

**Рефрактометричний аналіз.  
Методичні вказівки до виконання  
лабораторних робіт**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Рефрактометричний аналіз.  
Методичні вказівки до виконання  
лабораторних робіт**

Вінниця  
ВНТУ  
2018

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 18.01.2018 р.)

Рецензенти:

**В. Г. Петрук**, доктор технічних наук, професор

**Г. М. Розанцев**, доктор хімічних наук, професор

Рефрактометричний аналіз. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Уклад. А. П. Ранський, О. А. Гордієнко, Т. С. Тітов. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 30 с.

В методичних вказівках розглянуто теоретичні основи рефрактометрії, її практичне застосування в хімічному аналізі, будову та принцип дії рефрактометра, що широко використовується в аналітичній практиці, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та контрольні тестові завдання для перевірки знань студентів.

## ЗМІСТ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕФРАКТОМЕТРІЇ.....	5
2 ЯКІСНИЙ І КІЛЬКІСНИЙ РЕФРАКТОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ .....	8
3 АПАРАТУРА ДЛЯ РЕФРАКТОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	10
4 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ .....	13
4.1 Вимірювання показника заломлення рідин на рефрактометрі ІРФ-454 Б2М.....	13
4.2 Ідентифікація речовин рефрактометричним методом .....	16
4.3 Визначення масової частки сахарози у водних розчинах на рефрактометрі ІРФ-454 Б2М.....	18
4.4 Визначення вмісту розчиненої речовини у водних розчинах рефрактометричним методом .....	19
4.5 Екстракційно-рефрактометричне визначення нафтопродуктів у воді.....	20
5 КОНТРОЛЬНІ ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ.....	23
ЛІТЕРАТУРА .....	26
Додаток А Фізичні властивості органічних речовин .....	27
Додаток Б Атомні рефракції елементів.....	29

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Лабораторний практикум відіграє важливу роль в процесі вивчення хімічних дисциплін. На лабораторних заняттях студенти вчаться застосовувати теоретичні знання при проведенні експериментальних досліджень, аналізувати і обґрунтовувати отримані результати, набувають навичок роботи з хімічним посудом, реактивами, приладами, засвоюють прийоми проведення різноманітних хімічних операцій.

Ефективність лабораторних занять значно залежить від наявності належного методичного забезпечення. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з рефрактометрії призначені для студентів спеціальностей 101 – «Екологія» та 183 – «Технології захисту навколишнього середовища», які вивчають дисципліни «Органічна хімія в технологічних процесах», «Фізико-хімічні методи аналізу навколишнього середовища», «Якісний та кількісний аналіз навколишнього середовища». Метою методичних вказівок є допомога студентам при вивченні теоретичних основ рефрактометричного методу аналізу, в оволодінні методикою проведення вимірювань на рефрактометрі, у набутті навичок проведення якісного і кількісного аналізу рефрактометричним методом.

В першому розділі «Теоретичні основи рефрактометрії» наведено закон заломлення світла, розглянуто фізичний зміст показника заломлення та чинники, що впливають на його величину.

Другий розділ «Якісний і кількісний рефрактометричний аналіз» присвячено практичному застосуванню рефрактометрії в хімічному аналізі для ідентифікації органічних речовин та визначення концентрації розчинів.

У третьому розділі «Апаратура для рефрактометричних вимірювань» наведено принципову схему рефрактометра типу Аббе, який широко використовується в аналітичній практиці, і розглянуто його принцип дії.

Четвертий розділ «Лабораторні роботи» містить методичні вказівки до п'яти робіт. Їх виконання дасть можливість студентам ознайомитись з будовою рефрактометра ІРФ-454 Б2М, засвоїти методику вимірювання показника заломлення рідин, навчитись ідентифікувати органічні речовини шляхом порівняння експериментального та табличного значення показника заломлення, визначати концентрацію розчину рефрактометричним методом, зокрема оволодіти методикою визначення нафтопродуктів у природних водах. Кожна робота містить перелік обладнання та реактивів, необхідних для її виконання, чіткий і послідовний опис етапів роботи, вимоги до оформлення звіту.

У п'ятому розділі наведено контрольні тестові завдання для перевірки знань, а в додатках міститься довідковий матеріал, що допоможе студентам при виконанні лабораторних робіт та оформленні результатів експериментальних досліджень.

Використання методичних вказівок підвищить ефективність роботи на лабораторних заняттях як студентів, так і викладачів.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕФРАКТОМЕТРІЇ

**Рефрактометричний метод аналізу** ґрунтується на явищі **рефракції** – заломленні світла на границі розділення двох оптично прозорих однорідних середовищ. Коли промінь світла потрапляє на границю розділення двох середовищ, відбувається часткове відбивання світла від поверхні розділення і часткове його поширення в іншому середовищі (рис. 1.1). Зміна початкового напрямку світла – **заломлення світла** – обумовлена різною швидкістю поширення світла в різних середовищах.

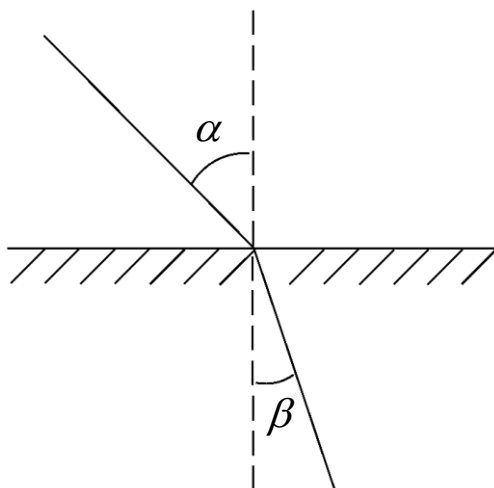


Рисунок 1.1 – Заломлення світла на границі розділення двох середовищ

Напрямок променя світла в другому середовищі змінюється відповідно до закону заломлення:

$$n_{\text{відн}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (1.1)$$

де  $n_{\text{відн}}$  – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого;

$\alpha$  – кут падіння променя;

$\beta$  – кут заломлення променя.

Показник заломлення також дорівнює відношенню швидкостей променя світла  $v_1$  і  $v_2$  в цих середовищах:

$$n_{\text{відн}} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (1.2)$$

Формула (1.2) відображає фізичний зміст показника заломлення. Відношення швидкості поширення світла у вакуумі ( $v_{\text{вакуум}} = 3 \cdot 10^{10}$  см/с) до швидкості поширення світла у заданому середовищі називають абсолютним показником заломлення  $n_{\text{абс}}$ :

$$n_{абс} = \frac{v_{вакуум}}{v_{середовище}}. \quad (1.3)$$

На практиці вимірюють показник заломлення рідких і твердих речовин відносно повітря. Відносний показник заломлення відносно повітря називають просто показником заломлення  $n$ , який за нормальних умов пов'язаний з абсолютним показником заломлення співвідношенням

$$n_{абс} = 1,00027 \cdot n. \quad (1.4)$$

Показник заломлення речовини залежить від:

- природи речовини;
- густини речовини;
- температури;
- довжини хвилі світла;
- концентрації (для розчинів).

Природа речовини визначає ступінь поляризованості молекул, з якою пов'язане поширення світла в середовищі. Поляризовані молекули здатні заломлювати світло. Заломлення світла тим значніше, чим більшою є поляризованість, яка пов'язана з діелектричною проникністю середовища  $\varepsilon$ . Зв'язок показника заломлення з діелектричною проникністю середовища відображається рівнянням

$$\varepsilon = n^2. \quad (1.5)$$

Показник заломлення речовини пов'язаний з її густиною: чим більшою є густина, тим більшою є величина показника заломлення. Зміна температури приводить до зміни густини речовини і, як наслідок, до зміни показника заломлення. Зі зростанням температури зменшується густина речовини і, відповідно, зменшується показник заломлення.

Температурної залежності показника заломлення можна уникнути, використовуючи **рефракцію** (питому і молярну). Це величина, що відображає внутрішню структуру речовини і не залежить від зовнішніх чинників (температури, тиску та ін.). Питому  $r$ ,  $см^3/г$  і молярну  $R$ ,  $см^3/моль$  рефракції обчислюють за формулами:

$$r = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho}, \quad (1.6)$$

$$R = M \cdot r = \frac{(n^2 - 1) \cdot M}{(n^2 + 2) \cdot \rho}, \quad (1.7)$$

де  $n$  – показник заломлення речовини;

$\rho$  – густина речовини,  $г/см^3$ ;

$M$  – молярна маса речовини,  $г/моль$ .

Молярна рефракція, обчислена за формулою (1.7) – формулою Лоренц–Лорентца – є мірою поляризованості молекул:

$$R = 2,52 \cdot 10^{24} \cdot \alpha, \quad (1.8)$$

де  $\alpha$  – поляризованість молекул речовини.

Молярна рефракція є адитивною властивістю, тобто її числове значення дорівнює сумі атомних рефракцій елементів і хімічних зв'язків в молекулі:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (1.9)$$

Величини атомних рефракцій і рефракцій хімічних зв'язків наведено в довідниках.

Молярна рефракція розчину є сумою рефракцій його компонентів з урахуванням їх кількості:

$$R_{p-ну} = R_{p-ка} \cdot N_{p-ка} + R_{p.p-ни} \cdot N_{p.p-ни}, \quad (1.10)$$

де  $N$  – мольна частка речовини в розчині.

Зміну показника заломлення речовини зі зміною довжини хвилі світла  $\lambda$  називають **дисперсією**. Чим більшою є довжина хвилі світла, тим меншим показник заломлення.

Температуру і довжину хвилі світла, на якій проводять вимірювання, зазначають поруч з символом показника заломлення  $n$  як верхній та нижній індекси. Так, запис  $n_{589}^{20}$  означає, що показник заломлення виміряний при  $20^\circ\text{C}$  для жовтої  $D$ -лінії натрію з довжиною хвилі  $589 \text{ нм}$ . Зазвичай замість довжини хвилі зазначають тільки символ лінії ( $D$  для жовтої лінії натрію  $589 \text{ нм}$ ,  $C$  для червоної лінії гідрогену  $656 \text{ нм}$ ,  $F$  для синьої лінії гідрогену  $486 \text{ нм}$  тощо). Для багатьох речовин в довідниках наведено саме показник заломлення  $n_D^{20}$ . Якщо проводять вимірювання за іншої температури, використовують поправку:

$$n' = n_D^{20} + (20 - t) \cdot 0,0002, \quad (1.11)$$

де  $n'$  – показник заломлення за температури  $t$ .

Залежність між концентрацією речовини в розчині та показником заломлення виражають формулою

$$n = n_0 + F \cdot \omega, \quad (1.12)$$

де  $n$  – показник заломлення розчину;

$n_0$  – показник заломлення розчинника;

$\omega$  – масова частка розчиненої речовини в розчині, %;

$F$  – фактор показника заломлення, який дорівнює величині приросту показника заломлення при збільшенні концентрації розчину на 1%.

## 2 ЯКІСНИЙ І КІЛЬКІСНИЙ РЕФРАКТОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ

Залежність величини показника заломлення від природи речовини покладено в основу якісного рефрактометричного аналізу. Показник заломлення є сталою величиною для кожної речовини, її індивідуальною константою. Рефрактометрію використовують для ідентифікації рідких речовин, встановлення їх ступеня чистоти. Порівнюючи експериментально визначений показник заломлення з табличними значеннями (додаток А), встановлюють (ідентифікують) речовину. Зазвичай для встановлення природи речовини з табличними значеннями порівнюють сукупність експериментальних фізичних характеристик речовини (показник заломлення, густину, температуру кипіння тощо). Для підтвердження висновків щодо природи речовини можна розрахувати молярну рефракцію за формулою (1.7), підставивши експериментально визначені показник заломлення та густину речовини та її ж за формулою (1.9), підставивши табличні значення атомних рефракцій елементів та рефракцій хімічних зв'язків в молекулі. Збіг числових значень молярної рефракції свідчить про те, що речовина ідентифікована правильно. Наявність домішок в речовині змінює величину показника заломлення, що дозволяє оцінити ступінь її чистоти.

Кількісний рефрактометричний аналіз ґрунтується на залежності показника заломлення розчину від його концентрації, яка подана формулою (1.12). В рефрактометрії концентрацію речовини в розчині за результатами вимірювання аналітичного сигналу – показника заломлення – визначають:

- методом градуовального графіка;
- за спеціальними рефрактометричними таблицями, що складені для багатьох речовин;
- методом стандартів – за значенням фактора показника заломлення  $F$ .

В першому випадку готують серію розчинів з відомою та різною концентрацією визначуваної речовини та вимірюють величину показника заломлення стандартних розчинів. Далі будують градуовальний графік в координатах «показник заломлення – масова частка речовини в розчині» (рис. 2.1). За градуовальним графіком знаходять концентрацію досліджуваного розчину, вимірявши його показник заломлення в тих самих умовах, що і при побудові градуовального графіка.

В другому випадку в рефрактометричній таблиці знаходять відповідне вимірюваному показнику заломлення значення масової частки розчину. Якщо виміряний показник заломлення в таблиці не наведено, проводять інтерполювання.

В третьому випадку вимірюють показник заломлення досліджуваного розчину та обчислюють масову частку речовини за формулою (1.12).

Значення фактора показника заломлення  $F$  встановлюють експериментально або використовують табличні значення  $F$ , які для багатьох водних розчинів наведено в довідниках.

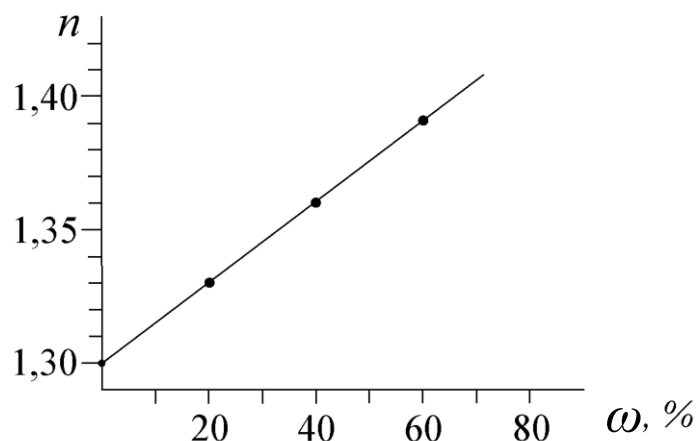


Рисунок 2.1 – Залежність показника заломлення розчину від масової частки речовини в розчині

Рефрактометричний метод використовують для аналізу одно-, дво- та трикомпонентних систем. Аналіз однокомпонентної системи (індивідуальної речовини) дозволяє її ідентифікувати. Кількісне визначення проводять для дво- та трикомпонентних розчинів. Більш складним є аналіз трикомпонентних систем, оскільки при цьому потрібно додатково визначати ще якусь властивість системи, наприклад, густину. В системах, складніших за трикомпонентну, визначити всі компоненти рефрактометричним методом неможливо. Але в таких багатокомпонентних системах рефрактометрично визначають один або два компоненти. Крім того, складні суміші можна попередньо розділяти фракційною перегонкою або екстракцією та рефрактометрично аналізувати окремі фракції.

До переваг рефрактометричного методу аналізу потрібно віднести:

- використання для вимірювання показника заломлення простих в роботі приладів;
- незначні затрати часу на проведення вимірювань;
- мінімальну кількість досліджуваної проби, необхідної для аналізу;
- високу точність визначення показника заломлення, який з використанням звичайних приладів вимірюють з точністю до  $10^{-3}\%$ . Точність аналізу розчинів є тим вищою, чим більшою є різниця показників заломлення його компонентів.

Як недоліки можна відзначити:

- низьку чутливість, тому метод використовують для аналізу розчинів з масовою часткою понад 1%;
- низьку селективність, оскільки величини показника заломлення для різних речовин можуть бути дуже близькими. Тому метод використовують для аналізу індивідуальних речовин або дво- та трикомпонентних систем.

### 3 АПАРАТУРА ДЛЯ РЕФРАКТОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Прилад, який використовують для вимірювання показника заломлення, називають **рефрактометром**. В аналітичній практиці широко застосовують прилади, принцип дії яких ґрунтується на явищі повного внутрішнього відбиття при проходженні світла через границю розділення двох середовищ з різними показниками заломлення (рефрактометр типу Аббе).

Якщо світло потрапляє з середовища з більшим показником заломлення в середовище з меншим показником заломлення ( $n_1 > n_2$ ), то кут заломлення завжди більший кута падіння ( $\beta > \alpha$ ). Зі збільшенням кута падіння зростає кут заломлення і настає момент, коли кут заломлення досягає  $90^\circ$ , тобто промінь ковзає по поверхні розділення середовищ. Відповідний йому кут падіння називають **граничним кутом повного внутрішнього відбиття** ( $\alpha_{\text{гран}}$ ). Якщо світло падає під кутом  $\alpha > \alpha_{\text{гран}}$ , то воно не виходить з першого середовища. Це явище називають **повним внутрішнім відбиттям** (рис. 3.1).

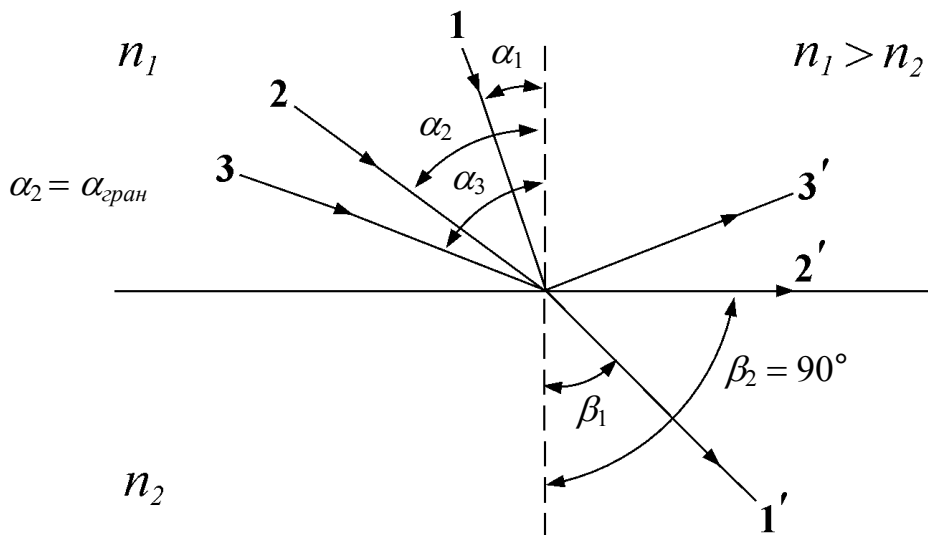


Рисунок 3.1 – Виникнення повного внутрішнього відбиття на границі двох середовищ

Величина граничного кута визначається із співвідношення:

$$\sin \alpha_{\text{гран}} = \frac{n_2}{n_1}, (n_1 > n_2). \quad (3.1)$$

Граничний кут повного внутрішнього відбиття на границі двох середовищ залежить лише від їх показників заломлення. Тоді, за відомими величинами граничного кута і показника заломлення одного середовища, можна визначити показник заломлення другого середовища. Якщо другим середовищем є повітря, то формула (3.1) набуває вигляду:

$$\sin \alpha_{\text{гран}} = \frac{1}{n_1}. \quad (3.2)$$

Якщо світло потрапляє із середовища з меншим показником заломлення в середовище з більшим показником заломлення, кут падіння завжди буде більшим за кут заломлення ( $\alpha > \beta$ ). Для променів, що ковзають по поверхні розділення ( $\alpha \approx 90^\circ$ ), заломлення відбуватиметься за граничним кутом  $\beta_{\text{гран}}$  (рис. 3.2). Із заломлених променів промінь 3' буде крайнім. При цьому поле зору буде розділено на темну та світлу частини з чіткою границею між ними. Таким чином, вимірювання показника заломлення зводиться до вимірювання граничного кута  $\beta_{\text{гран}}$ .

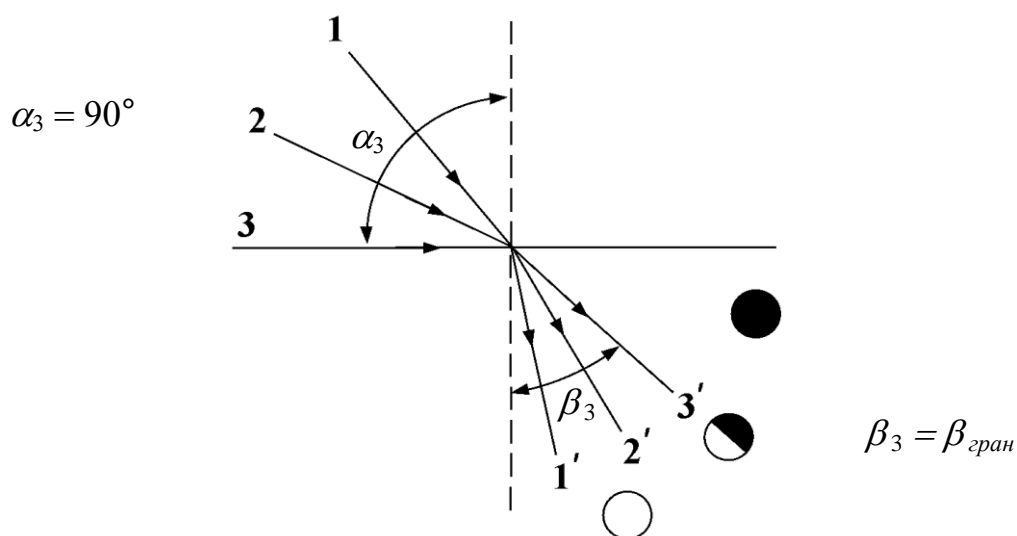


Рисунок 3.2 – Принцип вимірювання показника заломлення

Принципова схема рефрактометра Аббе наведена на рис. 3.3. Основною частиною приладу є дві призми – освітлювальна та вимірювальна. Поверхня освітлювальної призми зроблена матовою для розсіювання світла. Вимірювання проводять при денному світлі або при ввімкненому освітлювачі.

Поліхроматичне (біле) світло від джерела (1) потрапляє на освітлювальну призму (2), розсіюється її матовою поверхнею, проходить крізь шар рідини (4), що розміщена між призмами, і падає під різними кутами на робочу грань вимірювальної призми (3). Вимірювальну призму виготовляють з оптично щільного скла, показник заломлення якого більше 1,7. Тому вимірювання проводять для речовин з показником заломлення менше 1,7.

На границі між рідиною (4) і робочою гранню вимірювальної призми (3) світло, що падає під кутом  $\alpha \leq 90$ , заломлюється. Заломлені промені потрапляють до зорової трубки (6), в якій знаходиться система лінз і компенсатор дисперсії, та фокусуються у вигляді світлого та темного полів з різкою границею між ними.

Компенсатор дисперсії складається з двох призм Амічі, що склеєні з трьох призм, виготовлених з різних сортів скла. Він дозволяє усунути дисперсію, через яку біле світло при проходженні через вимірювальну призму розкладається в спектр і границя між світлою та темною частиною виявляється нечіткою, розмитою, забарвленою в усі кольори райдуги.

На лінзу окуляра (9) нанесено перехрестя (або візирна лінія у вигляді трьох штрихів). Значення показника заломлення знімають за шкалою (8), коли границя темної і світлої половин буде встановлена точно на перехресті окуляра (9).

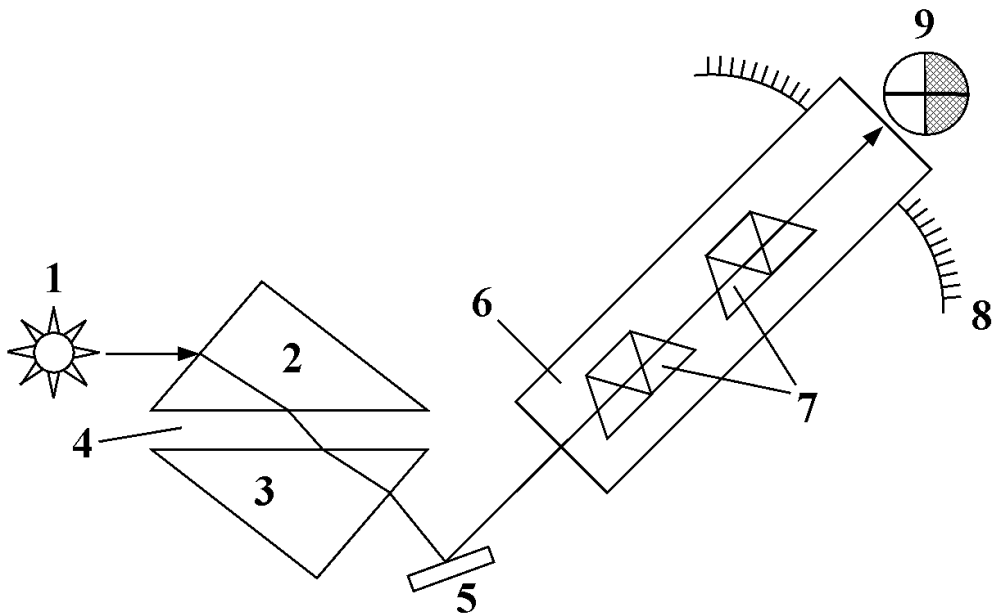


Рисунок 3.3 – Принципова схема рефрактометра:

- 1 – джерело світла; 2 – освітлювальна призма; 3 – вимірювальна призма;  
 4 – рідина; 5 – дзеркало; 6 – зорова трубка; 7 – призма Амічі; 8 – шкала;  
 9 – окуляр з перехрестям візирних ліній

## 4 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

### 4.1 Вимірювання показника заломлення рідин на рефрактометрі ІРФ-454 Б2М

*Мета роботи:* ознайомитись з будовою рефрактометра ІРФ-454 Б2М, оволодіти методикою вимірювання показника заломлення, виміряти показники заломлення деяких рідин.

*Обладнання та реактиви:* рефрактометр, піпетки, фільтрувальний папір, спирт етиловий для очищення призм, дистильована вода, набір рідин (гексан, толуол, ксилол, тетрахлорметан, ізопропіловий спирт, бензиловий спирт, нітробензол тощо).

Рефрактометр ІРФ-454 Б2М призначений для вимірювання показника заломлення  $n_D$  неагресивних рідин в інтервалі від 1,2 до 1,7 з похибкою  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ . Температура досліджуваної рідини може змінюватись в межах від 10 до 60 °С. Зовнішній вигляд рефрактометра наведено на рис. 4.1.

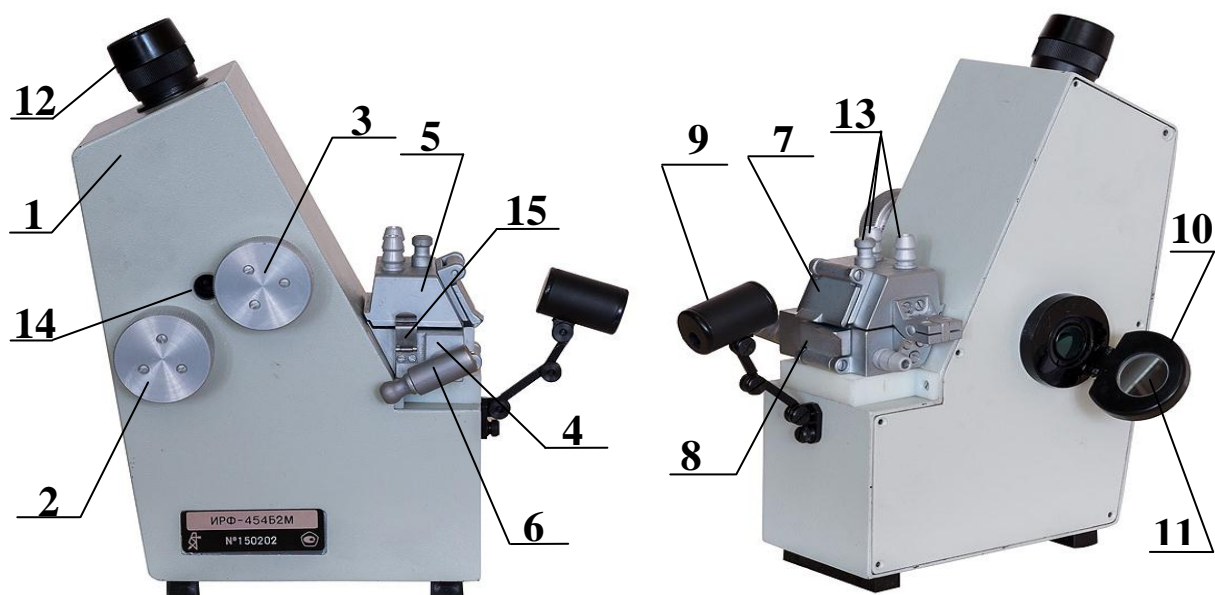


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд рефрактометра ІРФ-454 Б2М:

- 1 – корпус; 2 – маховик; 3 – маховик компенсатора дисперсії; 4 – оправа вимірювальної призми; 5 – оправа освітлювальної призми; 6 – тримач термометра; 7 – заслінка вікна освітлювальної призми; 8 – заслінка вікна вимірювальної призми; 9 – освітлювач; 10 – кришка; 11 – дзеркало; 12 – окуляр; 13 – штуцер; 14 – заслінка; 15 – застібка

З правого боку корпусу (1) розташовані маховик (2) для переміщення зображення світла і тіні та маховик (3) компенсатора дисперсії для усунення забарвлення границі світла і тіні. На корпусі (1) нерухомо закріплена оправа (4) з вимірювальною призмою, рухома оправа (5) з освітлювальною призмою, термометр (6). Навпроти вікон (7, 8)

освітлювальної та вимірювальної призми на корпусі (1) розміщений освітлювач (9). З лівого боку корпусу (1) на кришці (10) закріплено дзеркало (11) для підсвічування шкали. Для підсвічування вимірювальної призми на заслінці вікна (8) розміщено дзеркало. Вимірювальна і освітлювальна призми в оправах утворюють рефрактометричний блок. Для його термостатування рефрактометр підключають до рідинного термостата за допомогою штуцерів (13).

*Вимірювання показника заломлення проводять у такій послідовності.*

1. На початку роботи перевіряють і встановлюють нуль – юстують прилад. Юстування приладу проводять за дистильованою водою (найкраще при 20 °С). Для цього вимірюють показник заломлення дистильованої води і порівнюють його із табличними даними (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Показник заломлення  $n_D$  дистильованої води при температурі  $t$  15–26 °С

$t, ^\circ\text{C}$	$n_D$	$t, ^\circ\text{C}$	$n_D$	$t, ^\circ\text{C}$	$n_D$
15	1,3334	19	1,3331	23	1,3327
16	1,3333	20	1,3330	24	1,3326
17	1,3332	21	1,3329	25	1,3325
18	1,3332	22	1,3328	26	1,3324

2. Для вимірювання показника заломлення дистильованої води відкидають освітлювальну призму, на чисту поверхню вимірювальної призми піпеткою обережно, не торкаючись призми, наносять 2–3 краплини рідини. Опускають освітлювальну призму і притискають її застібкою (15).

Вимірювання проводять при денному світлі або при ввімкненому освітлювачі (9). При цьому вікно (7) освітлювальної призми має бути відкритим, а вікно (8) вимірювальної призми – закритим дзеркалом. Освітлювач встановлюють так, щоб світло падало на вікно освітлювальної призми. Дзеркало (11) встановлюють таким чином, щоб поле зору було повністю освітлене. Наводять окуляр (12) на чітке зображення перехрестя ліній і шкали. Обертанням маховика (3) усувають райдужне забарвлення граничної лінії. При цьому в полі зору трубки одночасно видно граничну лінію (границю світлотіні), перехрестя ліній, поділки шкали і візирний штрих шкали (рис. 4.2). Маховиком (2) наводять границю світлотіні точно на перехрестя і за шкалою показника заломлення відраховують його значення. Індексом для відліку є нерухомий візирний штрих. Цілі, десяті і тисячні частки значення показника заломлення відраховують за шкалою, десятитисячні – оцінюють на око.

3. Якщо вимірний показник заломлення дистильованої води відрізняється від табличного значення, то прилад потрібно підюстувати. Для цього відгвинчують заглушку (14) і юстувальним ключем суміщають з індексом відліку значення шкали, що відповідає табличному значенню показника заломлення дистильованої води при температурі вимірювань.

Лінія світлотіні при цьому має точно проходити через центр перехрестя.

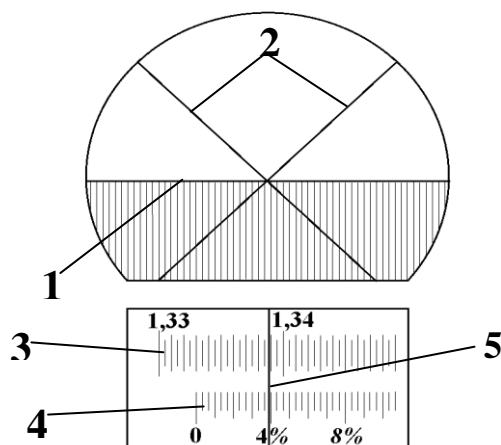


Рисунок 4.2 – Поле зору рефрактометра IPF-454 Б2М: 1 – гранична лінія; 2 – перехрестя ліній; 3 – шкала показника заломлення; 4 – шкала масової частки сахарози; 5 – візирний штрих шкали

4. На чисту суху поверхню вимірювальної призми піпеткою наносять 2–3 краплини досліджуваної прозорої рідини. Показник заломлення вимірюють так, як описано вище (див. пункт 2). Вимірювання повторюють 2–3 рази, кожен раз наносять досліджувану рідину на попередньо очищену суху призму рефрактометра.

Вимірювання показника заломлення забарвлених рідин проводять у відбитому світлі. Для цього закривають заслінку (7) і відкидають заслінку (8) з дзеркалом, за допомогою якого направляють світло у вимірювальну призму. Далі діють так само, як і при вимірюванні показника заломлення прозорих рідин.

Усереднені результати вимірювань заносять до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати вимірювань показника заломлення

Назва сполуки	Температура, °С	Показник заломлення	
		експеримент	довідник

5. Після завершення вимірювань витирають робочі грані освітлювальної і вимірювальної призми фільтрувальним папером або м'якою тканиною. Робочу грань вимірювальної призми витирають дуже обережно, щоб не пошкодити полірування. Потім призми промивають етиловим спиртом, витирають і залишають рефрактометричний блок відкритим на деякий час для висихання.

*Оформлена у лабораторному зошиті робота має містити:*

- 1) назву та мету роботи;
- 2) рисунок (4.1) з описом будови приладу;
- 3) методику проведення вимірювань показника заломлення рідин;

4) розрахунок теоретичного значення показника заломлення за формулою (1.11), якщо вимірювання проводять за температури, що відрізняється від 20 °С;

5) заповнену таблицю 4.2.

#### 4.2 Ідентифікація речовин рефрактометричним методом

*Мета роботи:* ідентифікувати органічні речовини шляхом порівняння експериментального та табличного значення показника заломлення.

*Обладнання та реактиви:* рефрактометр, рідинний термостат, аналітичні ваги, піпетки, пікнометр, фільтрувальний папір, спирт етиловий для очищення призми, дистильована вода, набір рідин (гексан, тетрахлорметан, ксилол, бензиловий спирт, нітробензол, толуол тощо) для дослідження, зашифрованих під різними номерами.

*Роботу виконують в такій послідовності.*

1. Складають установку, зображену на рис. 4.3, під'єднавши рефрактометр до рідинного термостата, задають на термометрі (4) температуру 20 °С та вмикають рідинний термостат.

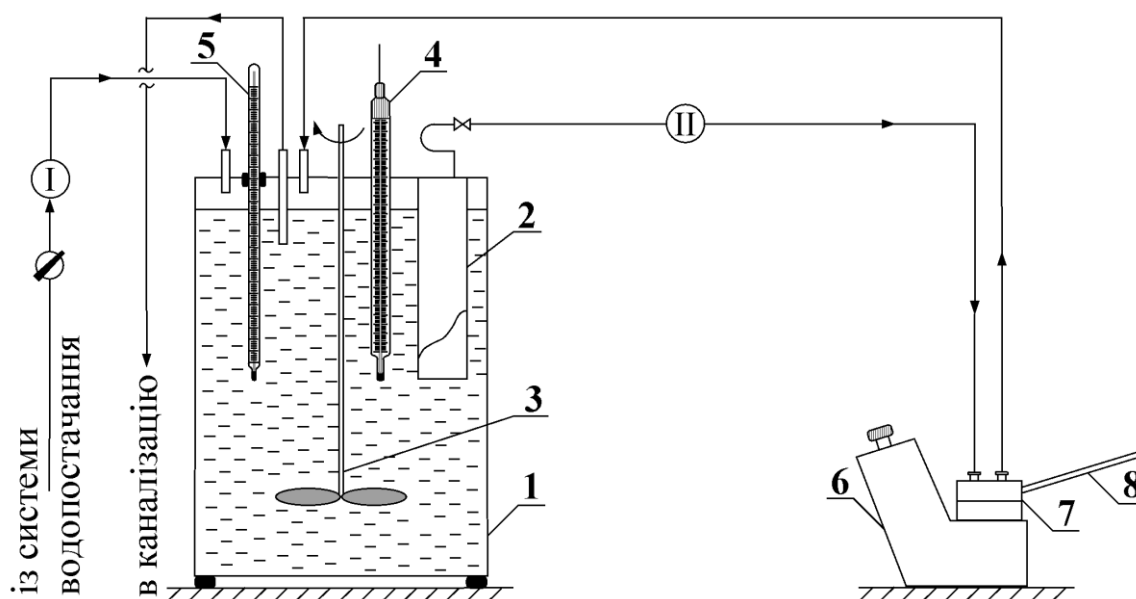


Рисунок 4.3 – Установка для визначення показника заломлення органічних рідин: 1 – рідинний термостат; 2 – електропристрій для примусового прокачування теплоносія (води) по контуру II; 3 – електромеханічний привод для перемішування теплоносія; 4 – ртутний контактний термометр для автоматичного регулювання температури в термостаті; 5 – ртутний термометр для візуального контролю температури; 6 – рефрактометр РФ-454 Б2М; 7 – рефрактометричний блок; 8 – термометр для фіксації температури в рефрактометричному блоці

2. Вимірюють показники заломлення виданих сполук при 20 °С. Методика проведення вимірювань наведена в підрозділі 4.1. Кожну рідину наносять на вимірювальну призму піпеткою, після кожної проби призми очищають етиловим спиртом і витирають фільтрувальним папером. Вимірювання показника заломлення кожної сполуки проводять 2–3 рази та усереднюють результати паралельних вимірювань.

3. Вимірюють густину виданих для ідентифікації рідин. Для цього пікнометр промивають етиловим спиртом і висушують. Далі зважують на аналітичних вагах сухий, чистий порожній пікнометр з пробкою.

Заповнюють пікнометр дистильованою водою на 4–5 мм вище риски, закривають пробкою і витримують 20 хв при 20 °С у рідинному термостаті так, щоб рівень води у пікнометрі був нижчим рівня води в термостаті. Доводять рівень рідини в пікнометрі до риски за допомогою фільтрувального паперу, попередньо звернутого трубкою. Пікнометр виймають з термостата, витирають зовні та зважують на аналітичних вагах.

Виливають з пікнометра воду, висушують, наповнюють досліджуваною рідиною і здійснюють ті ж операції, що і з дистильованою водою. Зважують пікнометр з досліджуваною рідиною на аналітичних вагах.

Густину рідини  $\rho_{20}$ , г/см<sup>3</sup> обчислюють за формулою:

$$\rho_{20} = \frac{(m_2 - m) \cdot 0,99823}{m_1 - m}, \quad (4.1)$$

де  $m$  – маса порожнього пікнометра, г;

$m_1$  – маса пікнометра з дистильованою водою, г;

$m_2$  – маса пікнометра з досліджуваною рідиною, г;

0,99823 – густина води при 20 °С, г/см<sup>3</sup>.

4. Результати вимірювань заносять до табл. 4.3, порівнюють отримані результати з довідковими даними (додаток А) та ідентифікують видані для дослідження речовини.

Таблиця 4.3 – Результати досліджень

Номер сполуки	Показник заломлення		Густина, г/см <sup>3</sup>		Назва сполуки
	експеримент	довідник	експеримент	довідник	

5. Розраховують молярну рефракцію речовини

–  $R_{\text{експ}}$  за формулою (1.7), використовуючи експериментально визначені показник заломлення та густину;

–  $R_{\text{табл}}$  за формулою (1.9), використовуючи табличні значення атомних рефракцій елементів (додаток Б).

Отримані значення заносять до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Молярні рефракції ідентифікованих органічних речовин

Назва сполуки	Молярна рефракція, $cm^3/моль$	
	$R_{експ}$	$R_{табл}$

*Оформлена у лабораторному зошиті робота має містити:*

- 1) назву та мету роботи;
- 2) рисунок (4.3);
- 3) методику проведення вимірювань показника заломлення рідин;
- 4) методику проведення вимірювань густини рідин пікнометричним методом;
- 5) розрахунок густини рідин за формулою (4.1);
- 6) розрахунок молярної рефракції речовин за формулами (1.7) та (1.9);
- 7) заповнені таблиці 4.3 та 4.4.

#### 4.3 Визначення масової частки сахарози у водних розчинах на рефрактометрі ІРФ-454 Б2М

*Мета роботи:* оволодіти методикою вимірювання масової частки сахарози на рефрактометрі ІРФ-454 Б2М, визначити вміст сахарози у контрольних розчинах рефрактометричним методом.

*Обладнання та реактиви:* рефрактометр ІРФ-454 Б2М, піпетки, фільтрувальний папір, спирт етиловий для очищення призми, дистильована вода, контрольні розчини сахарози для досліджень.

Рефрактометр ІРФ-454 Б2М оснащений двома шкалами: шкалою показника заломлення в інтервалі 1,2–1,7 і шкалою масових часток сахарози в інтервалі 0–100%. Це дозволяє, безпосередньо знявши відлік за шкалою приладу, визначити масову частку сахарози у водному розчині.

*Роботу виконують в такій послідовності.*

1. Перевіряють нуль приладу за дистильованою водою (див. пункти 1–3 підрозділу 4.1).
2. На суху чисту вимірювальну призму рефрактометра наносять піпеткою контрольний розчин сахарози та за шкалою приладу визначають масову частку розчиненої речовини в розчині. Вимірювання проводять 2–3 рази та усереднюють результати паралельних вимірювань.

*Оформлена у лабораторному зошиті робота має містити:*

- 1) назву та мету роботи;
- 2) методику проведення вимірювань показника заломлення рідин;
- 3) масову частку сахарози у контрольному розчині, визначену рефрактометричним методом.

#### 4.4 Визначення вмісту розчиненої речовини у водних розчинах рефрактометричним методом

*Мета роботи:* дослідити залежність показника заломлення розчину від його концентрації, визначити вміст розчиненої речовини у контрольному розчині методом градуувального графіка.

*Обладнання та реактиви:* рефрактометр, технічні ваги, піпетки, фільтрувальний папір, етиловий спирт для очищення призми, дистильована вода, гліцерин, ізопропіловий спирт, кристалічні солі  $NaCl$  ( $KCl$ ),  $Na_2CO_3$ .

*Роботу виконують в такій послідовності.*

1. Виготовляють серію стандартних розчинів:

- натрій (калій) хлориду (1 варіант);
- натрій карбонату (2 варіант);
- гліцерину (3 варіант);
- ізопропілового спирту (4 варіант).

Дані для приготування водних розчинів неорганічних та органічних речовин наведено в табл. 4.5 і 4.6, відповідно.

Таблиця 4.5 – Дані для виготовлення стандартних розчинів неорганічних речовин

Номер розчину	1	2	3	4	5	6	7
Маса речовини, $g$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
Об'єм води, $cm^3$	9,8	9,6	9,4	9,2	9,0	8,8	8,5

Таблиця 4.6 – Дані для виготовлення стандартних розчинів органічних речовин

Номер розчину	1	2	3	4	5	6	7
Об'єм речовини, $cm^3$	0,5	1	1,5	2	3	4	5
Об'єм води, $cm^3$	9,5	9	8,5	8	7	6	5

2. Перевіряють нуль рефрактометра за дистильованою водою (див. пункти 1–3 підрозділу 4.1).

3. Вимірюють показники заломлення стандартних та контрольних розчинів. Кожен розчин наносять на вимірювальну призму піпеткою, після кожної проби призми очищають етиловим спиртом і витирають фільтрувальним папером.

4. Для стандартних розчинів обчислюють масову частку розчиненої речовини  $\omega$ , %:

$$\omega = \frac{m_{p.p-ми}}{m_{p.p-ми} + m(H_2O)} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

або

$$\omega = \frac{V_{p.p-ни} \cdot \rho_{p.p-ни}}{V_{p.p-ни} \cdot \rho_{p.p-ни} + m(H_2O)} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

де  $m_{p.p-ни}$  – маса розчиненої речовини, г;

$m(H_2O)$  – маса води, г;

$V_{p.p-ни}$  – об'єм органічної речовини,  $см^3$ ;

$\rho_{p.p-ни}$  – густина органічної речовини,  $г/см^3$ .

Отримані дані заносять до табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Дані для побудови градууювального графіка

Номер розчину	1	2	3	4	5	6	7
$\omega, \%$							
$n_D$							

Будують градууювальний графік в координатах «показник заломлення розчину – масова частка розчиненої речовини» (див. рис. 2.1).

5. За градууювальним графіком визначають масову частку розчиненої речовини у контрольному розчині. Отримані результати заносять до табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Експериментальні дані

$n_D$	$\omega, \%$

*Оформлена у лабораторному зошиті робота має містити:*

- 1) назву та мету роботи;
- 2) методику проведення вимірювань показника заломлення рідин;
- 3) дані для виготовлення стандартних розчинів (табл. 4.5 або 4.6);
- 4) розрахунок масової частки розчиненої речовини у стандартних розчинах за формулами (4.2) або (4.3);
- 5) заповнену таблицю 4.7;
- 6) градууювальний графік;
- 7) заповнену таблицю 4.8.

#### 4.5 Екстракційно-рефрактометричне визначення нафтопродуктів у воді

*Мета роботи:* оволодіти методикою визначення нафтопродуктів екстракційно-рефрактометричним методом, визначити вміст нафтопродуктів у зразках поверхневих вод.

*Обладнання та реактиви:* рефрактометр, аналітичні ваги, струшувач, піпетки, пробірки об'ємом 25–50  $см^3$  з пробками, хімічний стакан об'ємом 50 мл, фільтрувальний папір, етиловий спирт для очищення призм, дистильована вода, гексан, олива для приготування стандартних розчинів.

Екстракційно-рефрактометричний метод визначення нафтопродуктів в природних водах ґрунтується на їх екстракції гексаном і вимірюванні показника заломлення екстракту.

*Роботу виконують в такій послідовності.*

1. На аналітичних вагах визначають масу однієї краплі оливи. Вимірювання проводять 3–5 разів та усереднюють отримані дані.

2. В п'ять пробірок вносять по  $25 \text{ см}^3$  дистильованої води та додають 5, 10, 20, 30, 40 крапель оливи. Пробірки закривають пробками та збовтують протягом 10 хв.

3. В кожну пробірку вносять по  $5 \text{ см}^3$  гексану, закривають пробками і збовтують протягом 5 хв. Залишають пробірки, закриті пробками, на 30 хв у стані спокою для повного розшарування фаз.

4. У пробірку вносять  $25 \text{ см}^3$  досліджуваної води, додають  $5 \text{ см}^3$  гексану, закривають пробірку пробкою, збовтують протягом 5 хв та залишають в стані спокою на 30 хв.

5. Перевіряють нуль рефрактометра за дистильованою водою (див. пункти 1–3 підрозділу 4.1).

6. Вимірюють показник заломлення екстракту, що міститься в пробірках зі стандартними розчинами та з досліджуваною водою. Для цього піпеткою з пробірки відбирають невеликий об'єм верхнього органічного шару, наносять 2–3 краплі його на суху чисту вимірювальну призму та за шкалою приладу визначають показник заломлення.

Отримані експериментальні дані для стандартних розчинів заносять до табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Дані для побудови градуовального графіка

Номер розчину	1	2	3	4	5
Кількість крапель оливи	5	10	20	30	40
Маса нафтопродуктів, мг					
Показник заломлення $n_D$					

Будують градуовальний графік у координатах «показник заломлення – маса нафтопродуктів, мг».

6. За градуовальним графіком визначають масу нафтопродуктів у досліджуваній воді та обчислюють їх концентрацію  $C$ ,  $\text{мг/дм}^3$ :

$$C = \frac{m \cdot 1000}{V}, \quad (4.4)$$

де  $m$  – маса нафтопродуктів, визначена за градуовальним графіком, мг;  
 $V$  – об'єм досліджуваної води,  $\text{см}^3$ .

*Оформлена у лабораторному зошиті робота має містити:*

- 1) назву та мету роботи;
- 2) методику проведення вимірювань показника заломлення рідин;
- 3) заповнену таблицю 4.9;
- 4) градувальний графік;
- 5) розрахунок вмісту нафтопродуктів у досліджуваній воді за формулою (4.4).

## 5 КОНТРОЛЬНІ ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. *Рефрактометричний метод аналізу ґрунтується на ...*
  - 1) взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням;
  - 2) процесах, що протікають на занурених у досліджуваний розчин електродах;
  - 3) взаємодії визначуваної речовини з реагентом-осаджувачем;
  - 4) використанні сорбції в динамічних умовах.
2. *Рефракція – це ...*
  - 1) поглинання світла молекулами у розчині;
  - 2) розподіл компонента між двома рідкими фазами, що не змішуються одна з одною;
  - 3) заломлення світла на границі розділення двох середовищ;
  - 4) випромінювання світла збудженими атомами.
3. *Аналітичним сигналом в рефрактометрії є ...*
  - 1) оптична густина;
  - 2) показник заломлення;
  - 3) електродний потенціал;
  - 4) інтенсивність випромінювання.
4. *Який фізичний зміст показника заломлення?*
  - 1) це зменшення інтенсивності світла при проходженні через забарвлений розчин;
  - 2) це зменшення інтенсивності випромінювання при зменшенні концентрації речовини;
  - 3) це відношення швидкостей поширення світла в двох різних середовищах;
  - 4) це здатність речовини обертати площину поляризації поляризованого світла.
5. *Зміна якого чинника приведе до зростання величини показника заломлення?*
  - 1) збільшення густини речовини;
  - 2) підвищення температури;
  - 3) збільшення довжини хвилі світла;
  - 4) зменшення частоти світлових променів.
6. *Як впливає розбавлення розчину на величину показника заломлення?*
  - 1) показника заломлення зростає;
  - 2) показник заломлення розчину не залежить від його концентрації;
  - 3) показника заломлення зменшується;
  - 4) показника заломлення спочатку зростає, потім залишається сталим.

7. *Яка характеристика речовини не залежить від температури?*
- 1) густина;
  - 2) агрегатний стан;
  - 3) показник заломлення;
  - 4) рефракція.
8. *Які властивості речовини потрібно визначити, щоб розрахувати питому рефракцію?*
- 1) температуру кипіння та температуру замерзання;
  - 2) лише показник заломлення;
  - 3) показник заломлення і густину;
  - 4) молярну масу і розчинність у воді.
9. *Що покладено в основу кількісного рефрактометричного аналізу?*
- 1) залежність показника заломлення від довжини хвилі світла;
  - 2) залежність показника заломлення від концентрації розчину;
  - 3) залежність показника заломлення від температури;
  - 4) залежність показника заломлення від природи речовини.
10. *Як ідентифікують невідому органічну речовину за результатами рефрактометричних вимірювань?*
- 1) розраховують кількість речовини;
  - 2) будують градувальний графік в координатах «показник заломлення – концентрація речовини»;
  - 3) порівнюють експериментально визначений показник заломлення з табличними значеннями;
  - 4) визначають фактор показника заломлення  $F$ .
11. *Для визначення концентрації етанолу у водно-спиртових розчинах приготували серію стандартних розчинів з відомим та різним вмістом етанолу і виміряли показник заломлення стандартних та досліджуваного розчинів. Який метод використали при цьому?*
- 1) метод градувального графіка;
  - 2) метод серії добавок;
  - 3) метод двох стандартів;
  - 4) метод окремих наважок.
12. *Нафтопродукти екстрагували із стічної води гексаном та виміряли показник заломлення отриманого розчину. Який метод аналізу використали при цьому?*
- 1) фотометрію;
  - 2) рефрактометрію;
  - 3) вольтамперометрію;
  - 4) атомно-абсорбційну спектроскопію.

13. З якою метою обчислюють молярну рефракцію речовини за результатами вимірювання її показника заломлення?
- 1) для визначення масової частки речовини у розчині;
  - 2) для ідентифікації речовини;
  - 3) для оцінення ступеня чистоти речовини;
  - 4) для визначення густини речовини.
14. Який прилад використовують для вимірювання показника заломлення?
- 1) фотоелектрокалориметр;
  - 2) рефрактометр;
  - 3) іономір;
  - 4) флуорометр.
15. Як співвідносяться кут падіння  $\alpha$  і кут заломлення  $\beta$  при переході світла з середовища з меншим показником заломлення в середовище з більшим показником заломлення?
- 1)  $\alpha > \beta$ ;
  - 2)  $\alpha < \beta$ ;
  - 3)  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ;
  - 4)  $\alpha = \beta$ .
16. Яке явище покладено в основу роботи рефрактометра Аббе?
- 1) поглинання світла молекулами у розчині;
  - 2) повне внутрішнє відбиття при проходженні світла через границю двох середовищ з різною оптичною щільністю;
  - 3) обертання площини поляризації поляризованого світла;
  - 4) світіння атомів і молекул при їх збудженні різними видами енергії.
17. Яка складова частина є основною в рефрактометрі?
- 1) зорова трубка;
  - 2) лінза окуляра;
  - 3) освітлювальна та вимірювальна призми;
  - 4) призма Амічі.
18. Вкажіть особливість рефрактометра Аббе.
- 1) використання для вимірювання поліхроматичного світла;
  - 2) використання для вимірювання монохроматичного світла;
  - 3) можливість одночасного визначення показника заломлення та температури кипіння рідини;
  - 4) відсутність зовнішнього джерела світла.

## ЛІТЕРАТУРА

### ОСНОВНА:

1. Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу : навчальний посібник /Т. А. Пальчевська, А. П. Строкань, Г. В. Тарасенко та ін. – К. : КНУТД, 2013. – 237 с.

2. Скоробагатий Я. П. Хімія і методи дослідження сировини і матеріалів / Я. П. Скоробагатий, В. Ф. Федорко. – Львів : Компакт-ЛВ, 2007. – 248 с.

### ДОДАТКОВА:

3. Мураєва О. О. Конспект лекцій з дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу води» (для студентів 2 – 3 курсів денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) / Мураєва О. О. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 64 с.

4. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы химии / Иоффе Б. В. – Л. : Химия, 1983. – 352 с.

5. Соколовский А. Е. Физико-химические методы анализа: Тексты лекций по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей заочной формы обучения / А. Е. Соколовский, Е. В. Радион. – Минск : БГТУ, 2007. – 128 с.

6. Краткий справочник физико-химических величин / [под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой]. – Л. : Химия, 1983. – 231 с.

## Додаток А

### Фізичні властивості органічних речовин

Умовні позначення:

$\rho_{20}$  – густина речовин при 20 °С, г/см<sup>3</sup>;

$n_D^{20}$  – показник заломлення при температурі 20 °С;

$T_{кип}$  – температура кипіння при 760 мм рт. ст., °С;

н – нерозчинна речовина;

∞ – змішується у будь-яких співвідношеннях;

розчинність речовин наведена в грамах на 100 г води при 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках

Таблиця А.1 – Фізичні властивості органічних речовин

Но- мер	Назва	Формула	$\rho_{20}$ , г/см <sup>3</sup>	$T_{кип}$ , °С	$n_D^{20}$	Розчинність у воді
1	<i>n</i> -Аміловий спирт	$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$	0,8144	137,8	1,4101	2,7
2	<i>i</i> -Аміловий спирт	$(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$	0,812	132	1,4058	2,6
3	Анілін	$C_6H_5NH_2$	1,022	184,4	1,5855	3,4
4	Ацетон	$(CH_3)_2CO$	0,7902	56	1,3589	∞
5	Бензиламін	$C_6H_5CH_2NH_2$	0,9826	185	1,5401	∞
6	Бензиловий спирт	$C_6H_5CH_2OH$	1,045	205	1,5403	4
7	Бензол	$C_6H_6$	0,879	80,2	1,5011	0,08
8	<i>n</i> -Бутиловий спирт	$CH_3(CH_2)_3OH$	0,8105	117,4	1,3993	7,6
9	<i>i</i> -Бутиловий спирт	$(CH_3)_2CHCH_2OH$	0,803	108	1,3958	9,5
10	<i>n</i> -Гексан	$C_6H_{14}$	0,660	68,7	1,3751	0,014
11	<i>n</i> -Гептан	$C_7H_{16}$	0,684	98,4	1,3878	0,0052
12	Гліцерин	$C_3H_5(OH)_3$	1,261	290	1,4740	∞
13	<i>n</i> -Декан	$C_{10}H_{22}$	0,730	174	1,4120	н
14	Діетиловий етер	$(C_2H_5)_2O$	0,7135	34,5	1,3527	7,5
15	Діоксан (1,4)	$\begin{array}{c} CH_2CH_2OCH_2CH_2 \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}}_O \end{array}$	1,034	101,4	1,4224	∞
16	Дихлоретан	$CH_2Cl-CH_2Cl$	1,253	83,5	1,4443	0,87
17	Дихлоретилен	$CHCl=CHCl$	1,291	60	1,452	н
18	Дихлорметан	$CH_2Cl_2$	1,326	40	1,4246	1,3 (25 °С)
19	Етилацетат	$CH_3CO_2C_2H_5$	0,9006	77,15	1,3724	8,6

Продовження таблиці А.1

Но- мер	Назва	Формула	$\rho_{20},$ г/см <sup>3</sup>	$T_{кип},$ °C	$n_D^{20}$	Розчинність у воді
20	Етилбензол	$C_6H_5CH_2CH_3$	0,8669	136,2	1,4959	0,21 (25 °C)
21	Етиленгліколь	$CH_2OHCH_2OH$	1,114	197,2	1,4318	∞
22	Етиловий спирт	$C_2H_5OH$	0,789	78,3	1,3614	∞
23	<i>m</i> -Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,8642	139,1	1,4972	н
24	<i>n</i> -Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,8611	138,35	1,4958	н
25	Метиловий спирт	$CH_3OH$	0,791	64,7	1,3286	∞
26	Метилетилкетон	$CH_3COC_2H_5$	0,805	79,6	1,3814	35,3 (10 °C)
27	Мурашина кислота	$HCOOH$	1,220	100,7	1,3714	∞
28	Нітробензол	$C_6H_5NO_2$	1,203	210,9	1,5526	0,19
29	<i>n</i> -Нонан	$C_9H_{20}$	0,718	150,7	1,4055	н
30	<i>n</i> -Октан	$C_8H_{18}$	0,703	125,6	1,3977	0,0015
30	Оцтова кислота	$CH_3COOH$	1,049	118,1	1,3718	∞
31	<i>n</i> -Пентан	$C_5H_{12}$	0,626	36	1,3577	0,036
32	Піридин	$C_5H_5N$	0,982	115,4	1,5092	∞
33	<i>n</i> -Пропіловий спирт	$CH_3(CH_2)_2OH$	0,804	97,2	1,3850	∞
34	<i>i</i> -Пропіловий спирт	$(CH_3)_2CHOH$	0,785	82,4	1,3776	∞
35	Пропіонова кислота	$CH_3CH_2COOH$	0,9934	141,4	1,3865	∞
36	Сірковуглець	$CS_2$	1,263	46,3	1,6276	0,22
37	Толуол	$C_6H_5CH_3$	0,866	110	1,4969	0,05
38	Тетрахлорметан	$CCl_4$	1,595	76,7	1,4631	0,08
39	Тетрахлоретан	$CHCl_2-CHCl_2$	1,600	146,3	1,4942	н
40	Тетрахлоретилен	$Cl_2C=CCl_2$	1,619	121,2	1,5055	0,015 (25 °C)
41	Трихлоретилен	$CHCl=CCl_2$	1,465	87	1,4777	0,1
42	Хлороформ	$CHCl_3$	1,489	61,2	1,4455	1,0
43	Хлорбензол	$C_6H_5Cl$	1,107	132	1,5248	0,049 (30 °C)
44	Циклогексан	$CH_2(CH_2)_4CH_2$	0,779	81	1,4290	н
45	Циклогексанон	$\underline{CO(CH_2)_4CH_2}$	0,9478	156	1,4510	2,4 (31 °C)

Додаток Б

**Атомні рефракції елементів**

Таблиця Б.1 – Атомні рефракції елементів

Атом	Символ	$R, \text{см}^3/\text{моль}$
Карбон	<i>C</i>	2,418
Гідроген	<i>H</i>	1,100
Оксиген в – гідроксогрупі – етері – карбонільній групі	<i>O</i>	1,525 1,643 2,211
Хлор	<i>Cl</i>	5,967
Бром	<i>Br</i>	8,865
Іод	<i>I</i>	13,900
Нітроген в – первинному аліфатичному аміні – вторинному аліфатичному аміні – третинному аліфатичному аміні – первинному ароматичному аміні – нітрогрупі алкілнітрату – нітрогрупі нітроарилу	<i>N</i>	2,322 2,502 2,840 3,213 7,59 7,3

*Навчальне видання*

Рефрактометричний аналіз.  
Методичні вказівки до виконання  
лабораторних робіт

Укладачі: Анатолій Петрович Ранський  
Ольга Анатоліївна Гордієнко  
Тарас Сергійович Тітов

Рукопис оформлено Т. Тітовим

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет виготовлено О. Ткачуком

Підписано до друку 16.04.2018 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 1,8.  
Наклад 40 (1-й запуск 1–20) пр. Зам. № 2018-071.

Видавець та виготовлювач  
інформаційний редакційно-видавничий центр.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua;**  
*E-mail:* kivc.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.