

Лабораторна робота 10

Визначення питомого кута повертання кварцу та концентрації цукру в розчині сахариметром

Мета роботи: Визначити питомий кут повертання кварцу та концентрацію цукру в розчині сахариметром.

Прилади і матеріали: сахариметр, скляна трубка для цукрового розчину невідомої концентрації, трубка з розчином цукру відомої концентрації.

Завдання: Визначити концентрацію цукру в розчині цукру.

Короткі теоретичні відомості

При пропусканні лінійно-поляризованого світла через деякі речовини площина поляризації світла повертається відносно свого попереднього положення. Таке явище називається обертанням площини поляризації, або природною оптичною активністю. Всі оптично активні речовини можна розділити на дві групи: 1) оптично активні в усіх трьох агрегатних станах (винна кислота, скипидар, цукор та ін.), 2) оптично активні тільки в кристалічному стані (кварц, кіновар та ін.). Отже, оптична активність може визначатися будовою найбільш слабко взаємодіючих молекул речовини (розчини і гази) чи тільки структурою кристала і специфічними особливостями збуджених станів електронів і ядер у кристалах (аморфний кварц оптично не активний) або і будовою молекул, і розташуванням їх у кристалічній решітці. Пояснити таке явище можна, розглядаючи загальне завдання взаємодії поля світлової хвилі з молекулами або атомами речовини, якщо взяти до уваги скінченні розміри молекул (d), порівняно з довжиною хвилі, та їхню

структуру. Якщо відношення $d/\lambda \approx 10^{-3}$ для багатьох оптичних явищ (розсіяння, дисперсія) можна вважати нескінченно малим, то обертання площини поляризації визначається цим відношенням.

Усі природно оптично активні речовини поділяються на правообертаючі і лівообертаючі для спостерігача, який дивиться назустріч променю. Обертання вправо (за годинниковою стрілкою) вважається додатним ($\varphi > 0$), вліво – від’ємним ($\varphi < 0$). У більшості оптично активних кристалів виявлено існування двох модифікацій: правообертаючої і лівообертаючої. Кути повороту при всіх інших однакових умовах в обох модифікаціях рівні за абсолютною величиною. Якщо лінійно поляризоване світло примусити пройти через оптично активну речовину в прямому і зворотному напрямках, то площина поляризації не зміниться.

а) *Явище обертання площини поляризації* відкрив Домінік Франсуа Араго (1811 р.) на пластинці кристалічного кварцу, вирізаної перпендикулярно до оптичної вісі, а пояснив Огюстен Жан Френель (1817 р.).

Кварц є одновісним кристалом і при пропусканні світла в напрямі оптичної вісі подвійне променезаломлення не відбувається, а проявляється оптична активність кристала. Всі одновісні оптично активні кристали при пропусканні світла в напрямі оптичної вісі повертають площину поляризації світла на деякий кут. Досліди показали, що кут обертання площини поляризації світла певної довжини хвилі кристалами пропорційний товщині оптично активного шару. Обертальною здатністю твердих тіл називається кут α , на який повертається площина поляризації світла певної довжини хвилі λ при проходженні пластинки товщиною 1 м. Якщо φ – кут повороту, а l – товщина пластинки, вирізаної перпендикулярно до оптичної вісі, то

$$\varphi = [\alpha]l.$$

Обертальна здатність α залежить від довжини хвилі, природи речовини і температури. Залежність від довжини хвилі називається обертальною дисперсією. Зі збільшенням довжини хвилі α зменшується.

Обертання площини поляризації в одновісних кристалах спостерігається і тоді, коли світло поширюється під кутом до оптичної вісі. Але в таких випадках явище маскується звичайним подвійним променезаломленням. У кристалі кварцу є напрям, що утворює кут 56° з оптичною віссю, вздовж якого обертання площини поляризації немає, а є тільки подвійне променезаломлення. Ще важче спостерігати явище в двовісних кристалах, оскільки обертання може бути різним уздовж кожної з оптичних осей. Явище спостерігається і в деяких ізотропних кристалах кубічної системи (NaBrO_3 , NaClO_3). Значення α в них не залежить від орієнтації кристала.

б) Чутливі методи дослідження дали змогу виявити *природну оптичну активність у чистих рідинах, парах, газах, розчинах багатьох речовин у неактивних розчинниках.*

Для розчинів Жан Батист Біо встановив (1831 р.), що кут повороту площини поляризації прямо пропорційний товщині шару і концентрації C оптично активної речовини, тобто

$$\varphi = [\alpha]lC.$$

Коефіцієнт α характеризує природу розчиненої речовини і називається сталою обертання. Він залежить від температури і довжини хвилі (обертальна дисперсія). Для чистих рідин і газів формула аналогічна, але замість C треба брати густину рідини або газу. Ж. Біо експериментально встановив, що обертальна здатність приблизно обернено пропорційна квадрату довжини хвилі, тобто

$$[\alpha]_p \sim 1/\lambda^2.$$

Така залежність більш-менш справджується для хвиль, далеких від ліній поглинання. Для більшості речовин із зростан-

ням довжини хвилі α зменшується, але ϵ речовини, для яких обертальна дисперсія аномальна (із зростанням λ зростає і α).

Явище обертання площини поляризації знаходить практичне застосування при вимірюванні концентрації цукру в розчині. Такі вимірювання проводяться в цукровій промисловості за допомогою спеціальних приладів, що отримали назву *сахариметрів*. Схема найпростішого сахариметра представлена на рис. 1. Між двома ніколями N_1 і N_2 розташована кювета, закрита плоскопаралельними віконцями. За відсутності розчину ніколі встановлюються «на темноту», тобто так, що їх головні перетини взаємно перпендикулярні. При заповненні кювети розчином поле прояснюється. Для того, щоб знову поле зробити темним, ніколь N_2 доводиться повернути на деякий кут, який і визначає поворот площини поляризації в розчині (за умови, що він менше π).

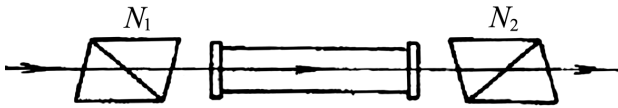


Рис. 1. Схема пристрою сахариметра

Зважаючи на те, що установка ніколів «на темноту» не може бути проведена дуже точно, вживаються інші поляризаційні пристосування.

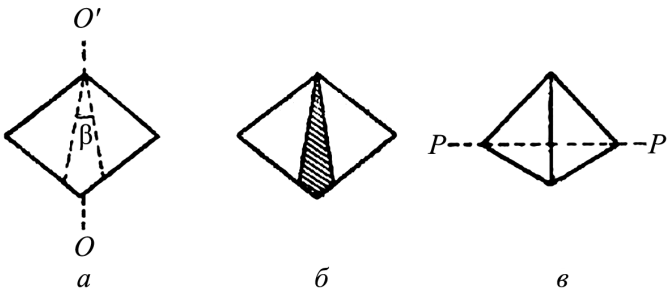


Рис. 2. Пристрій напівтіньового аналізатора

На сьогодні частіше за все працюють з так званим напівтіньовим аналізатором. Напівтіньовий аналізатор складається з призми Ніколя, яка розрізає по двох площинах, симетричних до площини головного перетину OO' , і складає між собою невеликий кут β (положення цих площин відзначено пунктирними лініями на рис. 2, а). Клиן, який лежить (заштрихований на рис. 2, б), віддаляється, і дві половинки склеюються так, що в поперечному перетині вони утворюють неправильний ромб (рис. 2, в). Кожна з половинок є самостійним аналізатором, причому головні перетини цих двох аналізаторів утворюють між собою кут β . Якщо площина поляризації PP' падаючого світла перпендикулярна до площини, по якій склеєно обидві половинки (рис. 2, в), то обидві половинки представляються однаково яскравими. При всякому іншому положенні площини поляризації одна з половинок яскравіша за іншу. Оскільки око здатне з великою точністю встановлювати рівність яскравостей двох сусідніх полів, то цим способом можна добре фіксувати положення площини поляризації PP' .

Виведення робочої формули:

$$\varphi_1 = [\alpha] l_1 C_1, \quad (1)$$

$$\varphi_2 = [\alpha] l_2 C_2. \quad (2)$$

Поділимо (1) на (2), одержимо $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{[\alpha] \cdot l_1 \cdot C_1}{[\alpha] \cdot l_2 \cdot C_2}$; тобто, якщо C_1 відомо, то робоча формула –

$$C_2 = \frac{\varphi_2 \cdot l_1 \cdot C_1}{\varphi_1 \cdot l_2}, \quad (3)$$

де φ_1 – кут повороту площини коливань поляризованого променя при проходженні по трубці з відомою концентрацією цукру, φ_2 – кут повороту площини коливань поляризованого променя, при проходженні по трубці з невідомою концентрацією цукру, l_1, l_2 – довжини першої та другої трубки, C_1, C_2 – концентрації цукру в першій та другій трубках.

Порядок виконання роботи

1. Вийняти трубку з приладу і навести окуляр зорової труби на найбільшу різкість, тобто так, щоб межа між її частинами поля була дуже помітною.
2. Обертаючи аналізатор, досягти одноколірного поля зору, причому слідкувати, щоб настання однакового забарвлення йшло зсередини, а не з країв.
3. Відмітити це положення аналізатора по кругу з точністю до нуля градусів. Це положення аналізатора називають нульовим, від нього відлічують кути обертання.
4. Помістити трубку з розчином цукру відомої концентрації в прилад. При цьому рівномірне забарвлення порушиться.
5. Повертаючи аналізатор, досягти одноколірного поля зору.
6. Відмітити це положення аналізатора по кругу. Різниця відліків положення аналізатора дорівнює кутовому обертанню, вираженому в поділках шкали, ціна якої дорівнює $1^\circ (\varphi_1)$.
7. Дослід повторити тричі.
8. Аналогічні досліді проробити з розчином цукру невідомої концентрації C_2 і знайти відповідний кут.
9. Знаючи ці кути, концентрацію розчину цукру в першій трубці $C_1 = 10\%$, її довжину l_1 та довжину l_2 , знайти концентрацію цукру в розчині C_2 з формули (3).
10. Дослід повторити тричі. Результати вимірювань та обчислень записати в звітну таблицю.
11. Знайти похибку результату.

Контрольні запитання

1. Яким способом можна одержати поляризоване світло?
2. Що називається площиною поляризації?
3. Чим відрізняється звичайний промінь від незвичайного?
4. Що таке обертання площини поляризації?
5. Який принцип роботи сахариметра?
6. Для чого користуються напівтіньовим аналізатором?
7. Як виводиться робоча формула?