

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 84

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЦУКРУ ПОЛЯРИМЕТРОМ

Мета роботи: Вивчення законів поляризації світла, принципу роботи поляризаторів, будови та принципу роботи сахариметра.

Прилади і матеріали: Сахариметр, кювети з розчином цукру.

Теоретичні відомості

1. Природне і поляризоване світло

Світлові хвилі являють собою електромагнітні хвилі малої довжини. Світлові хвилі виникають у результаті процесів, що протікають в атомних і молекулярних системах, що відіграють роль вібраторів. Випромінювання кванта світла відбувається в результаті переходу електрону зі збудженого стану в основний. Електромагнітна хвиля, що випромінюється внаслідок цього переходу є поперечною, тобто вектори \vec{E} і \vec{H} взаємно перпендикулярні і перпендикулярні напрямку розповсюдження. Коливання вектора E відбуваються у одному напрямку. Світло, у якого площина коливання електричного (а отже, і магнітного) вектора зберігає незмінне положення, називається *плоскополяризованим* чи *лінійнополяризованим*. Площина, у якій коливається вектор \vec{E} , називається *площиною поляризації*, а площина, у якій коливається вектор \vec{H} - *площиною коливання*. *Поляризованим* називається світло, у якого напрямок коливання вектора \vec{E} упорядковано яким-небудь чином. Крім плоскополяризованого світла виділяють ще еліптично поляризоване, коли при розповсюдженні світла вектор \vec{E} описує еліпс.

Світ являє собою сумарне електромагнітне випромінювання множини атомів. Атоми випромінюють світлові хвилі незалежно один від одного. Тому світлова хвиля, що випромінюється тілом, в цілому характеризується всілякими рівноймовірними орієнтаціями коливання вектора \vec{E} . Таке світло називають *природним*. Світло, у якого є переважний напрямок коливань вектора \vec{E} і незначна амплітуда коливань вектора \vec{E} в інших напрямках, називається *частково поляризованим*.

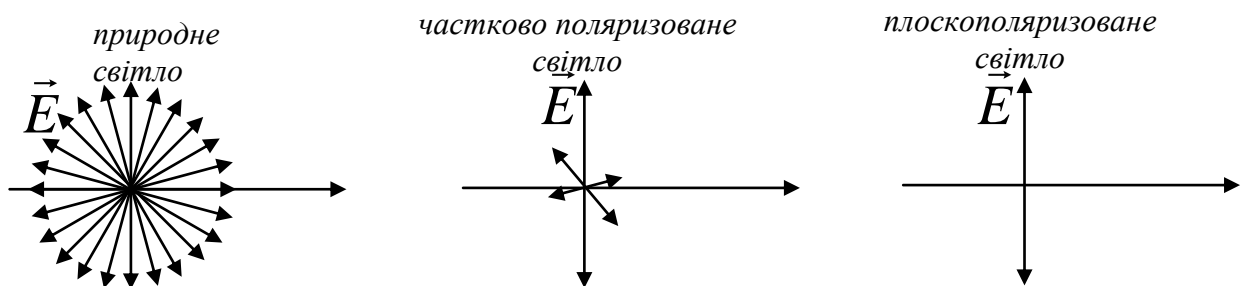


Рис. 1

У природному світлі напрямки векторів \vec{E} і \vec{H} безупинно міняються, залишаючись увесь час перпендикулярними один до одного і напрямку поширення хвилі (рис. 2).

2. Подвійне променезаломлення

Усі кристали, крім кристалів кубічної симетрії, які є ізотропними, відносяться до анізотропних кристалів. Анізотропним називають речовини, у яких властивості (швидкість розповсюдження світла, діелектрична чи магнітна сприйнятливості та інш.) залежать від напрямку. Прикладом анізотропного середовища можуть служити кристали кварцу, турмаліну й ісландського шпату. Явище подвійного променезаломлювання було відкрито Е. Бартолином у 1669 р. на кристалі ісландського шпату (різновидність CaCO_3). Явище подвійного променезаломлювання полягає в наступному: промінь світла, що падає

на анізотропний кристал, розподіляється в ньому на два промені, що розповсюджуються, взагалі говорячи, з різними швидкостями і в різних напрямках. Кристали, що володіють

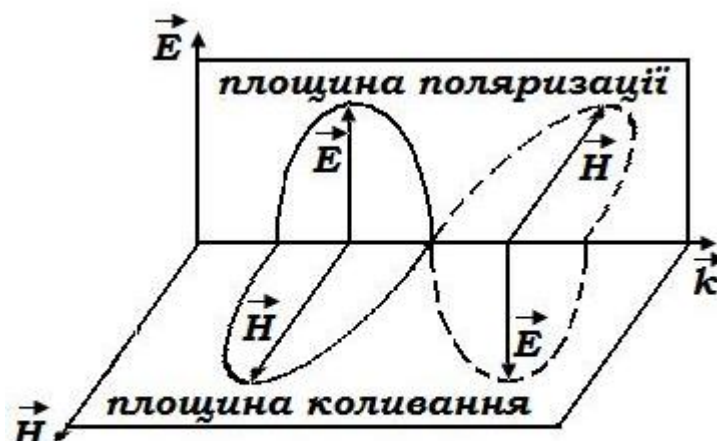


Рис. 2

подвійним променезаломлюванням, підрозділяються на одноосьові і двоосьові. У одноосьових кристалів один з заломлених променів підпорядковується законам геометричної оптики. Цей промінь називається *звичайним*. Для другого, *незвичайного променя*, відношення синусів кута падіння і кута заломлення не залишається сталим при зміні кута падіння. Крім того незвичайний промінь не лежить, як правило, в одній площині з падаючим променем і нормаллю до поверхні, що заломлює. У двоосьових кристалів (слюда, гіпс) обидва промені – незвичайні. У одноосьових кристалів є напрямок, що називається *оптичною віссю*, при розповсюдженні вздовж якого не відбувається розподілу на звичайний і незвичайний промені. Будь яка пряма, проведена паралельно напрямку оптичної осі буде також оптичною віссю. Будь яка площина, що проходить через оптичну вісь і падаючий промінь, називається *головною площиною кристала*, або *головним перетином кристалу*.

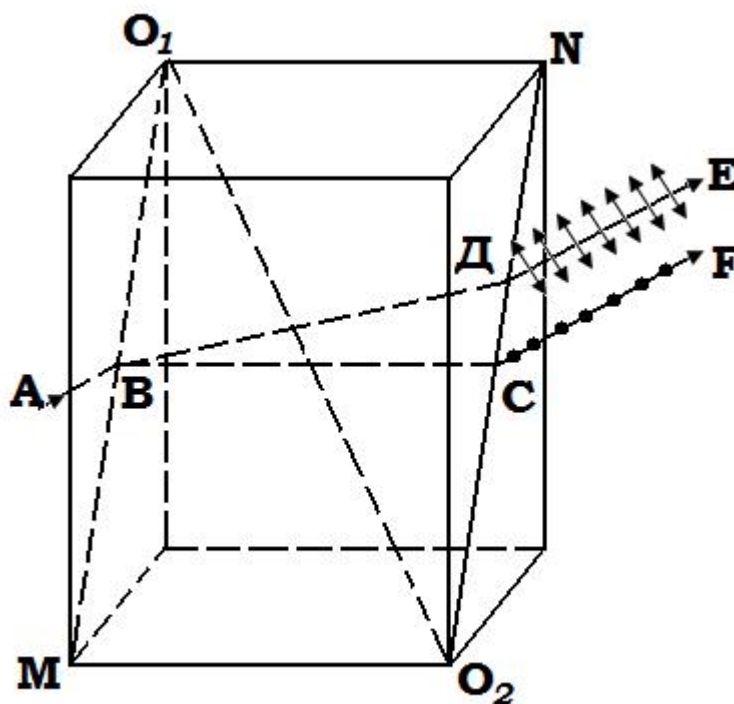


Рис. 3

У природі існують кристалічні речовини, що пропускають світлові хвилі тільки з визначеною орієнтацією векторів \vec{E} і \vec{H} . Поляризоване світло можна одержати різними способами. Один з цих способів заснований на явищі подвійної променезаломлюваності, що спостерігається в анізотропних середовищах. На рис. 3 показано проходження світла через кристал ісландського шпату.

Пряма O_1O_2 називається кристалографічною віссю кристала. Усякий напрямок у кристалі, рівнобіжний O_1O_2 називається оптичною віссю кристала.

Перетин MO_1NO_2 – головний перетин кристала, чи головна площина; цей перетин проходить через оптичну вісь і нормаль, проведений у точку В падіння луча АВ. Природний промінь АВ розділяється в кристалі на два промені ВД і ВС. Промінь ВД називається незвичайним променем, тому що показник заломлення його залежить від напрямку променя, що поширюється, і, отже, у різних напрямках у кристалі він поширюється з різними швидкостями. Промінь ВС називається звичайним променем, тому що він підкоряється законам заломлення, і швидкість його в кристалі не залежить від напрямку (рис. 4).

Обидва промені, що вийшли з кристала, поляризовані. Коливання векторів у промені ВДЕ відбуваються в площині головного перетину кристала (промінь відзначений рисками), а в промені ВCF – у площині, перпендикулярній головному перетину (промінь

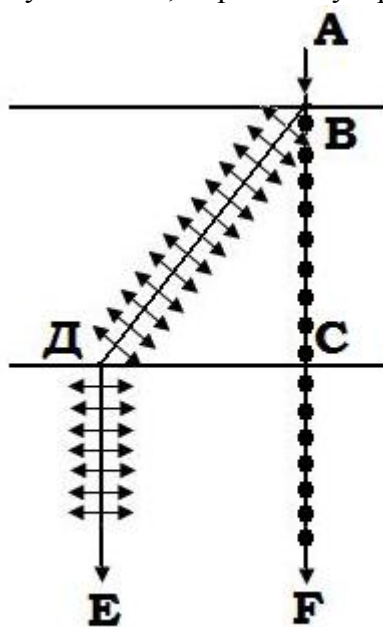


Рис. 4

відзначений точками). Таким чином, обидва промені поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Властивості обох променів, що вийшли з кристала, за винятком напрямку поляризації, абсолютно однакові. Щоб використовувати такі поляризовані промені для технічних цілей, їх треба відокремити один від одного. Це здійснюється в призмі Ніколя.

3. Поляризаційні призми і поляроїди

Поляризаційним називають прибори за допомогою яких з природного світла придбають плоскополяризоване світло. В основі роботи поляризаційних приладів лежить явище подвійного променезаломлювання.

Поляризаційні прилади поділяють на призми і поляроїди. Призми поділяються на поляризаційні призми (що дають один плоский промінь) і подвійно заломлюючі призми (дають два поляризованих променя у двох взаємно перпендикулярних площинах). Поляризаційні призми використовують принцип повного внутрішнього відбиття звичайного променя. Повне внутрішнє відбиття спостерігається при падінні променя на

межу розподілу оптично більш щільного середовища з оптично менш щільним середовищем. При кутах падіння більших критичного світло повністю відбивається, не заломлюючись. Інтенсивність відбитого світла у цьому випадку дорівнює інтенсивності падаючого світла.

Призма Ніколя являє собою подвійну призму з ісландського шпату, склеєну вздовж лінії АВ канадським бальзамом з показником заломлення $n = 1,55$. Оптична вісь O_1O_2 призми складає з входною гранню кут 48° . На передній грані призми природне світло, що паралельне ребру СВ розбивається на два промені: звичайний ($n = 1,66$) і незвичайний ($n = 1,51$). При відповідному підборі кута падіння, рівного чи більшого граничного (критичного $>76^\circ$) звичайний промінь зазнає повне внутрішнє відбиття (так як для нього канадський бальзам - менш щільне середовище), а потім поглинається зачорненою поверхнею СВ. Незвичайний промінь виходить з кристалу паралельно падаючому променю, незначно зміщеному відносно падаючого (завдяки переломленню на гранях АС і ВД).

Подвійно заломлюючи призми використовують різницю в показниках заломлення звичайного і незвичайного променів, для того щоб розвести їх як можна дальше один від одного. Їх виготовляють з ісландського шпату і скла, з двох призм ісландського шпату з перпендикулярними оптичними осями.

Подвійно заломлюючи кристали володіють *дихроїзмом* – показник заломлення світла залежить від орієнтації вектора \vec{E} , від напрямку розповсюдження світла у кристалі та довжини хвилі. Явище дихроїзма виявляється в різній окрасці кристалів в різних напрямках. Прикладом дихроїчного кристалу є турмалін – одноосьовий кристал, у якому звичайний промінь поглинається в багато разів більше незвичайного. Ще більш яскраво дихроїзм проявляється у кристалах герпатиту (сірчаноокислий йод-хінін). Плівка герпатиту товщиною 0,1 мм повністю поглинає звичайні промені видимої області спектру. Дихроїчні кристали використовують для виготовлення поляроїдів – тонких кристалічних плівок, що дозволяють придбати плоскополяризоване світло.

Для виготовлення призми Ніколя природний кристал ісландського шпату підпилюють певним чином (кути призми зазначені на рис. 5), потім кристал розпилюється по лінії АВ і обидві половини склеюються канадським бальзамом.

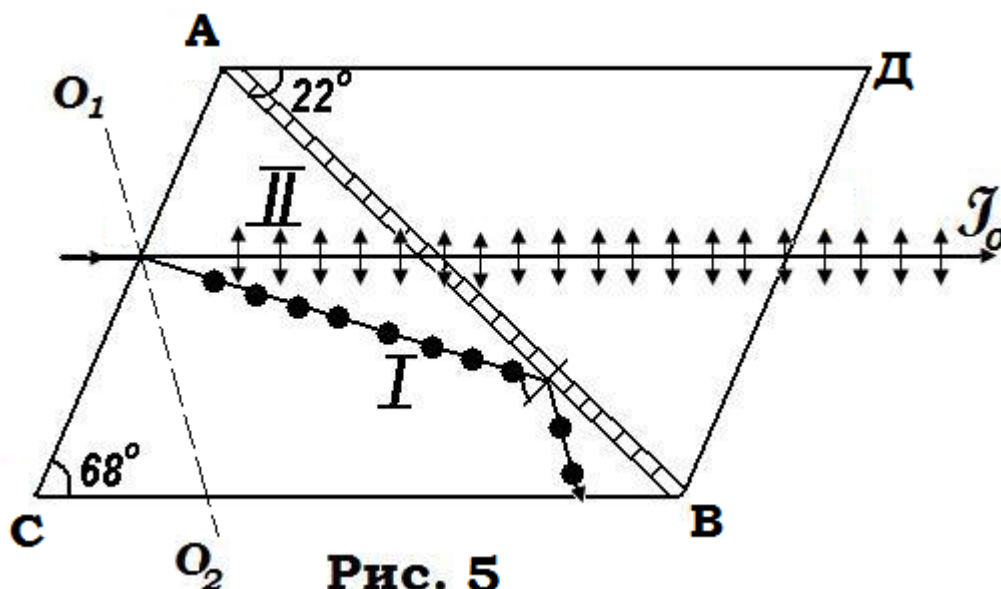


Рис. 5

За допомогою призми Ніколя можна:

1. Одержати поляризований промінь;
2. Визначити напрямок коливань у поляризованому промені.

У першому випадку призма Ніколя служить поляризатором, а в другому – аналізатором. Два Ніколя, розташованих послідовно, не пропускають променів, якщо вони схрещені, тобто, якщо їхні головні перетини перпендикулярні. Якщо ж їхні головні перетини

рівнобіжні, то інтенсивність світла, що пройшло аналізатор, буде максимальною. Інтенсивність світла, що пройшло через два Ніколя, підкоряється закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

де I_0 – інтенсивність світла, що пройшло перший ніколь; I – інтенсивність світла, що пройшло другий ніколь; φ – кут, між головними площинами ніколей.

4. Обертання площини поляризації оптично активною рідниною

Деякі оптично активні речовини, наприклад, розчин цукру, мають здатність обертати (повертати) площину поляризації поляризованого променя світла.

Нехай два ніколя (1 і 2) схрещені і не пропускають світла. Ми помістимо між ними розчин цукру. Тоді площина поляризації поляризованого променя, що вийшов з ніколя 1, при проходженні розчину цукру повернеться на деякий кут.

Площина поляризації променя, що падає на ніколь 2, уже не буде перпендикулярна його головному перетину; через ніколь 2 буде частково проходити світло. Щоб ніколь 2 знову не пропускав світла, його треба повернути на кут α . Кут повороту α визначається по формулі:

$$\alpha = k \frac{c\ell}{\lambda^2} \quad (2)$$

де ℓ – довжина шляху променя в розчині; k – коефіцієнт пропорційності; c – концентрація розчину; λ – довжина хвилі поляризованого світла. За допомогою приладів, названих сахариметрами, користаючись формулою (2), можна знайти концентрацію цукрового розчину по куті повороту площини поляризації.

Опис установки

Світловий потік лампочки розжарювання (1) (рис. 6) проходить світлофільтр 3 чи матове скло 2, конденсор 4 і призму-поляризатор 5, що перетворює його в поляризований потік світла і розділяє на дві половини лінією розділу.

Поляризатор установлюють таким чином, щоб площини поляризації обох половин світлового потоку складали однакові кути з площиною поляризації аналізатора 11. У результаті аналізатор пропускає рівні по світлосилі половини світлового потоку.

У встановленій за аналізатором зоровій трубці, що складається з об'єктива 12 і окуляра 13, спостерігаються дві рівноосвітлені половини полю, розділені тонкою лінією.

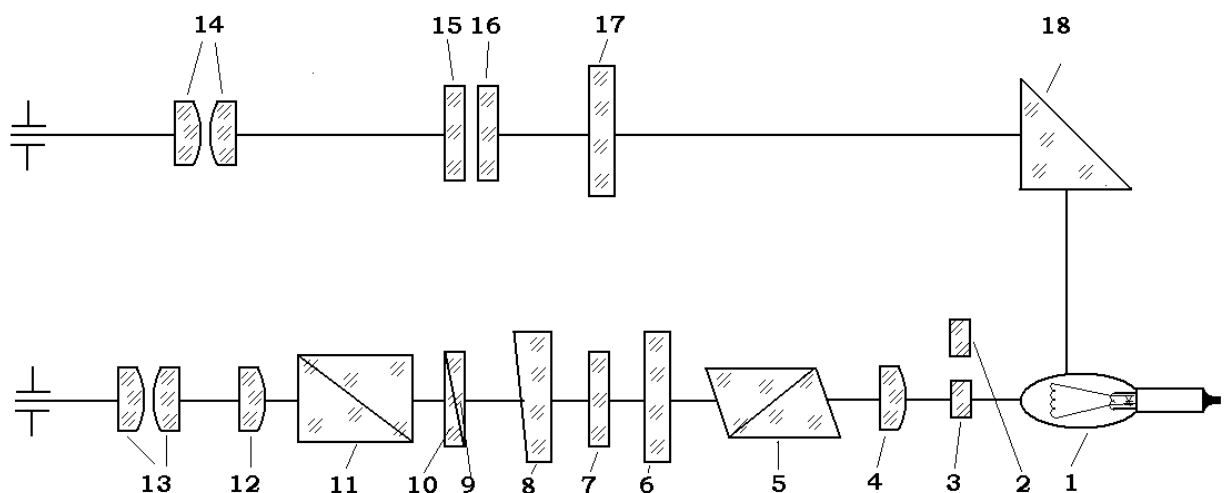


Рис. 6

Між поляризатором і аналізатором поміщені захисні скельця 6 і 7, а між ними – кювету з досліджуваним розчином. У результаті оптичної активності розчину порушується рівність освітленостей половин полю зору. Для вирівнювання освітленостей половин полю зору в сахариметрі застосований клиновий компенсатор, що складається з великого кварцового клина лівого обертання 8, контрклина 9 і малого клина правого обертання 10. Переміщенням великого клина щодо малого роблять вирівнювання освітленостей половин полю зору.

По нульовому розподілі ноніуса 15 фіксують значення шкали 16, що відповідає стану однакової освітленості обох половин полю зору. Шкалу і ноніус спостерігають через лупу 14. Освітлення шкали і ноніуса здійснюється від лампочки розжарювання через відбивну призму 18 і світлофільтр 17.

На рис. 7 показане положення шкали і ноніуса, що відповідає відліку $+11,8^\circ$ і $-3,2^\circ$. (Цукрова міжнародна шкала, ціна розподілу $-1^\circ S = 0,346^\circ$ кутових).

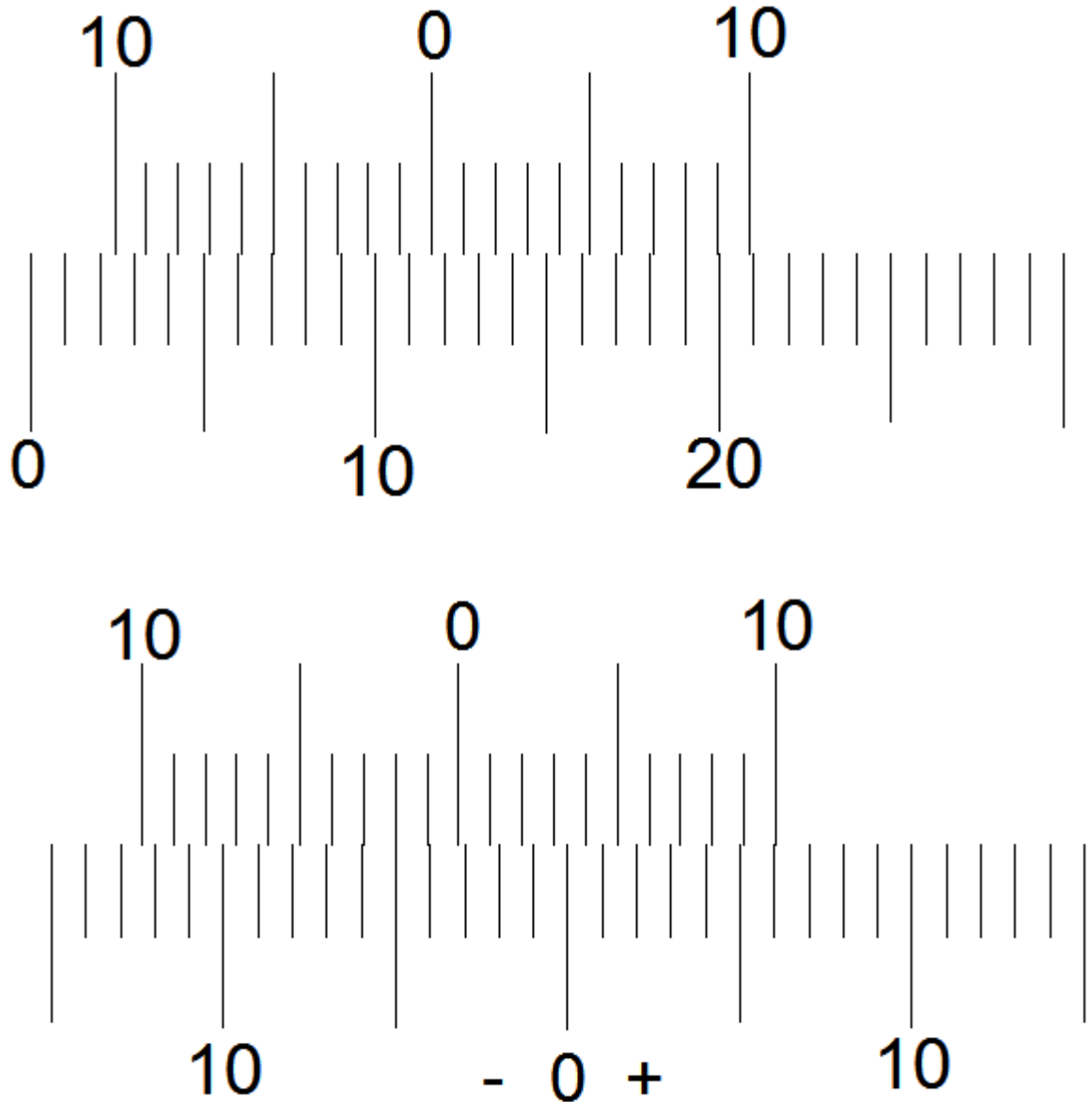


Рис. 7

Порядок виконання роботи

1. Поворотну обойму (1) вузла освітлювача поляриметра (рис. 8) поставити в положення М (в оптичну систему ввели матове скло).

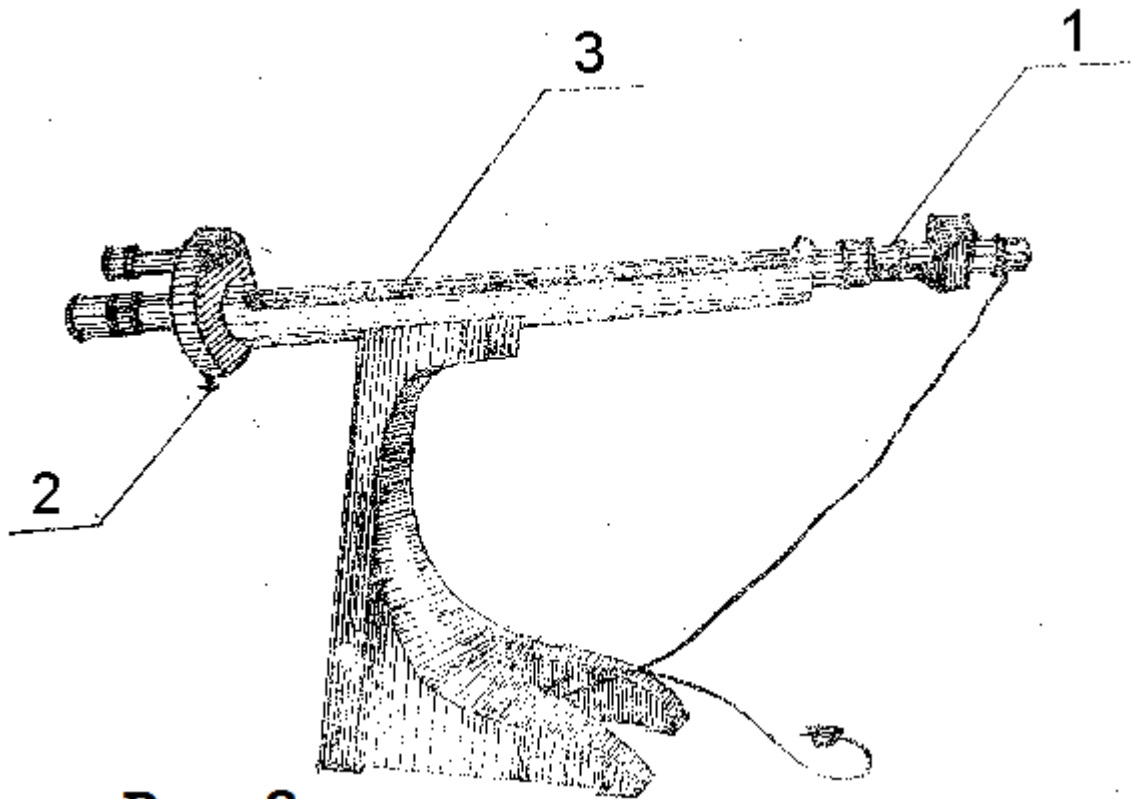


Рис. 8

2. Обертаючи оправу окуляра зорової труби і лупи шкали, установити різкість зображень таким чином, щоб були чітко видні вертикальна лінія, що розділяє поле зору на дві половини, штрихи і цифри шкали і ноніуса.

Перед початком вимірів (при відсутності трубки з розчином) необхідно, обертаючи рукоятку кремальєрної передачі (2), установити однорідне поле зору. При цьому нульовий розподіл шкали і ноніуса повинні збігатися. Цей розподіл записати (n_0).

3. У камеру сахариметра (3) укласти трубку з розчином відомої концентрації C_1 , що змінить однорідність половин полю зору. Обертаючи рукоятку кремальєрної передачі (клин 8), знову установити однорідність половин полю зору і зробити за допомогою ноніуса відлік n_1 по шкалі.

4. Видалити трубку з приладу і вкласти іншу трубку з невідомою концентрацією цукрового розчину C .

Користаючись указівками пункту 3, знайти нове положення шкали, що відповідає однакої освітленості полів зору в окулярі сахариметра.

5. Якщо розчин цукру з концентрацією C_1 обертає площину поляризації на кут α_1 , то відповідно до формули (2):

$$\alpha_1 = k \frac{c_1 \ell}{\lambda^2} \quad (3)$$

Якщо розчин цукру невідомої концентрації обертає площину поляризації на кут α , то, відповідно до формули (2):

$$\alpha = k \frac{c \ell}{\lambda^2} \quad (4)$$

Розділивши (4) на (3), одержимо

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = \frac{c}{c_1} \quad (5)$$

Різниця між даним відліком і нульовим по шкалі, звісно, пропорційна куту повороту площини поляризації. Тому

$$\begin{aligned} n_1 - n_0 &= \alpha_1 \\ n - n_0 &= \alpha \end{aligned}$$

Тоді формула (5) переписеться так:

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = \frac{n - n_0}{n_1 - n_0} = \frac{c}{c_1}$$

Звідси шукана концентрація

$$c = c_1 \frac{(n - n_0)}{(n_1 - n_0)}$$

Підставляючи у формулу дані досвіду, знайти невідому концентрацію цукрового розчину.

Контрольні питання

1. Яке світло називається природним? Як схематично зображується природне світло?
2. Яке світло називається поляризованим? Як схематично зображується поляризоване світло?
3. Рисунок плоскополяризованого світла. Яка площина називається площиною коливань? площиною поляризації?
4. Яке світло називається частково поляризованим? Як схематично зображується частково поляризоване світло?
5. Яке світло називається еліптично поляризованим? Що означає ліва і права поляризація?
Як схематично зображується еліптично поляризоване світло?
6. Закон Малюса з висновком.
7. Закон Брюстера.
8. Що називається площиною падіння? кутом падіння?
9. Яка ступінь поляризації відбитого і переломленого променів, якщо кут падіння дорівнює куту Брюстера?
10. Чому дорівнює кут між переломленим і відбитим променями, якщо кут падіння дорівнює куту Брюстера?
При падінні світла на яке середовище виконується закон Брюстера?
11. Які кристали називаються анізотропними? Що називається оптичної віссю кристала? Чим відрізняються двувісні кристали від одноосьових?
12. Чим обумовлене явище подвійної променезаломлюваності в оптично анізотропному одноосьовому кристалі?
13. Чим відрізняються негативні кристали від позитивних?
Побудуйте хвильові поверхні для звичайного і незвичайного променів.
14. Призма Ніколя. Як улаштована? Як працює?
15. Назвіть три способи одержання поляризованого світла.
16. Що називається пластиною у чверть хвилі? у півхвилі?
17. Інтерференція поляризованого світла.
18. Що таке ефект Керра? Яка фізична причина його виникнення?
19. Які речовини називаються оптично активними?
Чому дорівнює кут повороту площини поляризації в оптично активному середовищі?
20. У чому відмінність оптичної активності від подвійної променезаломлюваності?
21. Ефект Фарадея.

22. Яке буде дія пластинки у півхвилі на природне світло? на плоскополяризоване світло, площина поляризації якого складає кут 45° з оптичною віссю пластинки?
23. Чи можна за допомогою тільки поляризатора відрізнити еліптично поляризоване світло від частково поляризованого? Чому?
24. Як, використовуючи пластинку в чверть хвилі і поляризатор, відрізнити циркулярно поляризоване світло від природного?
25. Ефект Коттона- Мутона.

Звіт про виконану роботу

1. Робоча формула:

$$c = c_1 \frac{(n - n_0)}{(n_1 - n_0)} - \text{невідомо концентрація цукрового розчину.}$$

Величини, що вимірюються:

n_0 – розподіл шкали при відсутності трубки з розчином, що відповідає однорідному полю зору,

n_1 – розподіл шкали при наявності розчину з відомою концентрацією цукру, що відповідає однорідному полю зору,

n – розподіл шкали при наявності розчину з невідомою концентрацією цукру, що відповідає однорідному полю зору.

Величини, що обчислюються

c - невідомо концентрація цукрового розчину, $[c] = \%$,

2. Результати експерименту

n_0	n_1	n	c_1	c