

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Мала академія наук України
Луганська обласна мала академія наук учнівської молоді
Очна-заочна школа

Відділення: Фізики та астрономії

Секція: Експериментальна фізика

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА РІДКИХ
ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ РЕЧОВИН**

Роботу виконав

Севастьянов Дмитро Олександрович
учень 11 класу Луганської середньої
загальноосвітньої школи № 18

Науковий керівник

Старший викладач Луганської державної
академії культури і мистецтв, магістр з
електронних приладів, член українського
фізичного товариства

/Воронкін Олексій Сергійович/

Вчитель фізики

Луганської середньої загальноосвітньої
школи № 18

/Гуріна Серафіма Наумівна/

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА РІДКИХ ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ РЕЧОВИН

Севастьянов Дмитро Олександрович
Луганська обласна мала академія наук учнівської молоді,
Середня загальноосвітня школа № 18, м. Луганськ, 11 клас
Науковий керівник: Воронкін О. С., ст. викладач
Луганської державної академії культури і мистецтв,
магістр, член українського фізичного товариства

Фізика потребує продуктивного засвоєння матеріалу. Найкраще вивчати фізику експериментально – під час проведення лабораторних робіт. В умовах українських шкіл досить часто це складно, тому що матеріально-технічна база не завжди може задовольнити ці потреби.

Показник заломлення являється важливою характеристикою рідини, який визначається її хімічною структурою, концентрацією в ній тих чи інших домішок, густиною досліджуваного розчину, а також залежить від температури й тиску. Як правило, вимірювання показника заломлення здійснюється за допомогою спеціального приладу – рефрактометра, але цей прилад дорогий, та потребує ретельного користування.

У роботі висвітлено метод визначення показника заломлення рідких оптично-прозорих речовин із використанням плоско-паралельної кювети та джерела монохроматичного світла. Розроблено математичну й фізичну моделі експериментального зразка. Отримані результати тестових експериментальних вимірювань добре корелюються з результатами розробленої математичної моделі.

Використання представленого методу рефрактометрії дозволить якісно підвищити наочність спостереження заломлення світла, а також стане у нагоді під час проведення лабораторних занять.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розробка повністю готова до використання в навчальному процесі середніх навчальних закладів і фізичних секцій Малої академії наук України.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I. Постановка задачі та вибір напрямку досліджень.....	6
1.1. Загальні відомості. Закони відбивання та заломлення.....	6
1.2. Явище повного внутрішнього відбиття.....	8
1.3. Вимірювання показника заломлення світла оптично-прозорих рідин за допомогою рефрактометра Аббе.....	9
1.4. Вимірювання показника заломлення світла скла.....	10
РОЗДІЛ II. Розрахунок оптимальних параметрів установки для дослідження показника заломлення світла рідких оптично-прозорих речовин.....	12
2.1. Поширення світла через прозору плоско-паралельну кювету із досліджуваною оптично-прозорою речовиною.....	12
2.2. Розрахунок геометрії запропонованої установки.....	13
2.3. Установка для дослідження показника заломлення світла рідких оптично-прозорих речовин.....	16
2.4. Дослідження показника заломлення світла деяких рідких оптично-прозорих речовин.....	18
ВИСНОВКИ.....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	20
ДОДАТКИ.....	22

ВСТУП

Актуальність теми. Рефрактометрію застосовують у багатьох сферах науки і техніки (медицина, промисловість, польова експертиза (визначення чистоти речовини), фізичних дослідженнях. Так, у фармацевтичному аналізі значення показника заломлення можна використовувати для ідентифікації лікарських препаратів (кислоти нікотинової, токоферолу ацетату, а також жирних і ефірних масел – персикового, касторового, евкаліптового та ін.) [1], у медицині – для визначення концентрації білка або його фракцій в сироватці крові, а також для аналізу шлункового соку, сечі і інших біологічних рідин. У харчовій промисловості – для встановлення концентрації вуглеводів у різних продуктах, масової частки сухих речовин, для кількісного визначення жирів у харчових продуктах, а також для пофазного контролю в процесі виробництва харчових продуктів – кондитерських, напоїв, деяких видів консервів і т.д. Для визначення температури кристалізації автомобільних охолодних рідин (антифризи) також можна вимірювати показник заломлення для наступного перерахунку в концентрацію етиленгликолю в розчині й відповідно в температуру замерзання. Таким чином, визначення показника заломлення має велике практичне значення як спосіб швидкого та точного фізико-хімічного аналізу речовини. Рефрактометрію також використовують під час проведення шкільних лабораторних робіт.

Метою роботи є розробка методу та створення експериментального зразка установки для визначення показника заломлення світла оптично-прозорих речовин.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі: 1) аналіз питання, 2) розробка математичної моделі та розрахунок оптимальної геометрії оптично прозорої плоско-паралельної кювети, 3) проведення експериментів і перевірка адекватності розробленої моделі (порівняння результатів, отриманих на реальному устаткуванні із аналогічними результатами, отриманими при математичному моделюванні в MathCad), 4) експериментальне дослідження показників заломлення різних рідких оптично-прозорих речовин.

Наукова новизна роботи. Розроблена експериментальна установка для визначення показника заломлення оптично-прозорих рідин (у порівнянні із використанням лабораторних рефрактометрів) дозволила якісно підвищити наочність методу рефрактометрії.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає в тому, що розробка повністю готова до впровадження в навчальний процес як в середніх навчальних закладах, так і в закладах Малої академії наук України. Крім того, оскільки матеріальна база фізичних кабінетів не завжди може забезпечувати виконання всіх лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму, використання запропонованої установки дозволить підвищити якість навчання за рахунок підвищення інтересу у учнів до фізики при проведенні даної роботи.

Особистий внесок автора роботи. При дослідженні даної теми автором було розроблено й запропоновано метод визначення показника заломлення рідин за допомогою лазера, оптично прозорої ємкості та лінійки (міліметровки).

Апробація роботи. Результати дослідження були викладені й обговорені на засіданні секції «Експериментальна фізика» Луганської обласної малої академії наук учнівської молоді України.

РОЗДІЛ I

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Загальні відомості. Закони відбивання та заломлення

На рис. 1.1 падаючий промінь світла на межу двох прозорих середовищ, частково відбивається від поверхні розділу і частково проходить в інше середовище, змінюючи при цьому свій напрям [2].

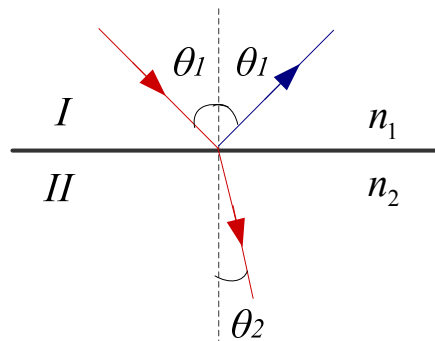


Рис. 1.1. Відбивання та заломлення променя світла на межі розділу середовищ

Усі видимі тіла відбивають світло. Під час відбивання виконуються два закони відбивання світла:

1) промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, поставлений з точки падіння променя, лежать в одній площині.

2) кут відбиття дорівнює куту падіння.

Явище заломлення світла – це явище при якому змінюється напрям світлового променя на межі при переході його в друге середовище [3].

Закони заломлення формулюються так:

1) при заломленні світла промінь, який падає на границю поділу, відбитий промінь і промінь, який пройшов у інше середовище, лежать у одній площині.

2) відношення синуса кута падіння і синуса кута заломлення є сталою величиною для розділюваних двох середовищ (закон Снеліуса):

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (1.1)$$

де θ_1 – кут падіння, θ_2 – кут заломлення, n_1 та n_2 – абсолютні показники заломлення двох середовищ, n_{21} – відносний показник заломлення світла у другому середовищі відносно першого.

Якщо першим середовищем є вакуум, то показник заломлення називають абсолютним. Абсолютний показник заломлення вакууму дорівнює 1. Абсолютні показники заломлення визначені для середовищ, зведені в відповідні довідкові таблиці [4].

Якщо показник заломлення другого середовища більший за показник заломлення того середовища, звідки світло падає, то кут заломлення менший за кут падіння. Якщо показник заломлення другого середовища менший за показник заломлення того середовища, звідки світло падає, то кут заломлення більший за кут падіння.

Електромагнітна теорія встановила зв'язок між показником заломлення та швидкістю поширення світла в середовищі:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1.2)$$

де v_1 – швидкість світла в першому середовищі, v_2 – швидкість світла в другому середовищі.

Світло в прозорих речовинах залежно від їхніх електричних властивостей поширюється з різною швидкістю. Тому на межі поділу таких середовищ напрям поширення світла змінюється (воно заломлюється). З виразу (2) витікає, що абсолютний показник заломлення дорівнює відношенню швидкості світла в вакуумі ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) до швидкості світла в речовині (середовищі) v , тобто показує, у скільки разів швидкість світла у вакуумі перевершує швидкість поширення світла в середовищі.

Закон Снеліуса справедливий у випадку плоскої границі, на якій не відбувається дифузне розсіяння світла.

Для речовин у різних агрегатних станах показники заломлення мають різні значення. Для газоподібних речовин значення показників заломлення близькі до 1. У геометричній оптиці показник заломлення повітря приймають рівним одиниці,

хоча його точне значення $n = 1,000274$ (при нормальному тиску й температурі 20°C). Величини показників заломлення для рідин змінюються в інтервалі від 1,2 до 1,9. Тверді тіла мають найбільші значення показників заломлення (від 1,3 до 4,0). Таким чином, показник заломлення рідини, виміряний відносно повітря, практично дорівнюватиме абсолютному показникові заломлення цієї рідини.

1.2. Явище повного внутрішнього відбиття

При падінні світла із оптично густішого середовища може виникнути ситуація, коли [5]:

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\theta_1 > 1. \quad (1.3)$$

В такому випадку не існує такого кута θ_2 , для якого закон Снеліуса виконувався б, тож світло не проникає в середовище з меншою оптичною щільністю. Це явище має назву повного внутрішнього відбиття.

Повне внутрішнє відбиття спостерігається для великих кутів падіння, які перевищують критичний кут. При менших кутах падіння світло частково проникає в інше середовище, частково відбивається на границі розділу. Рис. 1.2 ілюструє це явище. На явищі повного внутрішнього відбиття (при проходженні світлом межі поділу двох середовищ з різними показниками заломлення) реалізовано принцип дії рефрактометрів (прилади для вимірювання показника заломлення).

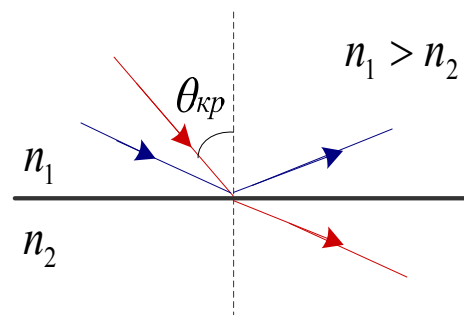


Рис. 1.2. Повне внутрішнє відбиття (синій промінь): при перевищенні кута падіння променя у першому середовищі появиться відбитий промінь, а заломленого променя вже не буде

Показник заломлення не залежить від кута падіння променя, але залежить від його кольору. Явище залежності показника заломлення від довжини світлової хвилі називають дисперсією світла. Таким чином показник заломлення є константою для даного середовища тільки при певній довжині хвилі світла. З'являється деяка невизначеність при вимірі критичного кута, тому що для різних довжин хвиль він буде мати різні значення.

1.3. Вимірювання показника заломлення світла оптично-прозорих рідин за допомогою рефрактометра Аббе

Для вимірювання показника заломлення світла рідин дуже часто використовують інтерферометри [6], а також рефрактометри Ернста Аббе, наприклад типів “ИРФ-22”, “ИРФ-23”, “ИРФ-454” [7, 8].

Основною частиною рефрактометра є прямокутні призми P_1 і P_2 (рис. 1.3) [9]. Вони виготовлені зі скла з великим показником заломлення. У розрізі мають вигляд прямокутних трикутників, звернених один до одного гіпотенузами. Між ними є зазор для нанесення досліджуваної рідини. Світло від джерела S проходить у призму P_1 через грань fb попадає в рідину через матову грань ab .

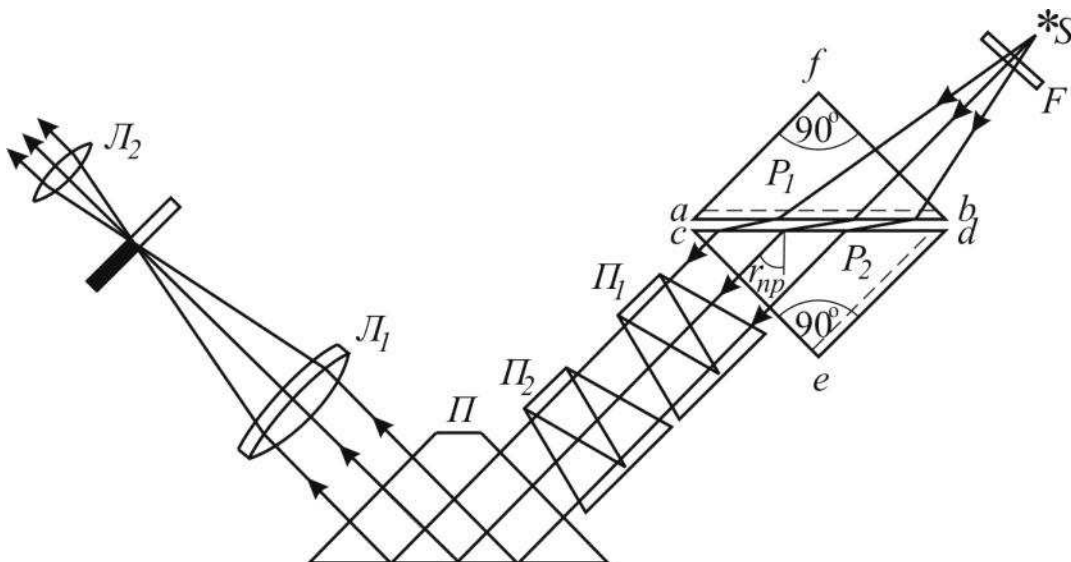


Рис. 1.3. Оптична схема рефрактометра Аббе

Світло, яке розсіяне матовою поверхнею, проходить шар рідини й під усілякими кутами падає на грань cd призми P_2 . Заломлені промені з кутами більше

r_{np} не виникають. У зв'язку із цим кут виходу променів із грані se може змінюватися лише в невеликому інтервалі. Якщо ці промені пропустити через лінзу L_1 , то в її фокальній площині спостерігається різка границя світла й темряви, що розглядається за допомогою лінзи L_2 .

Лінзи L_1 і L_2 утворюють зорову трубу, яка встановлена на нескінченність. У їх загальній фокальній площині перебуває зображення шкали величин показника заломлення й покажчика (нитка й перехрестя). Обертаючи систему призм, змінюючи тим самим нахил граничного пучка променів щодо осі зорової труби, можна зробити так, щоб границя світла й тіні виявилася в полі зору окуляра L_2 і збіглася з положенням покажчика. Шкала показників заломлення жорстко пов'язана із системою призм P_1 і P_2 і повертається разом з ними. Значення показника заломлення рідини відліковується за шкалою на рівні різкої границі світла й тіні.

До переваг рефрактометра Аббе слід віднести високу точність вимірювання.

До недоліків: 1) складна та крихка оптична система, яку дуже важко виготовити самостійно, 2) після кожного розчину необхідно ретельно протирати поверхні призм серветкою, змоченою в дистильованій воді, а наприкінці роботи – сухою.

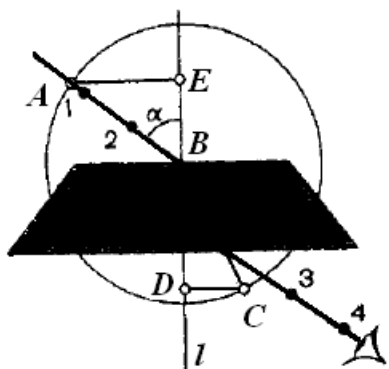
1.4. Вимірювання показника заломлення світла скла

Під час лабораторних робіт у загальноосвітніх закладах часто визначають показник заломлення скла [10, 11]. Для цього застосовують різні способи.

Один із них – визначення показника заломлення скла (плоско паралельна пластинка) за допомогою мікроскопа. Суть ідеї полягає у тому, що вимірявши геометричну товщину плоско паралельної пластинки та її уявну товщину, можна знайти показник заломлення.

Інший здійснюється на прикладі скляної пластини, що має форму трапеції, при цьому використовують металевий екран з щілиною, електричну лампочку, джерело струму, лист паперу, олівець і циркуль. За допомогою лінійки й олівця креслять вхідний, вихідний та заломлений промені. У точці B проводять перпендикуляр (l) до границі розділу, відзначають кути падіння й заломлення. Циркулем довільного

радіуса проводять окружність у точці B (рис. 1.4). Падаючий промінь й окружність перетинаються в точці A , а заломлений й окружність – у точці C . Із точок A й C опускають перпендикуляр на пряму l . Вимірявши довжину відрізків AE й DC та користуючись розрахунковою формулою $n = \frac{AE}{CD}$, обчислюють показник заломлення скла n .



$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta};$$

$$\sin \alpha = \frac{AE}{AB}; \quad \sin \beta = \frac{CD}{BC};$$

$$AB = BC;$$

$$n = \frac{AE}{AB} \cdot \frac{BC}{CD} = \frac{AE}{CD}$$

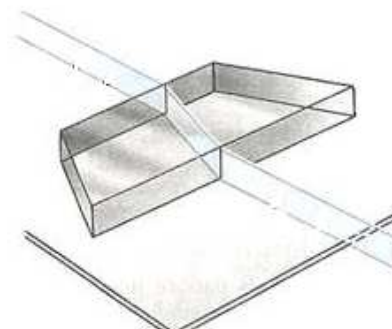


Рис. 1.4. Визначення показника заломлення скляної пластини, що має форму трапеції

РОЗДІЛ II

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА РІДКИХ ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ РЕЧОВИН

2.1. Поширення світла через прозору плоско-паралельну кювету із досліджуваною оптично-прозорою речовиною

На рис. 2.1 монохроматичне світло від джерела проходить через прозору плоско-паралельну кювету шириною h , що знаходиться в повітрі. Промінь падає на першу поверхню кювети під деяким кутом α_1 (див. рис. 2.2). У точці падіння промінь заломлюється й далі поширюється в досліджуваній речовині під кутом α_2 . На другій грані кювети промінь знову заломлюється й виходить у повітря в напрямку паралельному первісному (штрихова лінія). В результаті промінь після проходження через плоско-паралельну кювету виходить під тим самим кутом, під яким він падає на неї. При цьому досліджувана рідина зміщує лазерний промінь паралельно йому самому на деяку відстань. Величина зміщення точки (ΔS) на екрані залежить від кута α_1 , ширини кювети h і показника заломлення n_2 .

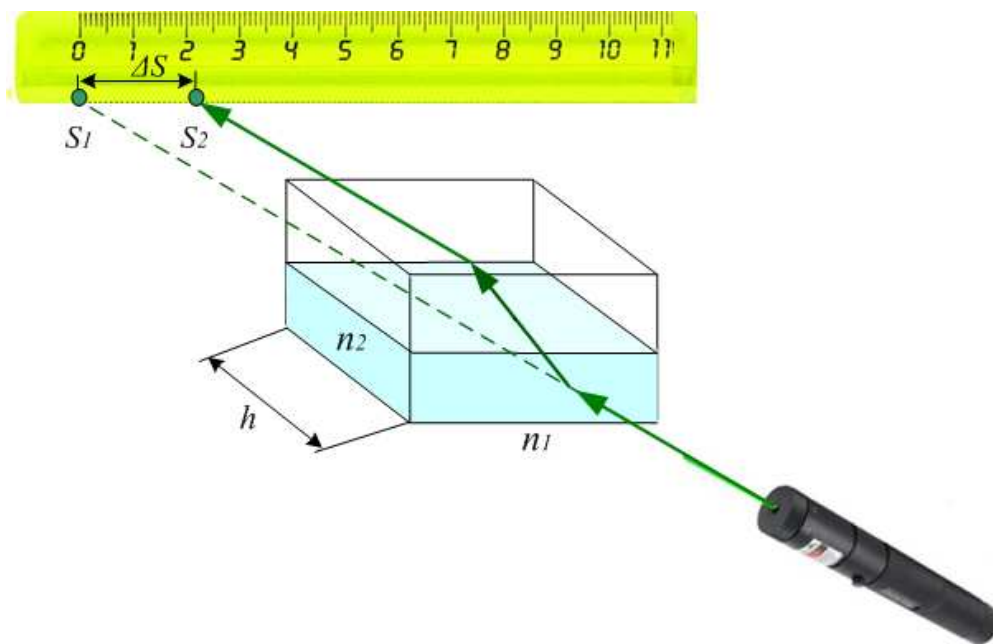


Рис. 2.1. Поширення монохроматичного світла через дві межі розділу середовищ

2.2. Розрахунок геометрії запропонованої установки

Знайдемо функцію зміщення променя лазера після проходження через плоско-паралельну кювету як функцію кута падіння, показника заломлення досліджуваної речовини та ширини кювети $\Delta S = f(\alpha_1, n_2, h)|_{n_1=1}$ (рис. 2.2).

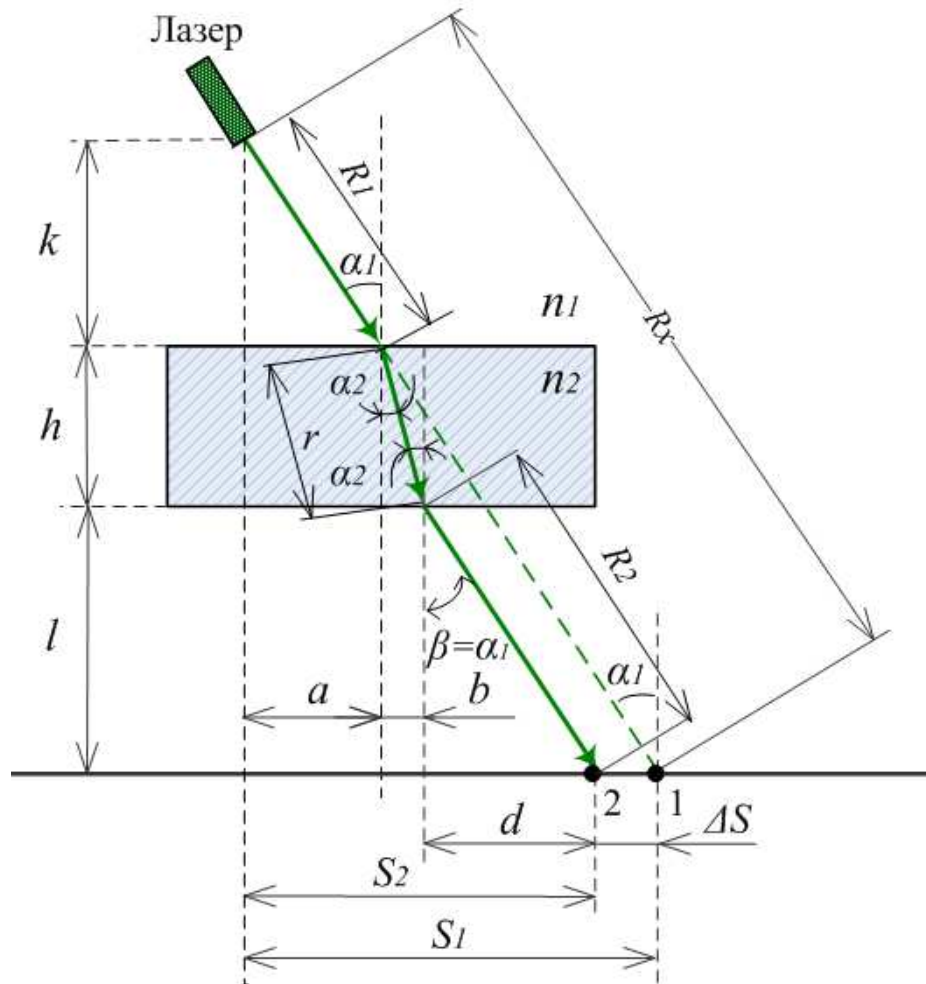


Рис. 2.2. Геометрія установки для визначення показника заломлення світла рідких оптично-прозорих речовин (вид зверху)

При розрахунках будемо використовувати закон Снеліуса й основні тригонометричні тотожності, знехтуємо товщиною скляних стінок кювети, а показник заломлення повітря прийемо за одиницю.

$$a = R_1 \cdot \sin(\alpha_1), \quad (2.1)$$

де $R_1 = \frac{k}{\cos(\alpha_1)}$.

$$b = r \cdot \sin(\alpha_2), \quad (2.2)$$

де $r = \frac{h}{\cos(\alpha_2)}$.

Кут α_2 визначимо із закону Снеліуса $\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} = \frac{n_2}{n_1}$, тому що абсолютний показник

заломлення повітря $n_1 = 1,00029 \approx 1$, то:

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha_1)}{n_2}\right). \quad (2.3)$$

$\frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\beta)} = \frac{n_1}{n_2}$, т.к. $n_1 \approx 1$, то $\sin(\beta) = n_2 \cdot \sin(\alpha_2) = n_2 \cdot \frac{\sin(\alpha_1)}{n_2} = \sin(\alpha_1)$. Звідси $\beta = \alpha_1$.

$$d = R_2 \cdot \sin(\beta) = R_2 \cdot \sin(\alpha_1), \quad (2.4)$$

де $R_2 = \frac{l}{\cos(\beta)} = \frac{l}{\cos(\alpha_1)}$.

$$\Delta S = S_1 - S_2, \quad (2.5)$$

де $S_1 = R_x \cdot \sin(\alpha_1)$, $S_2 = a + b + d$.

$$R_x = \frac{k + h + l}{\cos(\alpha_1)}. \quad (2.6)$$

Отже

$$\Delta S = R_x \cdot \sin(\alpha_1) - a - b - d. \quad (2.7)$$

Підставимо (2.1), (2.2), (2.4), (2.6) у вираз (2.7):

$$\Delta S = \frac{k + h + l}{\cos(\alpha_1)} \cdot \sin(\alpha_1) - \frac{k}{\cos(\alpha_1)} \cdot \sin(\alpha_1) - \frac{h}{\cos(\alpha_2)} \cdot \sin(\alpha_2) - \frac{l}{\cos(\alpha_1)} \cdot \sin(\alpha_1).$$

Спростуючи отриманий вираз, знайдемо:

$$\Delta S = (k + h + l) \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) - k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) - h \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2) - l \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1). \quad (2.8)$$

Знайдемо функцію $\Delta S = f(h, \alpha_1, n_2)$, для цього підставимо (2.3) у формулу (2.8):

$$\Delta S = h \cdot \left[\operatorname{tg}(\alpha_1) - \operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{\sin(\alpha_1)}{n_2}\right)\right) \right]. \quad (2.9)$$

Задаючи h і α_1 , отримаємо функцію $\Delta S = f(n_2)$.

Спочатку оберемо оптимальний кут падіння променя на першу поверхню кювети (α_1). У точці падіння A промінь заломлюється й далі поширюється в

досліджуваній речовині під кутом α_2 . На другій грані кювети промінь знову заломлюється й виходить у повітря. В цьому випадку він поширюється із середовища з більшим показником у середовище з меншим показником заломлення. Нам необхідно обрати кут α_1 таким, щоб у точці B не наступило повне відбиття, як це показано на рис. 2.3.

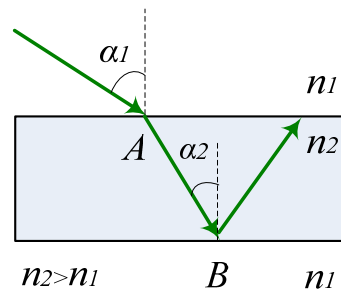


Рис. 2.3. Повне відбиття

Величина критичного кута на межі двох середовищ залежить тільки від показників заломлення цих середовищ $\sin \alpha_{KP} = \frac{n_1}{n_2}$, причому $n_1 = 1$ (повітря), n_2 для рідин змінюється в інтервалі від 1,2 до 1,8. Тоді α_{KP} змінюється від $\alpha_{KP1} = \arcsin \frac{1}{1,8} = 34^{\circ}1'$ до $\alpha_{KP2} = \arcsin \frac{1}{1,2} = 56^{\circ}4'$. Відповідний цим значенням кут α_1 визначимо із закону Снеліуса, тоді $\alpha_1 = \arcsin(\sin \alpha_{KP} \cdot n_2)$: $\alpha_1 \neq 88^{\circ} \dots 90^{\circ}$.

Моделювання проводилося в комп'ютерній програмі для математичного аналізу Mathcad, кут α_1 ми обрали 50° , а ширину кювети $h=60$ мм. Графік функції зміщення променя лазера після проходження через плоско-паралельну кювету з досліджуваною речовиною в залежності від показника заломлення наведений на рис. 2.3. Отриманий графік апроксимується двома прямими (додаток А).

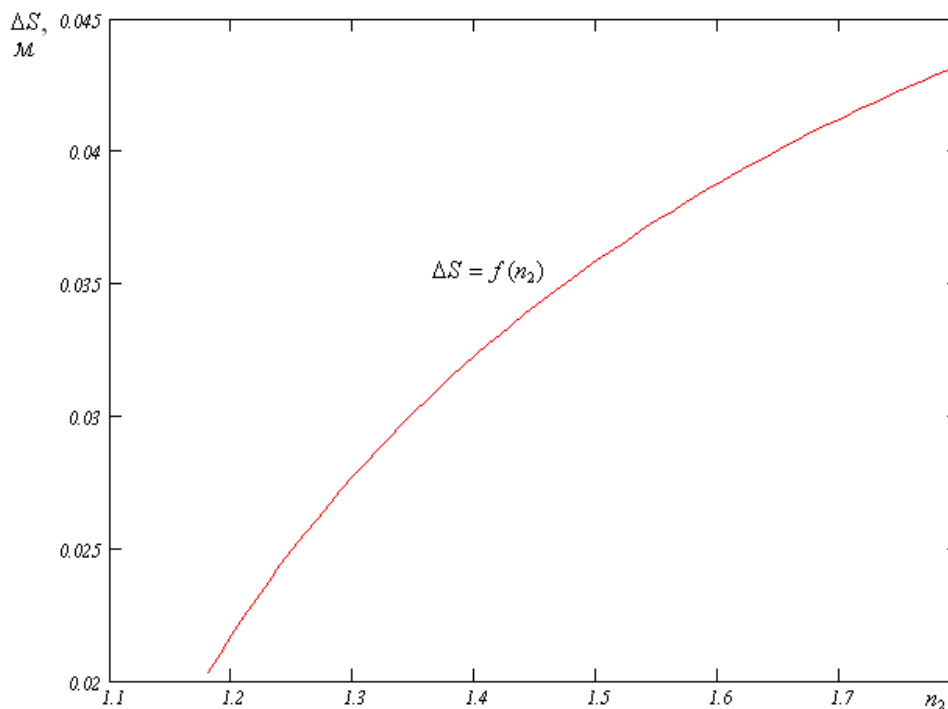


Рис. 2.3. Графік функції зміщення променя лазера (ΔS) після проходження через плоско-паралельну кювету в залежності від показника заломлення досліджуваної

речовини (n_2) при $\alpha_1 = \frac{5\pi}{18}$ рад (50°), $h=0,06$ м

Таблиця 2.1

Розрахункові значення еквівалентного зміщення проміння лазера

Речовина	Вода дистильована (при 20°C)	Спирт етиловий	Хлороформ	Гліцерин	Анілін	Сірковуглець
Показник заломлення, n_2	1,333	1,362	1,449	1,473	1,586	1,632
ΔS , мм ($\alpha_1 = 50^\circ$, $h=0,06$ м)	29,3	30,6	34,1	35,0	38,4	39,6

2.3. Установка для дослідження показника заломлення світла рідких оптично-прозорих речовин

Принципова схема розробленої установки наведена на рис. 1.3. На оптичній лаві (1) уздовж осі встановлені рейтери (2). На рейтерах установлені:

1) тримач із напівпровідниковим лазером (3);

- 3) плоско-паралельна кювета (5) з досліджуваною речовиною і кутовою шкалою (транспорт) для виміру кута падіння лазерного променя. Кювета може вільно повертатися в горизонтальній площині навколо вертикальної осі OO' . Обертаючи її проти або за годинною стрілкою можна змінити кут падіння променя на поверхню плоско-паралельної кювети;
- 2) екран спостереження (4), на якому за допомогою магнітів закріплюється аркуш міліметрового паперу для виміру величини зміщення променя.

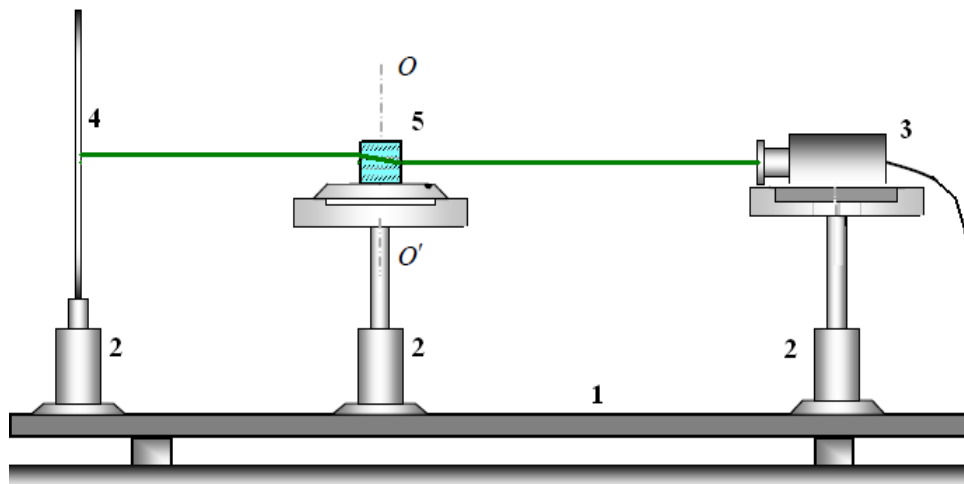


Рис. 1.3. Принципова схема установки

Перед виконанням практичної частини треба було:

- акуратно й точно виготовити кювету (з максимально-можливим дотриманням паралельності розташування скляних поверхонь);
- уникати забруднення робочих поверхонь кювети;
- пам'ятати про погрішність вимірювальних приладів (лінійка, транспорт, міліметрівка);
- дотримуватися загальних правил техніки лазерної безпеки.

Для того щоб виміряти залежність зміщення променя, що пройшов через плоско-паралельну кювету із досліджуваною рідиною з мінімальною похибкою, необхідно спочатку налаштувати установку без кювети на опорі, для чого:

- установлюємо всі рейтери на оптичній лаві й закріплюємо на екрані за допомогою магнітів аркуш міліметрового паперу;

б) включимо лазер. Відюстируємо його положення на рейтері так, щоб промінь попадав у центр екрана спостереження (центрування лазера);

в) за необхідності, пересуваючи рейтер з лазером уздовж паза оптичної лави, можна установити лазер на такій відстані від екрана, щоб розмір освітленої області на екрані був мінімальним.

Далі встановлюємо порожню кювету на опору. Для усунення систематичної похибки, пов'язаної з паралаксом, відлік кутів робимо, розташовуючи лінію зору за нормаллю до шкали. Заповнюємо кювету еталонними рідинами (вода дистильована, спирт етиловий 96 % та гліцерин), дивимося на скільки міліметрів змістилася точка лазерного променя на екрані. Для з'ясування впливу дисперсії на кінцевий результат експеримент проводимо двічі для двох типів лазерів з довжинами хвилі $\lambda_1=532$ нм та $\lambda_2=630$ нм (додаток В). Найменші похибки (більш високу точність) було отримано при використанні лазера з $\lambda=532$ нм.

2.4. Дослідження показника заломлення світла деяких рідких оптично-прозорих речовин

Заповнюємо кювету досліджуваними рідинами (миючий засіб, вода водопровідна, вода кип'ячена, перекис водню (3%), олія оливкова). Результати зміщення точки лазерного променя та відповідні значення показника заломлення зводимо в додаток Г. Збільшення показника заломлення кип'яченої води (до 1,5) можна пояснити присутністю накипу (карбонати кальцію та магнію, сульфат кальцію). Також нами була досліджена залежність показника заломлення двокомпонентних розчинів (вода–цукор та вода–сіль) від концентрації (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Показник заломлення двокомпонентних розчинів ($\lambda=532$ нм)

вода водопровідна – цукор							
%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	28%
ΔS , мм	25,0	25,5	26	27	27,5	29	30
n_2 (додаток Б)	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,28	1,30
вода водопровідна – сіль							
%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	–
ΔS , мм	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	31,0	
n_2 (додаток Б)	1,21	1,23	1,24	1,26	1,28	1,32	

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто та обґрунтовано метод визначення показника заломлення рідких оптично-прозорих речовин відносно повітря із використанням оптично прозорої плоско-паралельної кювети та джерела монохроматичного світла.

Плоско-паралельну кювету було виготовлено із скла товщиною 1 мм із зовнішніми габаритами 102x62x55 (мм). Запропонований метод дозволяє виміряти показник заломлення (з точністю – до двох десяткових знаків) для прозорих і злегка пофарбованих рідин у діапазоні від 1,20 до 1,70.

Експериментальне дослідження показника заломлення еталонних рідин (вода дистильована, спирт етиловий 96 % та гліцерин) у порівнянні з результатами, отриманими при математичному моделюванні в редакторі Mathcad, показало, що модель повністю реалізує поставлену задачу з максимальною відносною похибкою – 10 %. Досліджувалися й інші рідини (миючий засіб, вода водопровідна й кип'ячена, перекис водню, олія оливкова), у тому числі двокомпонентні розчини.

Також було підтверджено залежність показника заломлення від довжини хвилі. Найбільш високу точність було отримано при використанні лазера з довжиною хвилі 532 нм. Питання впливу інтенсивності лазерного променя на значення показника заломлення не досліджувалося.

Розробку можна застосувати на практиці для дослідження оптично-прозорої речовини, визначення кількості речовини у розчині, а також для проведення практичних занять на уроках. Для використання розробки при проведенні польової експертизи існує проблема належної фіксації складових установки (кювета, лазер, оптична лава, рейтери).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кулешова М. И., Гусева Л. Н., Сивицкая О. К. Контроль качества лекарственных средств, изготавливаемых в аптеках. – М. : Медицина, 1989. – 288 с.
2. Соколович Ю. А., Богданова Г. С. Фізика: Навчально-практичний довідник. – Х.: Ранок, 2010. – 384 с.
3. Тарасов О. М. Лабораторные работы по физике с вопросами и заданиями: учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 96 с.
4. Воловик П. Н., Гончаренко С. У., Мавло Д. П., Мойся Е. Г. Физика: Задачник-практикум. – К. : Вища школа, 1988. – 360 с.
5. Лободюк В. А., Рябошапка К. П., Шулишова О. И. Справочник по элементарной физике. – К. : Наукова думка, 1975. – 448 с.
6. Міхеєнко Л. А. Хвильові вимірювання : навч. посібник з дисципліни «Оптичні вимірювання». – К. : НТУУ КПІ, 2011. – 64 с.
7. Лабораторная работа «Определение показателя преломления оптических материалов при помощи рефрактометра ИРФ-454» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://faculty.ifmo.ru/otim/files/Labs/Opt.Mat/Определение показателя преломления оптических материалов при помощи рефрактометра ИРФ-454.pdf](http://faculty.ifmo.ru/otim/files/Labs/Opt.Mat/Определение_показателя_преломления_оптических_материалов_при_помощи_рефрактометра_ИРФ-454.pdf).
8. Каркач Д. В., Пушкарев А. Б. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика»: раздел «Оптика», раздел «Атомная и ядерная физика». – Симферополь : Национальная академия природоохранного и курортного строительства, 2007. – 68 с.
9. Глушко Л. М., Журавльов М. О., Курнат Н. Л. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Визначення показників заломлення розчинів солей за допомогою рефрактометра» з розділу «Оптика, атомна та ядерна фізика». – Дніпропетровськ : НГУ, 2011. – 6 с.

10. Буров В. А., Зворыкин Б. С., Покровский А. А., Румянцев И. М. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Ч. II. Электричество, оптика и физика атома. – М. : Просвещение, 1968. – 432 с.
11. Ершова Т. П., Коробков М. П. Преломление света в плоскопараллельной пластине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.physics.spbstu.ru/forstudents/labpractice/technics/Lab_3_02_new_Tech.pdf.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

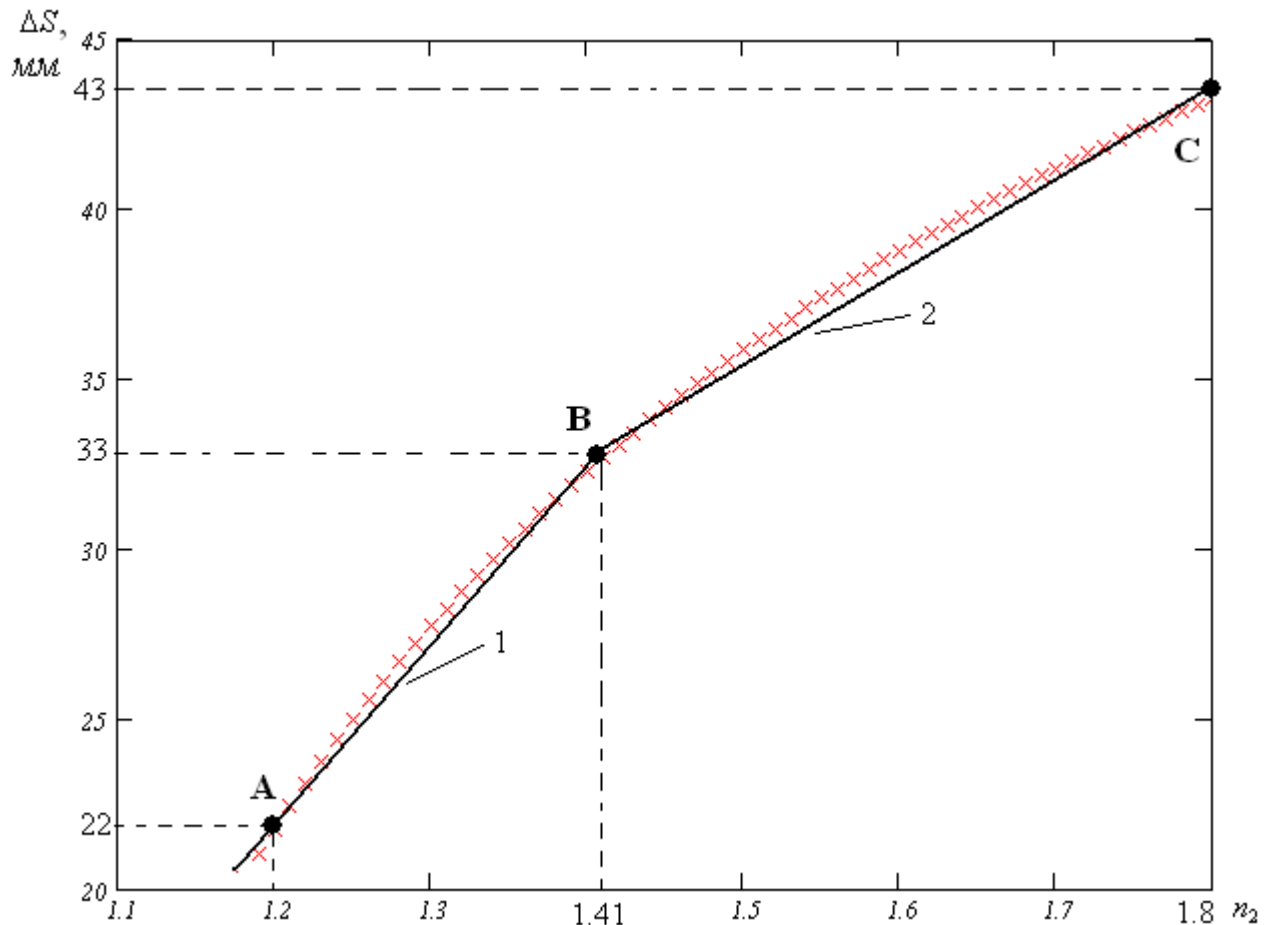
<http://ru.wikipedia.org/wiki/Свет>

<http://ru.wikipedia.org/wiki/Преломление>

http://uk.wikipedia.org/wiki/Рефрактометр_Аббе

<http://elementy.ru/trefil/21086>

ДОДАТОК А

АПРОКСИМАЦІЯ ГРАФІКА ФУНКЦІЇ $\Delta S = f(n_2)$ 

Скористаємося рівнянням прямої на площині, яка проходить через дві точки із заданими координатами $\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$.

Підставимо в рівняння координати точок А, В, С:

$$\begin{cases} AB: \frac{x-1.2}{1.41-1.2} = \frac{y-22}{33-22} \\ BC: \frac{x-1.41}{1.8-1.41} = \frac{y-33}{43-33} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = 54.4x - 40.8 \\ y = 25.6x - 3.1 \end{cases}$$

Таким чином:

- 1) рівняння прямої 1: $\Delta S = 54.4 \cdot n_2 - 40.8$ (мм), при $1.17 \leq n_2 < 1.41$;
- 2) рівняння прямої 2: $\Delta S = 25.5 \cdot n_2 - 3.1$ (мм), при $1.41 \leq n_2 \leq 1.8$.

ДОДАТОК Б

ТАБЛИЦЯ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ВІД ΔS

$$n_2 = \frac{\Delta S + 40.8}{54.4}, \text{ при } 21 \leq \Delta S < 33 \text{ (мм)}; n_2 = \frac{\Delta S + 3.1}{25.5}, \text{ при } 34 \leq \Delta S < 43 \text{ (мм)}$$

Розрахунок у MathCad

$$n2(\Delta S) := \frac{\Delta S + 40.8}{54.4}$$

$$n2(\Delta S) := \frac{\Delta S + 3.1}{25.5}$$

$$\Delta S = \quad n2(\Delta S) =$$

21	1.136
22	1.154
23	1.173
24	1.191
25	1.21
26	1.228
27	1.246
28	1.265
29	1.283
30	1.301
31	1.32
32	1.338
33	1.357

$$\Delta S = \quad n2(\Delta S) =$$

34	1.455
35	1.494
36	1.533
37	1.573
38	1.612
39	1.651
40	1.69
41	1.729
42	1.769
43	1.808
44	1.847
45	1.886

ЗВЕДЕНІ ДАНІ

$\Delta S, \text{ мм}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
n_2	1,136	1,154	1,173	1,191	1,210	1,228	1,246	1,265	1,283	1,301

$\Delta S, \text{ мм}$	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
n_2	1,320	1,338	1,357	1,455	1,494	1,533	1,573	1,612	1,651	1,690

ДОДАТОК В

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІЩЕННЯ ТОЧКИ ЛАЗЕРНОГО
ПРОМЕНЮ ДЛЯ ЕТАЛОНІВ**

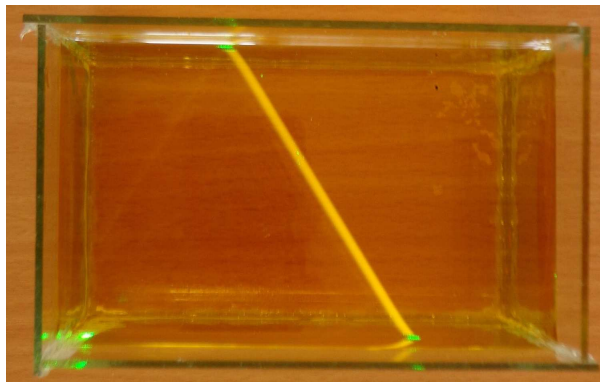
Речовина	Вода дистильована (при 20 ⁰ С)	Спирт етиловий	Гліцерин
Еталонне значення (істинне), n_{2ICT}	1,333	1,362	1,473
<i>1. Довжина хвилі $\lambda=532$ нм (зелений промінь)</i>			
ΔS_1 , мм ($\alpha_1 = 50^0$, $h=0,06$ м)	26,0	27,0	32,0
Розрахункове значення $(n_2)_1$ для ΔS_1 (див. додаток Б)	1,228	1,246	1,338
Відносна похибка вимірювання $\delta_1 = \frac{ (n_2)_1 - n_{2ICT} }{(n_2)_1} 100, \%$	8,5%	9,3%	10,0%
<i>2. Довжина хвилі $\lambda=630$ нм (червоний промінь)</i>			
ΔS_2 , мм ($\alpha_1 = 50^0$, $h=0,06$ м)	24,0	25,0	30,0
Розрахункове значення $(n_2)_2$ для ΔS_2 (див. додаток Б)	1,191	1,210	1,301
Відносна похибка вимірювання $\delta_2 = \frac{ (n_2)_2 - n_{2ICT} }{(n_2)_2} 100, \%$	11,9%	12,5%	13,2%

ДОДАТОК Г

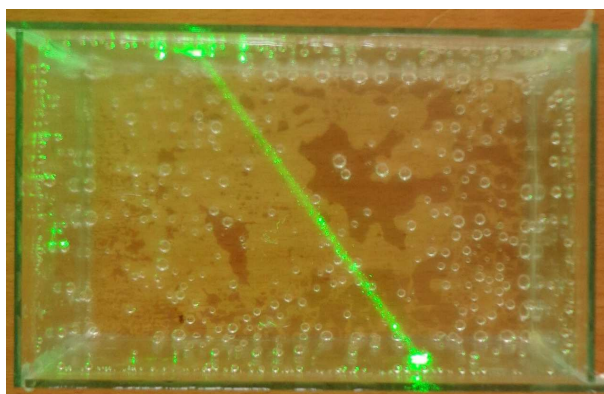
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА ДЕЯКИХ РІДКИХ
ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ РЕЧОВИНt=20⁰C, нормальний атмосферний тиск

Досліджувана речовина	Миючий засіб	Вода водо-провідна	Перекис водню, 3%	Олія оливкова рафінована	Вода кип'ячена
$\lambda=532$ нм					
ΔS , мм ($\alpha_1 = 50^\circ$, h=0,06 м, t=25 ⁰ C, $\lambda=532$ нм)	24,0	25,0	25,0	27,0	36,0
n_2 (додаток Б)	1,19	1,21	1,21	1,25	1,53
$\lambda=630$ нм					
ΔS , мм ($\alpha_1 = 50^\circ$, h=0,06 м, t=25 ⁰ C, $\lambda=630$ нм)	23,5	24,0	24,0	26,0	34,0
n_2 (додаток Б)	1,18	1,19	1,19	1,23	1,45

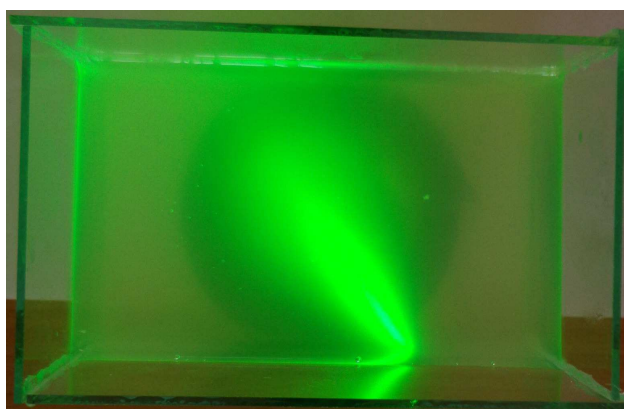
ДОДАТОК Д
ФОТОГРАФІЇ ПРОХОДЖЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ ЧЕРЕЗ ПЛОСКО-
ПАРАЛЕЛЬНУ КЮВЕТУ ІЗ ДЕЯКИМИ ДОСЛІДЖУВАНИМИ РІДИНАМИ



Досліджувана рідина – дистильована вода



Досліджувана рідина – газований напій



Досліджувана рідина – домашнє молоко