

Лабораторна робота №11

Вимірювання характеристик світлофільтра за допомогою фотометра ФМ-58

Мета роботи: вивчити принцип дії та конструкцію фотометра ФМ-58; виміряти характеристики світлофільтрів.

1. Завдання ✓

1. Від'юстувати фотометр ФМ-58.
2. Виміряти коефіцієнт пропускання та оптичну густину нейтрального світлофільтра.
3. Виміряти коефіцієнт пропускання селективних світлофільтрів для різноманітних довжин хвиль фотоелектричним методом.

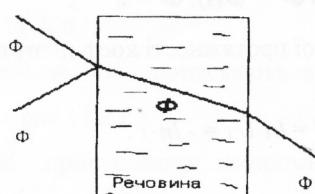
✓ 2. Загальні положення

✓ 2.1. Проходження оптичного випромінювання крізь речовину

Нехай на поверхню шару речовини падає променевий потік Φ (рис.11.1.). Освітлений шар речовини поділяє потік, що на нього потрапив, на три частини : потік, відбитий від шару (Φ_ρ), що проник крізь шар (Φ_τ) та поглинutий потік (Φ_α), який перетворюється у речовині шару в теплову чи іншу енергію. Із закону збереження енергії відомо, що сума відбитого, проминулого та поглинутого променевих потоків дорівнює потоку, що падає, тобто

$$\Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha = \Phi$$

$$\Phi_\rho/\Phi + \Phi_\tau/\Phi + \Phi_\alpha/\Phi = 1.$$



(11.1)

(11.2)

Рис.11.1

Відношення променевого потоку, відбитого від шару речовини до падаючого (Φ_ρ / Φ) має назву коефіцієнт відбиття і позначається буквою ρ .

Відношення променевого потоку, минулого крізь шар, до падаючого (Φ_τ / Φ) має назву коефіцієнт пропускання і позначається буквою τ .

Відношення поглинутого променевого потоку до падаючого (Φ_α / Φ) має назву коефіцієнт поглинання і позначається буквою α .

$$\rho + \tau + \alpha = 1. \quad (11.3.)$$

Для пофарбованих речовин ці коефіцієнти залежать від спектрального складу падаючого випромінювання та спектральних характеристик речовини.

2.2. Закон Бугера - Ламберта

Послаблення потоку, що проминув крізь однорідне оптичне середовище, описано законом Бугера - Ламберта:

$$\Phi(l) = \Phi_0 e^{-\beta l}, \quad (11.4.)$$

де $\Phi(l)$ - величина променевого потоку, що проходить крізь шар середовища, товщиною l ; Φ - величина променевого потоку, що входить до середовища; β - коефіцієнт послаблення випромінювання у середовищі.

Враховуючи визначення коефіцієнту пропускання та користуючись (11.4.), маємо

$$\tau = \Phi_\tau / \Phi = \Phi(l) / \Phi = e^{-\beta l}. \quad (11.5.)$$

Для середовища одиничної протяжності коефіцієнт послаблення

$$\beta = \ln \cdot l / \tau = - \ln \cdot \tau. \quad (11.6.)$$

$$\sqrt{C_1 \cdot C_2}$$

Нарівні з коефіцієнтом пропускання τ для опису світлофільтрів використовується величина D , яка має назву оптична густина шару середовища. Оптична густина зв'язана з коефіцієнтом пропускання співвідношенням

$$D = \lg \cdot I / \tau = - \lg \cdot \tau . \quad (11.7.)$$

✓ 2.3. Світлофільтри

Світлофільтр - оптичний пристрій, призначений для зміни спектрального складу або величини променевого потоку за рахунок послаблення у речовині світлофільтра. Фільтри застосовують у тих випадках, коли необхідно виділити визначену ділянку спектра джерела випромінювання для послаблення променевого потоку в ділянках спектра, що не використовуються в роботі приладу, зменшення хроматичних аберрацій та в інших випадках.

Фільтри поділяють на нейтральні, що практично рівномірно послаблюють випромінювання у визначеній частині спектра (рис.11.2,а), та селективні - коефіцієнт пропускання, або густина яких залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання (рис.11.2,б).

Для нейтральних світлофільтрів, розташованих послідовно, справедливі співвідношення

$$\tau_{\Sigma} = \prod_i \tau_i ; D_{\Sigma} = \sum_i D_i . \quad (11.8.)$$

Селективні світлофільтри поділяють на три групи :

- довгохвильові, які пропускають випромінювання з довжиною хвилі більше даної (рис.11.2, в);

- короткохвильові, які пропускають випромінювання з довжиною хвилі менше даної (рис.11.2,г);

- смугові, які пропускають випромінювання у вузькій смузі довжин хвиль (рис. 11.2,д)

Основна характеристика селективного світлофільтра – спектральна характеристика, тобто залежність коефіцієнта пропускання, або оптичної густини, від довжини хвилі.

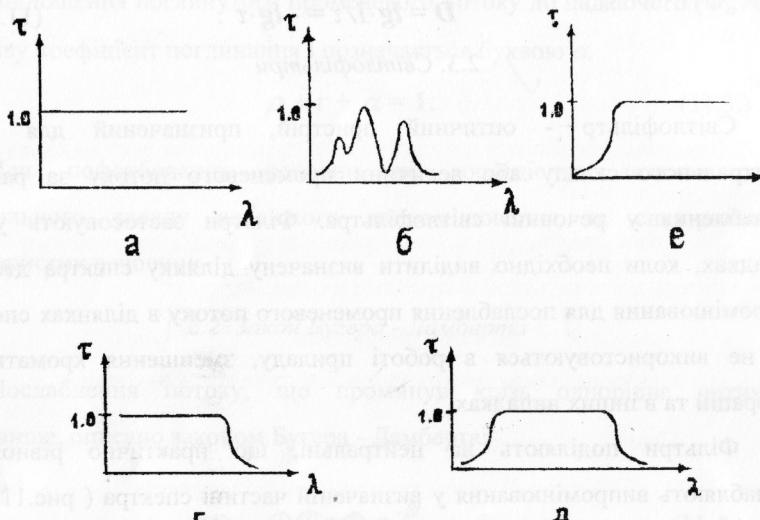


Рис. 11.2

3. Фотометр ФМ – 58

Фотометр ФМ-58 призначений для визначення коефіцієнтів пропускання, або оптичної густини, світлофільтрів на різних довжинах хвиль. Оптична схема фотометра зображена на рис.11.3.

Прилад складається з двох частин: освітлювача та фотометричної головки. Двоканальний освітлювач складається з лампи розжарювання 1, двох дзеркал 2 та двох конденсорів 3. В гніздо освітлювача встановлюються молочні або матові стекла 4, що рівномірно розсіюють світло. Фотометрична головка являє собою подвійну зорову трубу з полем зору $1^{\circ}45''$. Перед об'єктивами 5 містяться дві діафрагми, що змінюю-

ються 6, з квадратними отворами. Діафрагми мають відлікові барабани 7 з двома шкалами: чорнашкала проградуйована від 0 до 100 та призначена для відліку у відсотках коефіцієнтів пропускання τ , червона - для відрахування оптичної густини D .

Два світлових пучка, потрапивши на діафрагми, зводяться об'єктивами 5, ромбічними призмами 8 та біпризмою Френеля 9 в одне поле зору у вигляді кола, поділеного ребром біпризми навпіл. Яскравість лівої половини поля зору залежить від проходження світла правою гілкою приладу і навпаки. Око спостерігача міститься за окуляром 10 у вихідній зіниці приладу.

В одній з гілок розташовується дослідний зразок 11, а друга затуляється діафрагмою 6 до зрівняння яскравостей полів (див.рис.11.3.).

Для вимірювання спектральних характеристик світлофільтрів, тобто вимірювання $\tau = f(\lambda)$, застосовується набір з дев'яти світлофільтрів 12, які встановлюються перед окуляром 10. Характеристики цих світлофільтрів наведені в табл.11.1. Фільтри № 1-6 використовуються для вимірювання спектральних характеристик селективних світлофільтрів, фільтри № 7-9 - для вимірювання характеристик нейтральних світлофільтрів та для колориметрії, фільтри № 10-12 - для юстування приладу і візуальних вимірювань.

Таблиця 11.1

Номер світлофільтру фотометра (зазначеній на корпусі)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Довжина хвилі, відповідаюча максимуму пропускання, Мкм	0,4	0,44	0,49	0,54	0,58	0,60	синій	Зелений	Оранжевий	0,66	0,73	Вільний отвір

Для роботи фотоелектричним методом за ходом променів вмикається заломна призма-клин 13, яка направляє світло на дзеркала 14, матові стекла 15 та сурм'яно-цезієві фотоелементи 16. Фотоелементи вімкнені за диференційною схемою крізь підсилювач на нульовий гальванометр. При вимірюванні необхідно привести стрілку гальванометра до нуля реостатом, який розташований на тильному боці фотометричної головки. При цьому діафрагми повинні бути встановлені на однакові поділи. Відлік, як і при візуальному методі, знімають з барабанів діафрагми.

✓ 4. Порядок виконання роботи

4. 1. Юстування фотометра ФМ-58

Юстування фотометра здійснюється за візуальним спостереженням, тому призму-клин 12 (див.рис.11.3.) необхідно вимкнути (рукояткою на лицевому боці фотометричної головки).

У першу чергу, при знятих з пазів оправи конденсорів матових або молочних розсіювачів, переміщенням освітлювача та дзеркала одержують однакове освітлення вхідних отворів фотометра. Потім, вмикнувши світлофільтр №10 або №11, фокусують окуляр на лінію поділу полів порівняння та спостерігають зображення спіралі, яке видно у кожній половині поля зору. Якщо зображення не різке, слід пересунути конденсори в освітлювачі; несиметричність зображень у кожній половині поля зору усувається невеликими поворотами освітлювача та дзеркала .

Після цього в пази оправ конденсорів встановлюють матові або молочні розсіювачі, над окуляром встановлюють висувну лінзу та перевіряють рівномірність заповнення діафрагм світлом. Для цього по черзі одну з діафрагм затуляють, а зображення другої діафрагми при її максимальному розкритті спостерігають крізь лінзу. Встановлені положення освітлювача та плоского дзеркала в процесі вимірювання не повинні порушуватись.

кофіцієнта пропускання та відхилення від вертикалі. При цьому
зміни кофіцієнта відхилення від вертикалі використовують для
вимірювання застосовуються фоторелейні методи.

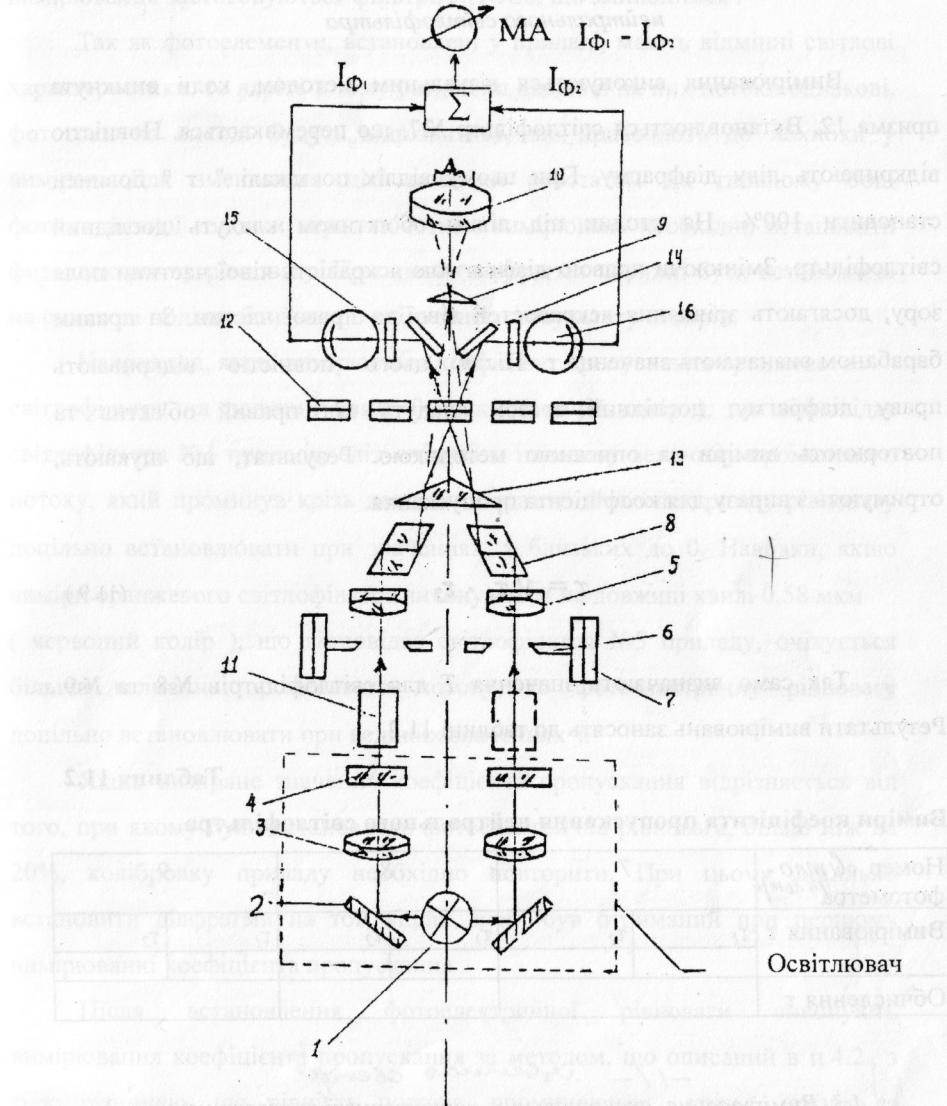


Рис.11.3

для 1-го післяпрац. феноморфічного

4.2. Вимірювання коефіцієнта пропускання та оптичної густини
нейтрального світлофільтра

Вимірювання виконуються візуальним методом, коли вимкнута призма 12. Встановлюється світлофільтр №7, що перемикається. Повністю відкривають ліву діафрагму. При цьому відлік по шкалі "τ" повинен становити 100%. На столик під лівим об'єктивом кладуть дослідний світлофільтр. Змінюючи правою діафрагмою яскравість лівої частини поля зору, досягають зрівняння яскравостей лівої та правої частин. За правим барабаном визначають значення τ. Після цього повністю відкривають праву діафрагму, дослідний зразок кладуть під правий об'єктив та повторюють виміри за описаною методикою. Результат, що шукають, отримують з виразу для коефіцієнта пропускання

$$\tau = \sqrt{\tau_1 \cdot \tau_2} \quad (11.9)$$

Так само визначають значення T для світлофільтрів №8 та №9. Результати вимірювань заносять до таблиці 11.2.

Таблиця 11.2

Виміри коефіцієнта пропускання нейтрального світлофільтра

Номер фотометра	7		8		9	
Вимірювання τ	τ ₁	τ ₂	τ ₁	τ ₂	τ ₁	τ ₂
Обчислення τ						

-11- ідеальне світло

4.3. Вимірювання спектральних характеристик селективних
світлофільтрів

Вимірювання спектральних характеристик виконують фотоелектричним методом, коли вимкнута призма 12. Вимірюється залежність

коєфіцієнта пропускання світлофільтра від довжини хвилі. Під час вимірювання застосовуються фільтри №1-№6, що змінюються.

Так як фотоелементи, встановлені у приладі, мають відмінні світлові характеристики, то навіть в тому разі, коли падаючі на них потоки однакові, фототоки на виході будуть відрізнятися, що призводить до похибки у вимірах. Для зменшення цієї похибки реостатом на тильному боці фотометричної головки перед початком вимірювань необхідно встановити фотоелектричну рівновагу. При цьому діафрагми повинні бути встановлені на однакові поділи, близько до очікуваного результату вимірів.

Наприклад, якщо вимірюється коефіцієнт пропускання оранжевого світлофільтра на довжині хвилі 0,4 мкм (синій колір), що відповідає світлофільтру №1 приладу, слід очікувати невелику величину променевого потоку, який промінув крізь дослідний зразок. Photoелектричну рівновагу доцільно встановлювати при значеннях τ близьких до 0. Навпаки, якщо виміри оранжевого світлофільтра виконуються на довжині хвилі 0,58 мкм (червоний колір), що відповідає світлофільтру №5 приладу, очікується більша величина променевого потоку, то photoелектричну рівновагу доцільно встановлювати при великих значеннях τ .

Якщо виміряне значення коефіцієнта пропускання відрізняється від того, при якому було встановлена photoелектрична рівновага, більш ніж на 20%, колібрювку приладу необхідно повторити. При цьому доцільно встановити діафрагми на той відлік, який був отриманий при першому вимірюванні коефіцієнта пропускання.

Після встановлення photoелектричної рівноваги виконують вимірювання коефіцієнта пропускання за методом, що описаний в п.4.2., з тією різницею, що рівність потоків, проминаючих крізь зразок та діафрагму, реєструється на гальванометрі.

Результати вимірів вносять до табл.11.3. та за їх допомогою будують графік залежності коефіцієнта пропускання від довжини хвилі.

Таблиця 11.3

Виміри коефіцієнтів пропускання селективних світлофільтрів

Номер світлофільтра фотометра	Світлофільтри, що вимірюються			
	№ (колір)		№ (колір)	
	Вимірювання τ	Обчислення τ	Вимірювання τ	Обчислення τ
1 $\lambda_m = 0,40 \text{ мкм}$				
2 $\lambda_m = 0,44 \text{ мкм}$				
3 $\lambda_m = 0,49 \text{ мкм}$				
4 $\lambda_m = 0,54 \text{ мкм}$				
5 $\lambda_m = 0,58 \text{ мкм}$				
6 $\lambda_m = 0,60 \text{ мкм}$				

У роботі вимірюються спектральні характеристики 2-3 селективних світлофільтрів (за вказівкою викладача). Тому необхідно підготувати відповідну кількість таблиць за зразком табл. 11.3.

Лабораторна робота №12

Вимірювання концентрацій розчинів за допомогою колориметра КОЛ-1

Мета роботи : вивчити принцип дії та конструкцію колориметра КОЛ - 1 .

✓ I. Завдання

1. Підготувати до роботи колориметр КОЛ-1.

2. Виміряти концентрації розчинів за допомогою колориметра КОЛ-1 .

✓ 2. Загальні положення

Вимірювання концентрацій розчинів і газів , згідно закону Бугера-Бера , що встановлює залежність потоку , що проходить крізь однорідний поглинаючий шар розчину , від товщини шару l і концентрації розчиненої речовини C :

$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\mathfrak{R}l}$

де Φ_0 - початковий потік при концентрації $C=0$;

\mathfrak{R} - коефіцієнт , що залежить від довжини хвилі зондуючого випромінювання , природи розчиненої речовини і температури .

Вимірювши потік після проходження його крізь зразок , можна зробити висновок про концентрацію речовини в розчині чи концентрації газу :

$$C = 1 / \mathfrak{R}l \cdot \ln \Phi_0 / \Phi = 2,3 / \mathfrak{R}l \cdot \lg \Phi_0 / \Phi = 2,3 / \mathfrak{R}l \cdot \lg I\Phi_0 / I\Phi .$$

В фотоелектричних вимірювачах концентрації використовується весь оптичний діапазон від УФ до ІЧ частини спектру. Вимірювачі концентрації, що працюють у видимій області спектру , часто називають фотоколориметрами , хоча ці прилади і не використовують для вимірювання кольору . Назва виникла внаслідок забарвлення розчинів речовин .

Поглинання променевого потоку відбувається селективно в залежності від довжини хвилі . Оскільки у вимірювачах концентрації звичайно використовують випромінювання складного складу , не розкладеного на монохроматичні складові , то вимірюється інтегральне поглинання .

Проте , враховуючи , що максимальне поглинання променістої енергії речовиною має місце , як правило , в певному спектральному інтервалі , у ряді приладів з метою підвищення чутливості використовують селективне випромінювання , обираючи відповідний досліджуваний речовині інтервал спектру . Виділення спектрального інтервалу здійснюється за допомогою світлофільтрів чи монохроматорів (рис.12.1) .

Оптичний тракт випромінювачів поглинання — і концентрації базується , як правило, по двоканальній схемі з використанням нульового методу реєстрації , проте в окремих випадках метод вимірювання враховує особливості досліджуваної речовини .



3. Прилади та лабораторне устаткування

В даній роботі розглядається колориметр КОЛ-1М. Його загальний вигляд наведено на рис.12.2 (в) .

Оптична схема колориметра складається з двох каналів (рис.12.2 а) - I i II . Схема працює так : світловий потік від джерела випромінювання 1 за допомогою дзеркал 2 спрямовується в обидва канали .

Об'єктив 3 , у передній фокальній площині якого знаходиться джерело випромінювання , формує паралельний пучок променів на вході C_1 кювету 4 , заповнену досліджуваним (канал I) або еталонним (канал II) розчинами з концентраціями C_1 і C_2 відповідно .

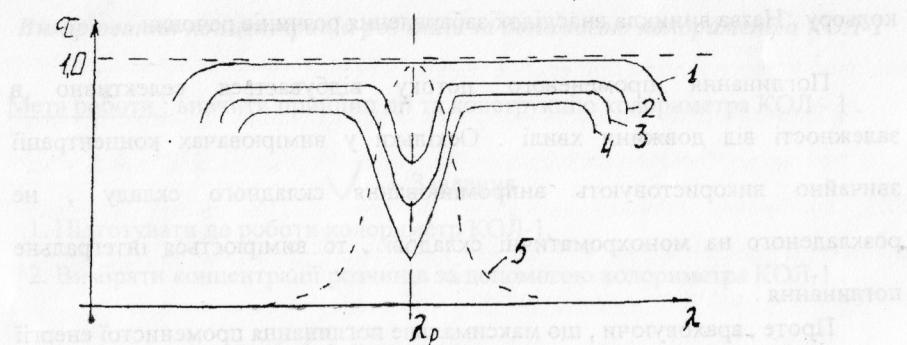


Рис. 12.1 Коефіцієнти пропускання .1 - розчинника ; 2,3,4 - розчин з концентраціями C_1,C_2,C_3 відповідно ($C_1 < C_2 < C_3$) ; 5 - коефіцієнт пропускання світлофільтра

Випромінювання проходить крізь дно кювети , розчин 5 і скляний стержень 6 , переміщуючи який уздовж оптичної осі , можна змінити довжину шляху , який проходить випромінювання в розчині . Система

призм **8,10** дозволяє звести випромінювання з обох каналів в одне поле зору , що має вигляд , зображеній на рис.12.2 ,б. Набір світлофільтрів **9** дає змогу підібрати найбільш придатний робочий інтервал довжин хвиль для даного типу розчині .

Окуляр **11** дає змогу оку дослідника розглядати сформоване поле зору .

Поле зору має однакову яскравість в обох половинах у випадках , якщо :

1) в обох кюветах знаходяться однотипні розчини з однаковою концентрацією ;

2) якщо виконується рівність :

$$\Phi_1 = \Phi_2 = C_1 l_1 R = C_2 l_2 R , \quad (12.1)$$

де Φ_1 - світловий потік на вході із скляного стержня в каналі I ; Φ_2 - те ж для каналу II ; C_1 , C_2 - концентрація досліджуваного і еталонного розчинів відповідно ; l_1 , l_2 - довжина шляху , пройденого випромінюванням у розчині (досліджуваному або еталонному) .

У випадку (2) , коли концентрація еталонного розчину C_2 відома , концентрацію C_1 можна визначити із співвідношення , виходячи з (12.1)

$$C_1 = C_2 \cdot l_2 / l_1 . \quad (12.2)$$

✓ 4. Порядок вимірювання концентрації розчинів за допомогою колориметра

КОЛ - 1М

1. Підняти скляні стержні обох каналів вгору до упирання за допомогою відповідних держаків (див.рис. 12.2.)
2. Встановити рівномірне освітлення в обох половинах поля зору , використовуючи гвинти і подвижки освітлювача в положенні “ 0 “ барабана змінних світлофільтрів .
3. Зняти кришку з колориметра .

Увага ! Щоб уникнути руйнування кювет впевнитись , що скляні стержні підняті і не заважають вимірюванню кювет !

4. По черзі заповнити кювети еталонним та досліджуваним розчинами, встановити колориметр і закрити його кришку .

5. Обертаючи барабан зі змінними світлофільтрами встановити такий фільтр , щоб яскравість поля зору була максимальною .

6. Переміщуючи скляний стержень каналу I вгору - вниз відповідним держаком колориметра , домогтися рівномірної яскравості обох половин поля зору . Зняти відліки l_1 і l_2 (див.рис. 12.2) в каналах I і II і занести результати в таблицю.

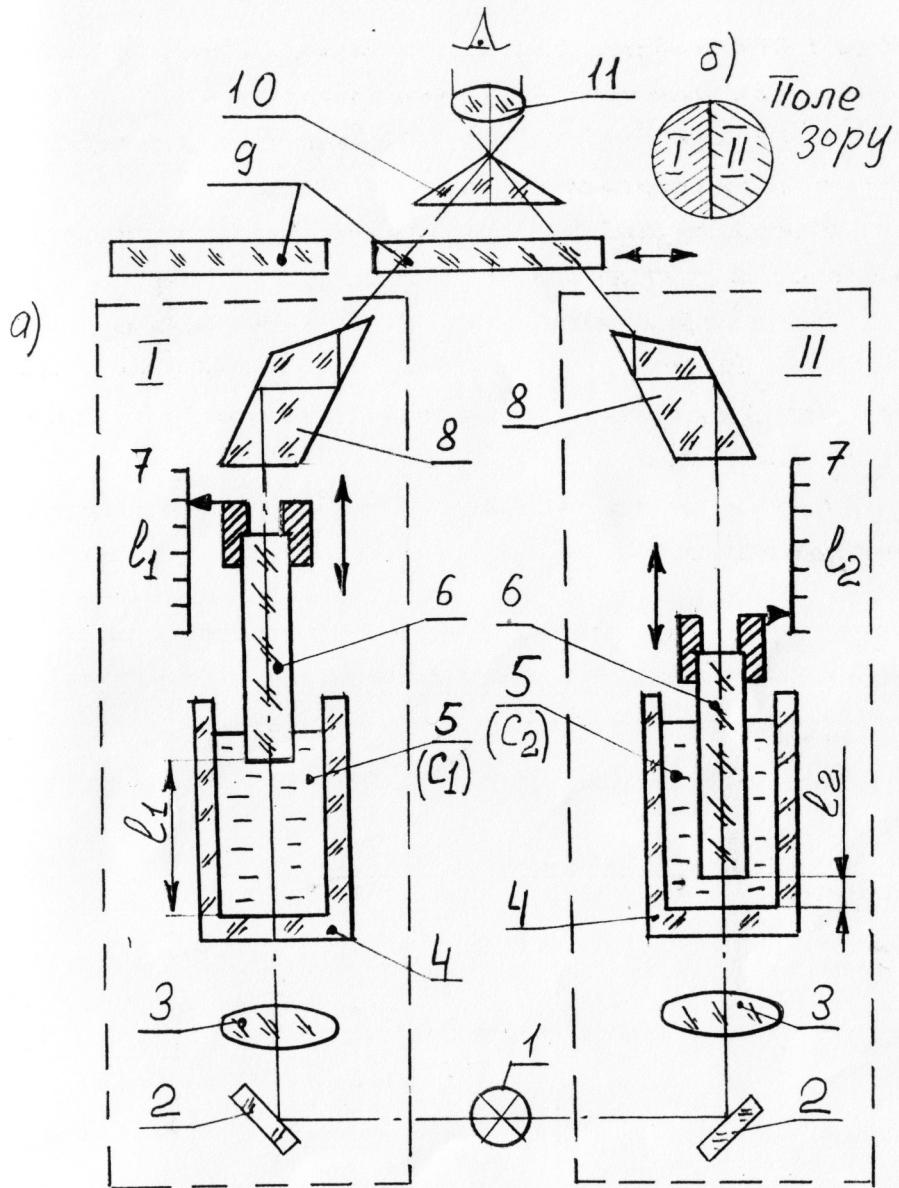
7. Дослід повторити п'ять разів для кожного з розчинів, концентрацію яких треба визначити.

Таблиця 12.1

Розчин, що досліджується	Сет	Let	L	C = Сет*Let/L
Розчин 1			1) 2) 3) 4) 5)	1) 2) 3) 4) 5)
Розчин 2			1) 2) 3) 4) 5)	1) 2) 3) 4) 5)
Розчин 3			1) 2) 3) 4) 5)	1) 2) 3) 4) 5)

8. Розрахувати концентрації розчинів, що досліджуються.

9. Провести статистичну обробку результатів досліджень.



$$C_1 l_1 = C_2 l_2$$

$$C_1 = C_2 \frac{l_2}{l_1}$$

Рис. 12.2. Колориметр КОЛ-1М