

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ

Автор:

Холоімов Валерій

16 марта 2021 г.

1 Вступна частина

Мета роботи: засвоїти інтерференційний метод вимірювання довжини хвилі за допомогою біпризми Френеля.

Прилади: оптична лава, джерело світла (ртутна лампа або газовий лазер), конденсор, щілинна діафрагма, світлофільтри, біпризма Френеля, окулярний мікрометр, теодоліт.

Теоретичні відомості

Як відомо, два незалежних джерела світла майже завжди некогерентні. Тому одержати інтерференцію від них практично неможливо. Проте можна здійснити багато схем дослідів, в яких когерентні джерела створюються шляхом розділення світла від основного джерела на два пучки. Існує багато приладів, які дозволяють спостерігати інтерференцію хвиль у таких пучках. Була запропонована реалізація інтерференції за допомогою білінзи Бійє, дзеркал Ллойда, біпризми Френеля.

У роботі ми зупинимося на інтерференційній схемі з біпризмою Френеля. Біпризма являє собою дві призми з малими заломлюючими кутами (близько 30°), накладеними одна на одну. Пучок світла, який падає від щілини S , після заломлення в біпризмі розділиться на два пучки, що перекриваються. При цьому пучки поширюються так, начебто вони виходять з двох різних зображень щілини S_1 та S_2 . Оскільки джерела S_1 та S_2 когерентні, то в просторі за біпризмою можна спостерігати інтерференційну картину, локалізовану в усій області перекривання пучків. На рис.1 промені S_1C_1 та S_2C_2 обмежують область, де має місце перекривання пучків, а тому й інтерференція. Дійсно, промінь S_1C_1 – граничний для променів, які проходять через верхню половину біпризми. Те ж саме стосується променя S_2C_2 . Інтерференційна картина має вигляд світлих та темних смуг. Знайдемо зв'язок між характеристиками біпризми, умовами досліду, та властивостями інтерференційної картини. Нехай показник заломлення біпризми Френеля – n , заломлюючий кут – α , відстань від джерела до біпризми – l , довжина хвилі – λ . Знайдемо число інтерференційних смуг N та відстань між темними або світлими смугами. У певному наближенні (кут α малий) можна вважати, що джерела S та його уявні зображення розташовані в одній площині. Промінь від джерела, що нормально падає на верхню грань біпризми, відхиляється під кутом ϕ до нормалі к вихідній верхньої грані. Між кутами ϕ та α існує співвідношення:

$$n \sin \alpha = \sin \phi$$

З рис.2 можна знайти $\phi = \beta + \alpha$. Оскільки $\alpha \approx 0$, маємо:

$$n\alpha = \beta + \alpha, \beta = \alpha(n - 1)$$

Врешті, відстань між двома уявними джерелами:

$$d = 2h = 2l \tan(\beta) = 2l\alpha(n - 1)$$

Різниця ходу для деякої точки M :

$$\Delta = d \frac{x}{L + l} = \frac{2l(n - 1)\alpha x}{L + l}$$

де – відстань від точки до точки – основи перпендикуляра, опущеного на екран із середини відстані d між джерелами S_1 та S_2 .⁴ Для світлої інтерференційної смуги

виконується умова $\Delta = k\lambda$, де k – порядок інтерференції. Відстань між двома сусідніми смугами (ширина смуги) дорівнює:

$$\Delta X = \frac{\lambda(L + l)}{2l(n - 1)\alpha}$$

З рис.3 видно, що максимальна область перекривання пучків визначається відстанню між точками М і М':

$$MM' = 2X_{max} = \frac{Ld}{2l}$$

Число смуг, які можна спостерігати на екрані, буде таке:

$$N = \frac{MM'}{\Delta X} = \frac{Ld}{2l\Delta X} = \frac{4L(n - 1)^2\alpha^2}{(l + L)\lambda}$$

Головні складові рефрактометра - дві призми K та K' . Призми повернуті одна до одної діагональними поверхнями, між якими утворюється тонкий плоскопаралельний прошарк. Грань АВ верхньої призми матова і служить для освітлення розсіяним світлом рідини. Нижня, вимірююча призма K' зроблена з важкого флінту ($n > 1,7$) і має величину заломлюючого кута близьку до 60. Призма K зв'язана з шарніром і може бути відведена від призми K' . 2-3 краплі досліджуваної рідини капають на гіпотенузну грань вимірювальної призми K' і опускають на неї освітлювальну призму так, що між призмами залишається тонкий шар рідини.

Світло, розсіяне матовою поверхнею верхньої призми, проходить тонкий шар досліджуваної рідини і падає на діагональну грань вимірювальної призми під різними кутами в межах від 0 до 90. Промінь світла, кут падіння якого дорівнює 90, називається ковзним. Оскільки показник заломлення досліджуваної рідини менший за показник заломлення призми K' , то ковзний світловий пучок, заломлюючись на межі рідина-скло, піде у нижній призмі під граничним кутом заломлення β . Світло, розсіяне матовою поверхнею верхньої призми, проходить тонкий шар досліджуваної рідини і падає на діагональну грань вимірювальної призми під різними кутами в межах від 0 до 90. Промінь світла, кут падіння якого дорівнює 90, називається ковзним. Оскільки показник заломлення досліджуваної рідини менший за показник заломлення призми K' , то ковзний світловий пучок, заломлюючись на межі рідина-скло, піде у нижній призмі під граничним кутом заломлення. При всіх кутах падіння $\alpha < 90$ світлові промені заломлюються під меншими кутами, виходять з призми K' під більшими кутами до її гіпотенузи і дадуть зображення в зоровій трубі в точках фокальної площини нижче, ніж точка для променів з граничним кутом β . Таким чином, нижня половина поля зору в трубі буде світлою, а верхня - темною, оскільки паралельні промені з кутами заломлення, більшими, ніж β відсутні. Межею світла та тіні є промінь з граничним кутом.

При використанні білого світла замість різкої межі між світлою і темною частинами поля зору спостерігається райдужне, кольорове забарвлення межі внаслідок розкладання білого променя. Кольорове забарвлення межі зумовлене залежністю показників заломлення досліджуваної рідини та вимірювальної призми від довжини хвилі світла. Щоб уникнути кольорового забарвлення межі, в рефрактометрі є спеціальний компенсатор дисперсії, який встановлено перед об'єктивом зорової труби. Компенсатор складається з двох призм прямого зору – призми Амічі, які можуть обертатися навколо оптичної осі зорової труби в протилежних напрямках. Призма Амічі складається з трьох призми: двох крайніх з крону і середньої з флінту, причому вони підібрані так, щоб жовті промені проходили цю систему без відхилення. Можна встановити призми Амічі в такому положенні, що їх сумарна дисперсія в напрямку,

перпендикулярному до межі світла і тіні, компенсувала дисперсію досліджуваної рідини і вимірювальної призми. При цьому межа світла-тіні стане незабарвленою і її положення співпаде з положенням межі, яку утворює жовте світло. Тому шкала рефрактометра градується в значеннях показника заломлення n_D для довжини хвилі жовтої лінії натрію. За величиною кута повороту компенсатора можна приблизно визначити величину дисперсії досліджуваної рідини. Для цього на ручку компенсатора нанесена відповідна шкала. Якщо відомі показник заломлення призми, заломлюючий кут призми і кут, під яким спостерігається межа світла і тіні, можна розрахувати показник заломлення досліджуваної рідини. На цьому принципі заснована робота лабораторного рефрактометра. У рефрактометрі РЛ-2 на шкалі приладу вже нанесені значення показника заломлення рідин, отже необхідно візирну лінію, яку видно в окуляр зорової труби, на границю світла й тіні, і тоді ми одержимо n вимірюваної речовини.

Визначення фокусної відстані та положення головних площин товстої збірної лінзи.

Фокусну відстань товстої збірної лінзи визначають за способом Аббе (рис. 2). Нехай предмет y знаходиться на відстані $-X_1$ від головного фокуса F товстої збірної лінзи. Зображення предмета має розмір $-y'_1$

Лінійне збільшення β_1 буде:

$$\beta_1 = \frac{y'_1}{y} = -\frac{f}{X_1}$$

Якщо пересунути предмет y в положення ,То лінійне збільшення буде:

$$\beta_2 = \frac{y'_2}{y} = -\frac{f}{X_2}$$

З цих формул можна отримати вираз для фокусної відстані:

$$f = -f' = \frac{X_2 - X_1}{\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}} = \frac{\Delta y'_1 y'_2}{y(y'_2 - y'_1)}$$

Визначення фокусної відстані тонкої розсіюючої лінзи.

Визначення фокусної відстані розсіюючої лінзи ускладнюється тим, що зображення дійсних предметів одержуються уявними і не можуть бути безпосередньо виміряні. Це ускладнення можна усунути двома способами.

У першому способі додатково використовується збірна лінза. На початку досліду на оптичній лаві розміщують лише одну збірну лінзу і одержують на екрані дійсне зображення предмета A , яке слугитиме уявним предметом для розсіюючої лінзи. По лінійці оптичної лави відмічають його положення. Потім на шляху променів, що виходять із збірної лінзи, розміщують досліджувану розсіюючу лінзу. Зображення предмета переміститься тепер у більш віддалену точку A'' . Відмічаючи по лінійці оптичної лави положення A'' і координату розсіюючої лінзи C , визначають відстань $A'C$ та $A''C$ і за формулою обчислюють f' розсіюючої лінзи.

У другому способі, крім збірної лінзи, використовується ще зорова труба. Якщо зображення, що дається збіркою лінзою, співпадає з переднім фокусом розсіюючої лінзи, то після заломлення в ній промені вийдуть з лінзи паралельним пучком. Паралельність пучка можна встановити за допомогою зорової труби, настроєної на нескінченність. Знаючи положення розсіюючої лінзи, а також положення її головного фокуса, легко визначити фокусну відстань, якщо лінза тонка. Якщо розсіююча лінза товста, даний метод дозволяє визначити лише положення фокуса