt{\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta'\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{\Delta'n}\right)^2}, \quad (16)$$

де $\Delta n = 0,05 \cdot \rho_m \cdot V_0/V$ – абсолютна похибка визначення концентрації; $\Delta\sigma = \max(\Delta\sigma_k)$ – абсолютна похибка визначення коефіцієнта поверхневого натягу

$$\Delta\sigma_k = \sigma_k \sqrt{\left(\frac{\Delta F_k}{\langle F_k \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}. \quad (17)$$

15. Зробити висновки до лабораторної роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

На оцінку “задовільно”

1. Дати визначення коефіцієнта поверхневого натягу.
2. Що називають силою поверхневого натягу?
3. Які речовини називаються поверхневоактивними?
4. Що називається змочуванням та незмочуванням?
5. Послідовність виконання лабораторної роботи.

На оцінку “добре”

6. Яка фізична природа поверхневого натягу?
7. Пояснити сутність капілярних явищ та їх роль у живій природі?
8. Одержати формулу (4). Пояснити зміст терміна “крайовий кут змочування”.
9. Якою величиною характеризується дія поверхневоактивних речовин? Дати визначення цієї величини.
10. У чому полягає небезпека ПАР для навколишнього середовища?