

9 клас. Задача 1

1. Обладнання індивідуальне:

- 1) Цифровий мультиметр.
- 2) Паперова смужка з проведеними простим олівцем лініями.
- 3) Смужка прозорої плівки з надрукованою міліметровою сіткою.
- 4) Аркуш міліметрового паперу.
- 5) Шматок осердя простого олівця.
- 6) Лінійка.
- 7) Дротина.

Завдання:

- 1) Визначте питомий електричний опір матеріалу, з якого виготовлено осердя олівця.
- 2) Вважаючи переріз сліду простого олівця на наданих паперових смужках прямокутником, визначте геометричні розміри цього перерізу.

Розв'язок

- 1) Для визначення питомого опору використовуємо формулу $R = \frac{\rho \ell}{S}$, де ρ — питомий опір матеріалу осердя олівця, ℓ — його довжина, $S = \pi r^2$ — площа поперечного перерізу осердя. Довжину осердя можна виміряти лінійкою, радіус осердя r — за допомогою дротинки, з використанням метода рядів. Також необхідно при розрахунках врахувати діаметр самої дротинки, тобто формула для обчислення радіуса осердя буде мати такий вигляд: $r = \frac{L}{N2\pi} - \frac{L'}{2N}$, де L — довжина N витків дротинки, що намотані впритул на осердя, L' — довжина ряду з N витків (див. рис. 1, 2).

Експериментальні середні значення:

$$\ell = 5,5 \text{ см}, R = 6 \text{ Ом}, N = 10, L = 8,5 \text{ см}, L' = 6 \text{ мм}.$$

$$\text{Отже, } \rho = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

- 2) Для визначення геометричних розмірів перерізу необхідно знайти ширину сліду a та його висоту h . Ширину сліду можна визначити використовуючи смужку прозорої плівки та подібність трикутників (див. рис. 3).

Для знаходження висоти сліду потрібно використати формулу $R' = \frac{\rho \ell'}{ah}$, де R' — опір сліду довжиною ℓ' (рис. 4), ρ — вже відомий з першої частини задачі питомий опір матеріалу осердя. Зазначимо, що результати будуть точнішими, якщо побудувати графік залежності $R'(\ell')$ (див. рис. 5) і вже по нахилу цього графіка визначити відношення $\frac{R'}{\ell'}$.

Експериментальні середні значення:

$$a = 1,2 \text{ мм}, \frac{R'}{\ell'} = 0,086 \text{ МОм/см}, \rho = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Отже, } h = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$$

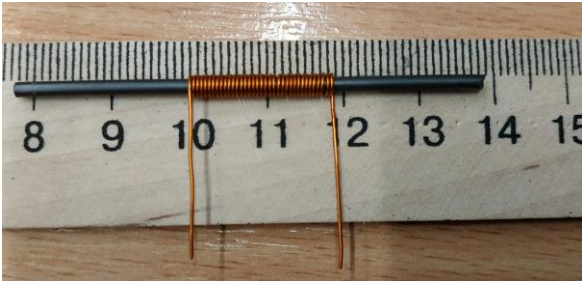


Рис. 1

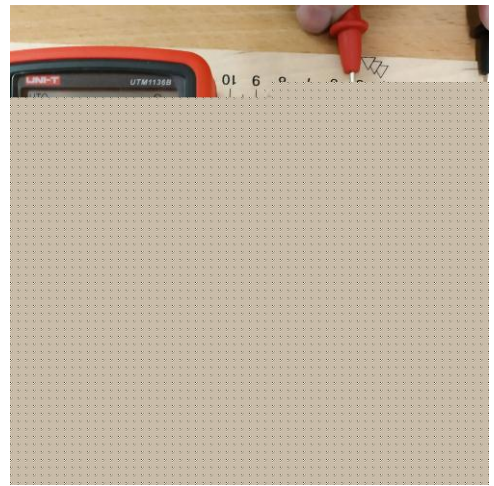


Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

Рис. 5

І МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА У РОЗЧИНІ

Швидкість світла у середовищі визначається показником заломлення, для вимірювання якого наповнюємо рідиною плоску посудину, на дні розташовуємо міліметровий папір. Якщо тепер спрямувати промінь лазера на дно, навколо точки утворюється темне коло, внаслідок явища повного внутрішнього відбивання (ПВВ) та дифузного розсіювання світла на мікронерівностях поверхні дна. В результаті промені, які відбиваються під кутами, значення яких не перевищують кут ПВВ, після відбивання від поверхні дна та заломлення на межі поділу «вода-повітря», вільно виходять у повітря.

Ми бачимо освітлену невеличку пляму в тому місці дна, на яке падає промінь лазера. Як тільки відбитий від поверхні дна промінь падає на межу поділу «вода-повітря» під кутом, який перевищує значення граничного кута ПВВ, він, відбившись від вказаної межі, знову падає на поверхню дна. В результаті ми бачимо освітлену ділянку дна (див. рис. 1).

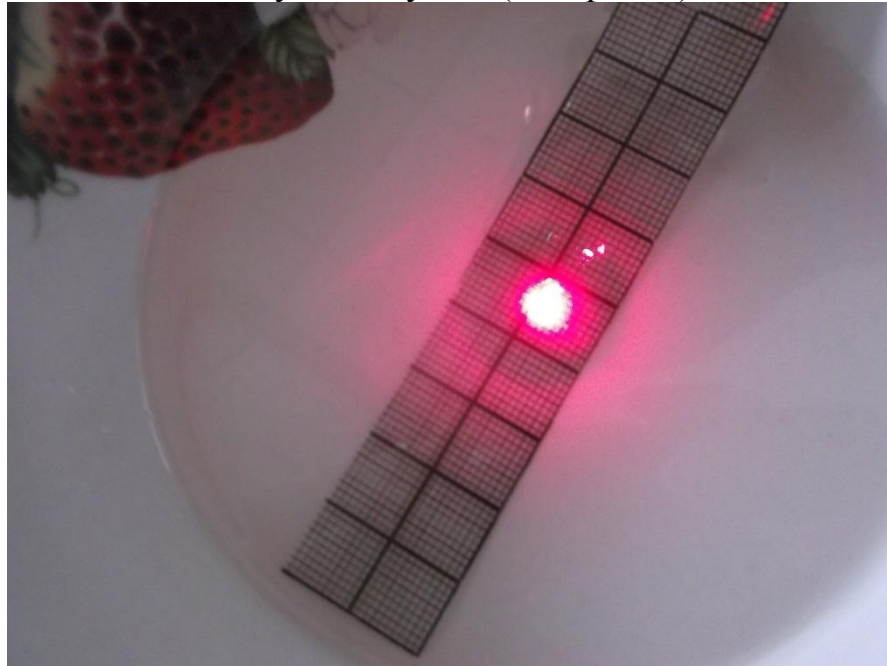


Рис. 1.

Внутрішній край світлої плями внаслідок сферичної симетрії процесу відбивання є колом (дно – плоске), а радіус цього кола якраз і визначається граничним кутом ПВВ. Зрозуміло, що радіус кола визначається показником заломлення та глибиною рідини.

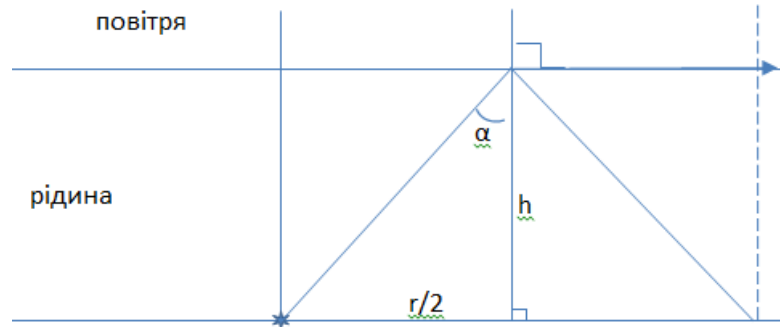


Рис. 2

У відповідності з законом заломлення кут повного внутрішнього відбивання світла дорівнює:

$$\sin \alpha = 1/n.$$

З прямокутного трикутника бачимо, що

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{2h}.$$

Враховуючи зв'язок між синусом та тангенсом:

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1+(\operatorname{tg} \alpha)^2}},$$

отримуємо значення коефіцієнта заломлення:

$$n = \frac{2\sqrt{h^2 + \frac{r^2}{4}}}{r}.$$

Звідки швидкість світла:

$$v = \frac{c}{n},$$

де $c=300\,000$ км/с – швидкість світла у вакуумі.

(Слід зауважити, що для спостереження цього ефекту, потрібно наливати невеликі шари води.)

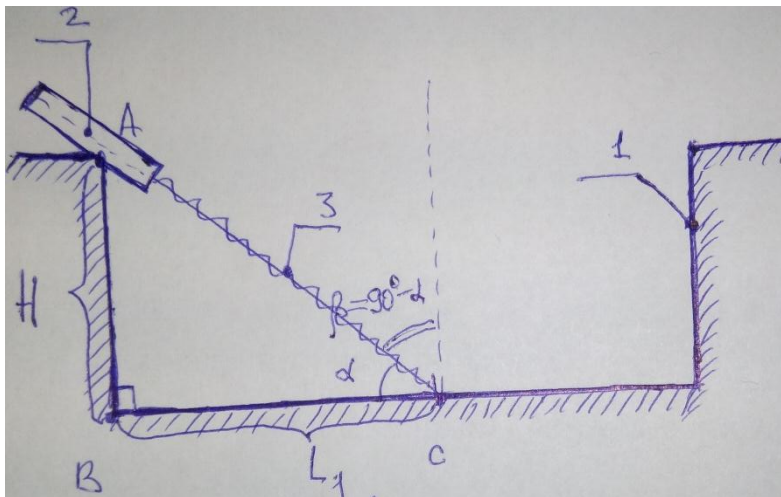
Декілька проведених розрахунків для різних значень висоти шарів рідини дають середнє значення коефіцієнта заломлення 1.41, та швидкості світла 212000 км/с.

II МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ СВІТЛА У РОЗЧИНІ

Кут падіння променів на дно посудини знаходимо з рис. 3, на якому наведені всі необхідні позначення:

$$\sin \beta = \cos \alpha = \frac{CB}{AC} = \frac{L_1}{\sqrt{L^2 + H^2}}, \quad (1)$$

де значення L_1 та H знаходимо з вимірювань за допомогою прозорою міліметрової плівки, яку закріплюємо скотчем на дні тарілки рис.4.



- 1. Посудина (тарілка)
- 2. Лазер
- 3. Промінь від лазера

Рис. 3. Принципова схема дослідів (з посудиною без розчину)

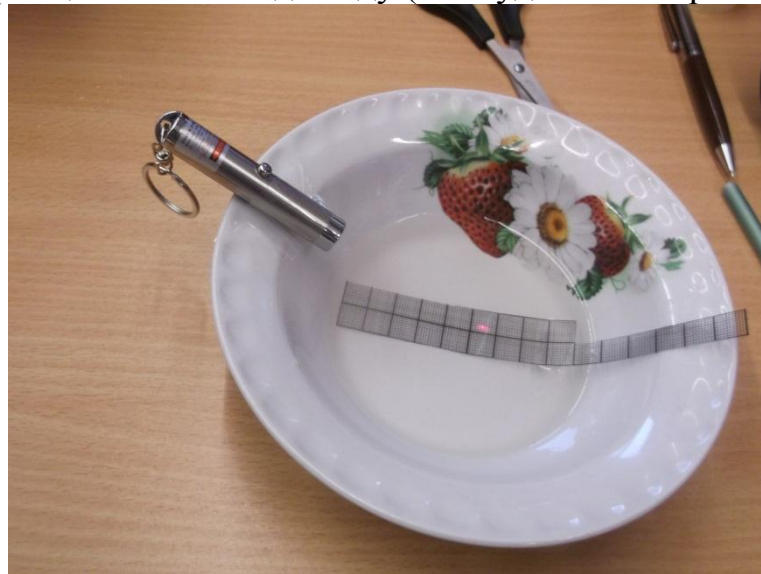
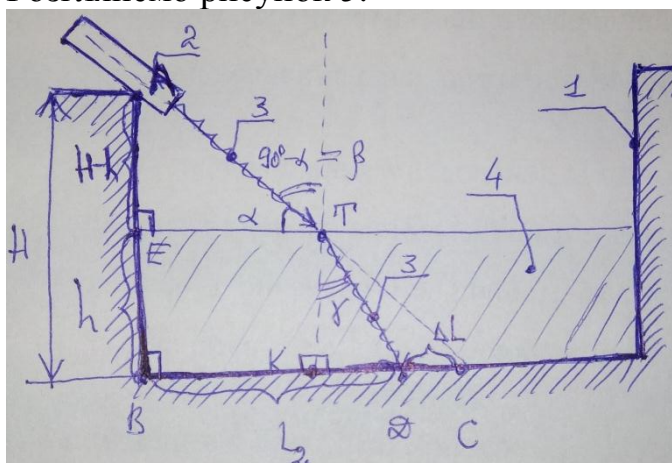


Рис. 4.

Не змінюючи положення лазера, наливаємо розчин цукру товщиною h у тарілку.

Розглянемо рисунок 5.



- 1. Посудина (тарілка)
- 2. Лазер
- 3. Промінь від лазера
- 4. Розчин

Рис. 5. Принципова схема дослідів (з посудиною з розчином)

Бачимо, що

$$\Delta AET \sim \Delta ABC, \text{ тому}$$

$$\frac{AE}{AB} = \frac{ET}{BC} \Rightarrow ET = \frac{AE \cdot BC}{AB} = \frac{H-h}{H} \cdot L_1 = \left(1 - \frac{h}{H}\right)L_1.$$

$$ET = \left(1 - \frac{h}{H}\right)L_1. \quad (2)$$

$$KD = BC - BK - DC = L_1 \frac{h}{H} - \Delta L. \quad (3)$$

Використовуючи результати (2), $ET = BK$, $\triangle TKC \sim \triangle ABC$.
 З $\triangle TKD$ ($\angle TKD = 90^\circ$):

$$\sin \gamma = \frac{KD}{TD} = \frac{L_1 \frac{h}{H} - \Delta L}{\sqrt{\left(L_1 \frac{h}{H} - \Delta L\right)^2 + h^2}}. \quad (4)$$

ΔL , h знаходимо з вимірювань за допомогою прозорою міліметрової плівки, яку закріплюємо скотчем на дні тарілки та поставленої вертикально на дно посудини.

З закону Снелліуса

$$\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = n_{21}, \quad (5)$$

де n_{21} – відносний показник заломлення розчину. Приймаючи, що $n_1 = 1$, матимемо $n_{21} = n_p$ – абсолютний показник заломлення розчину.

Підставимо формули (1), (4) в формулу (5):

$$\frac{L_1}{\sqrt{L_1^2 + H^2}} \cdot \frac{\sqrt{\left(L_1 \frac{h}{H} - \Delta L\right)^2 + h^2}}{L_1 \frac{h}{H} - \Delta L} = n_p,$$

$$n_p = \frac{1}{\frac{h}{H} - \frac{\Delta L}{L_1}} \cdot \sqrt{\frac{\left(L_1 \frac{h}{H} - \Delta L\right)^2 + h^2}{L_1^2 + H^2}}.$$

Провівши ряд обчислень n_p з формулою (6) при різних значеннях висоти h розчину у тарілці, знаходимо відповідні значення абсолютного показника заломлення n_p . Виконуючи стандартну процедуру обробки результатів експерименту, знаходимо середнє значення абсолютного показника заломлення розчину $\langle n_p \rangle \approx 1,41$, що добре узгоджується із значенням, яке отримується за першим способом.

Відповідь: $v \approx 2,12 \cdot 10^8 \frac{M}{c}.$