

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 3-1

ВИВЧЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА

(біпризма Френеля)

Виконана студ. групи _____

Київ-2022

Лабораторна робота 3.1

Вивчення інтерференції світла

(біпризма Френеля)

Мета роботи: вивчити двопроменеву інтерференцію світла за допомогою біпризми Френеля; визначити характеристики світлофільтра – довжину хвилі у максимумі пропускання та смугу пропускання.

Короткі теоретичні відомості

Інтерференцією називається таке накладання хвиль, за якого результуюча інтенсивність не дорівнює сумі інтенсивностей, що приходять до точки накладання.

Інтерференція обумовлена принципом суперпозиції, відповідно до якого, у точці накладання двох світлових хвиль додаються світлові вектори \vec{E}_1 і \vec{E}_2 (напруженості полів), а не енергії, тому при накладанні хвиль з інтенсивностями I_1 та I_2 результуюча інтенсивність:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \langle \cos \delta \rangle, \quad (1.1)$$

де $\langle \cos \delta \rangle$ – усереднене у часі значення косинуса різниці початкових фаз коливань, що збурюються у точці накладання кожним джерелом. З цього співвідношення видно, що інтерференція можлива тільки за умови $\langle \cos \delta \rangle \neq 0$, тобто при накладанні когерентних (узгоджених) хвиль. Якщо інтенсивності $I_1 = I_2 = I_0$, то результуюча інтенсивність становитиме

$$I(\delta) = 4I_0 \cos^2(\delta/2). \quad (1.2)$$

Величина δ залежить від взаємного розташування джерел S_1 та S_2 і точки накладання P (рис.1.1):

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta, \quad (1.3)$$

де λ – довжина світлової хвилі у вакуумі, Δ – оптична різниця ходу променів. Для вакууму або повітря $\Delta = r_2 - r_1$ (рис. 1.1), тобто співпадає з геометричною різницею ходу.

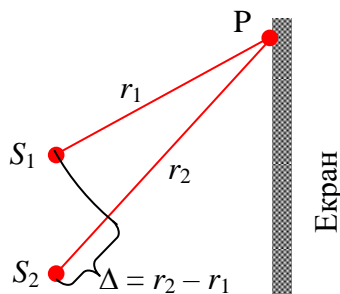


Рис. 1.1

При переміщенні точки P заданому напрямку величини Δ і δ змінюються монотонно, а інтенсивність I – періодично, тобто на екрані буде спостерігатися інтерференційна картина у вигляді світлих (максимуми) та темних (мінімуми) смуг, які чергуються. Загальні умови спостереження максимумів та мінімумів:

$$\Delta_{\max} = k\lambda; \quad \Delta_{\min} = (k + 1/2)\lambda, \quad (1.4)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$ – порядок інтерференційного максимуму. Максимум, якому відповідає $k = 0$, називається центральним.

Опис досліду з біпризмою Френеля

За своєю природою електромагнітне випромінювання (світло) незалежних природних джерел, а також різних ділянок одного джерела, некогерентне. Тому для отримання когерентних світлових пучків і спостереження інтерференції світла, випромінювання, що йде від одного джерела малих розмірів (точкове джерело), у той чи інший спосіб розділяють на два пучки, змушують пройти різні шляхи, після чого пучки накладаються один на одного. У даній роботі розділення пучка світла здійснюється за допомогою біпризми Френеля (рис. 1.2), яка являє собою дві скляні призми з малими заломними кутами ϑ , які склеєні малими основами.

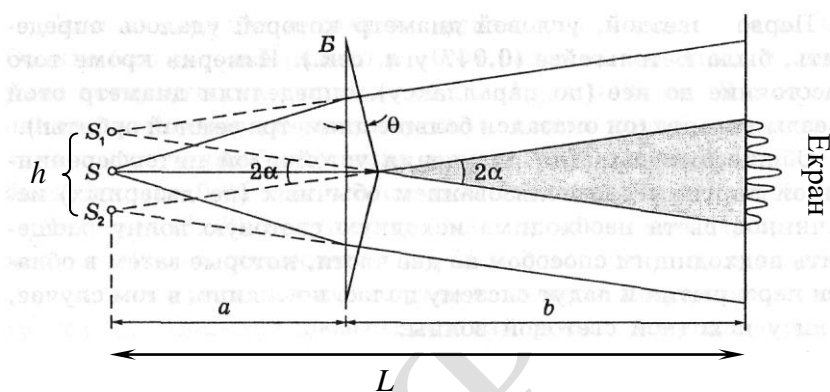


Рис. 1.2

Світло від джерела S після заломлення у біпризмі поширюється у вигляді двох когерентних пучків, що розходяться, і таких, що начебто виходять з двох точкових джерел S_1 і S_2 . При малих кутах ϑ відстань між цими джерелами

$$h = 2a(n - 1) \vartheta,$$

де a – відстань від джерела S до біпризми; n – показник заломлення біпризми (для скла $n \cong 1,3$) і $h \cong a \vartheta$.

Для точкового джерела S повністю монохроматичного світла на встановленому на відстані $L = a + b$ від нього екрані в області перекриття пучків (рис. 1.2) повинні спостерігатися інтерференційні смуги з однаковими інтенсивностями $I_{\max} = 4I_0$ і $I_{\min} = 0$ [див. (1.2) та рис. 1.3а]. Координати максимумів та мінімумів k -того порядку (k – номер смуги) залежить від довжини світлової хвилі λ , відстані до екрану L та відстані між джерелами h :

$$X_k^{\max} = \frac{k\lambda L}{h}; \quad X_k^{\min} = \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda L}{h}. \quad (1.5)$$

З умов (1.5) випливає, що ширина інтерференційної смуги $\Delta x = X_{k+1}^{\min} - X_k^{\min}$ не залежить від k , тобто смуги розміщуються еквідистантно (на однакових відстанях) і відстань між ними

$$\Delta X = \frac{\lambda L}{h}. \quad (1.6)$$

Наявність у реального джерела скінчених лінійних розмірів призводить до загального зниження контрастності інтерференційної картини, тобто до зменшення інтенсивності усіх максимумів і підвищення інтенсивності в усіх мінімумах. Тому при збільшенні лінійних розмірів джерела якість інтерференційної картини погіршується і при розмірах джерела порядку ширини смуги Δx інтерференційна картина зникає. Інша причина, що погіршує умови спостереження інтерференції, полягає у відсутності у природі повністю монохроматичних джерел світла – випромінювання завжди складається з хвиль у певному діапазоні $\Delta\lambda$.

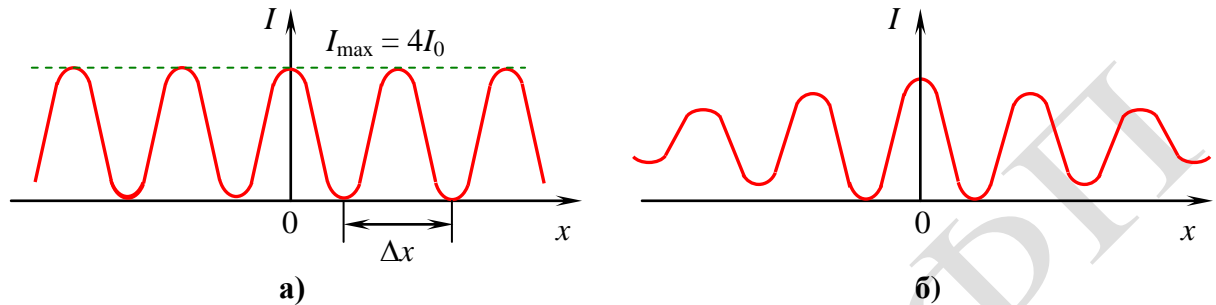


Рис. 1.3

Усе це призводить до того, що інтенсивність максимумів та контрастність картини різко зменшуються при віддаленні від центра так, як показано на рис. 1.3б. В результаті для реального джерела максимальний порядок k_{\max} смуг, що спостерігаються, не перевищує значення

$$k_{\max} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (1.7)$$

а загальна кількість смуг, які можна спостерігати на екрані

$$N = 2k_{\max} = 2 \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (1.8)$$

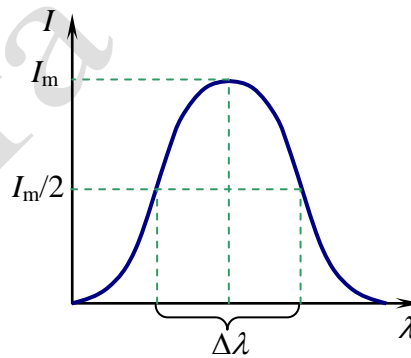


Рис. 1.4

У даній роботі світло від лампи розжарювання проходить крізь світлофільтр і падає на біпризму Френеля. Тому величини, що входять у до формул (1.7), (1.8) являють собою λ – довжина хвилі, що відповідає максимуму смуги пропускання світлофільтра, $\Delta\lambda$ – ширина смуги пропускання світлофільтра (рис. 1.4). У такому разі, вимірявши параметри інтерференційної картини, з формул (1.6) та (1.8) можна визначити характеристики λ та $\Delta\lambda$ світлофільтра, що використовується в роботі:

$$\lambda = \frac{\Delta x h}{L}, \quad (1.9)$$

$$\Delta\lambda = \frac{2\lambda}{N}. \quad (1.10)$$

Величини L , Δx , N вимірюються безпосередньо в експерименті, а відстань h визначається так, як описано нижче.

Експериментальна установка

На оптичній лаві (масивна рейка з направляючими) на рейтерах (спеціальні підставки) змонтовано усі необхідні елементи оптичної схеми (рис. 1.5).

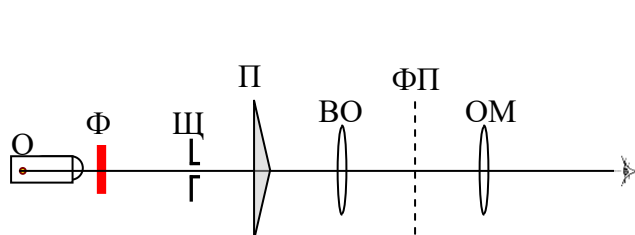


Рис. 1.5

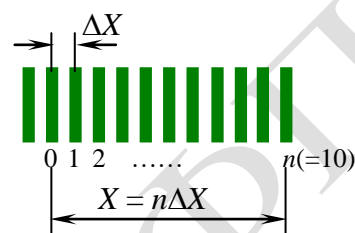


Рис. 1.6

Пучок світла від освітлювача O проходить крізь змінний світлофільтр Φ та потрапляє на щілину Ψ , яка відіграє роль вузького лінійного джерела. Світло, що виходить із щілини, направляється в центральну зону біпризми Френзеля Π . Інтерференція когерентних пучків світла, що утворюються після проходження біпризми, спостерігається за допомогою окулярного мікрометра OM , який виконує роль екрану. Сюди ж проектується зображення візирної нитки і вимірювальної шкали, що дозволяє фіксувати положення інтерференційних смуг та вимірювати їх координати.

Для юстування (налагоджування) установки всі елементи схеми можуть перемішуватись як уздовж осі системи, так і впоперек (вертикально й горизонтально).

Оскільки відстань ΔX є малою, то для підвищення точності вимірювань діють таким чином. Установлюють візирну нитку окуляра на будь-яку темну смугу у лівій частині картини (рис. 1.6) і приписують їй номер 0 . Потім вимірюють відстань між "нульовою" смугою і будь якою смугою з номером n (звичайно $n=10$). У такому випадку

$$\Delta X = \frac{X}{n}. \quad (1.11)$$

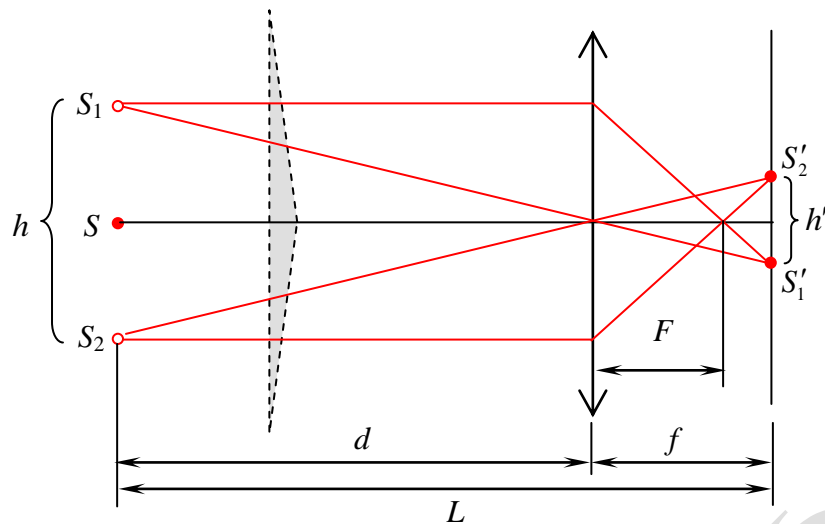


Рис. 1.7

Для визначення відстані між уявними джерелами h використовується допоміжний об'єктив ВО (збірна лінза з відомою фокусною відстанню F), який встановлюється між біпрізмою та окуляром (рис. 1.5). За допомогою об'єктива на передню фокальну площину окуляра ФП фокусується дійсне зменшене зображення уявних джерел S_1, S_2 (зображення щілини S у біпрізмі), як показано на рис. 1.7. З рисунка видно, що

$$\frac{h}{h'} = \frac{d}{f} \quad \text{та} \quad f + d = L. \quad (1.12)$$

Крім того, відстані d, f і F зв'язані формулою тонкої лінзи:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (1.13)$$

Із співвідношень (1.12) та (1.13) після елементарних перетворень маємо

$$\frac{h}{L} = \frac{(d - F)^2}{d^2 F} h'. \quad (1.14)$$

Тобто, визначивши за допомогою окулярного мікрометра величину h' і вимірявши відстані L і d , можна обчислити h .

Підставивши вирази (1.14) та (1.11) у і формулу (1.9), отримаємо робочу формулу для визначення довжини світлової хвилі:

$$\lambda = \frac{Xh'(d - F)^2}{nd^2 F}. \quad (1.15)$$

Ширина смуги світло пропускання $\Delta\lambda$ світлофільтра визначається за формулою (1.10) через візуально визначене загальне число N темних інтерференційних смуг, що спостерігаються, попередньо розрахувавши за формулою (1.15) значення λ .

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з установкою та у відповідності до інструкції на робочому місці провести юстування (налагоджування) установки. Отримати максимально чітку інтерференційну картину. Продемонструвати зображення викладачеві.

2. Для кожного зі світлофільтрів виміряти відстань x_i між "нульовою" та i -тою темною смугою, як показано на рис. 1.3. Кожне вимірювання повторити тричі, значення x_i та n занести до таблиці 1.1.

3. Підрахувати загальну кількість N темних смуг, що спостерігаються у полі зору окуляра і занести до таблиці 1.1.

4. Установити допоміжний об'єктив та отримати чітке зображення двох щілин, що світяться і виміряти відстані h' між ними. Вимірювання повторити тричі, результати занести до таблиці 1.1

5. Виміряти відстань d і занести це значення до протоколу разом з фокусною відстанню лінзи (нанесена на лінзі).

Додаткове завдання

1. Спостерігаючи інтерференційну картину в білому світлі (без світлофільтрів), порахувати загальну кількість N' темних смуг, що спостерігаються, і занести до протоколу це число (табл. 1.1).

2. Повільно збільшуючи ширину щілини, спостерігати за змінами в інтерференційній картині. Результати записати до протоколу. Визначити найбільшу ширину щілини b_{\max} , при якій ще спостерігається інтерференційна картина і занести значення b_{\max} до табл. 1.1.

3. Установити початкову ширину щілини (чітка інтерференційна картина) і, повільно наближаючи біпризму до щілини, спостерігати за змінами в інтерференційній картині (контрастність, відстань між смугами, загальна кількість смуг). Результати спостережень записати до протоколу.

Обробка результатів

1. За формулою (1.15) розрахувати довжину хвилі λ у максимумі пропускання кожного зі світлофільтрів і занести результати до таблиці 1.1.

2. За формулою (1.10) оцінити ширину $\Delta\lambda$ смуги пропускання для кожного фільтра і занести результати до табл. 1.1.

Додаткове завдання

1. За вимірним числом смуг N визначити максимальний порядок k' смуг, що спостерігаються в білому світлі та порівняти його з попередньо розрахованим значенням $k_{\text{теор}}$ (1.7). Пояснити причину розходження k' та $k_{\text{теор}}$.

Зауваження. Під час розрахунків $k_{\text{теор}}$ для меж інтервалу довжин хвиль, що відповідає білому світлу $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ прийняти значення $\lambda_2 \cong 750$ нм (червоне світло), $\lambda_1 \cong 400$ нм (фіолетове світло).

2. Пояснити результати спостережень щодо впливу ширини щілини на інтерференційну картину. Визначити відношення $b_{\max}/\Delta x$ (Δx – ширина смуги) і співставити його з теоретичним значенням.

3. Пояснити залежність параметрів інтерференційної картини, що спостерігається, від відстані між біпризмою та щілиною.

Таблиця 1.1

Світлофільтр			
N			
x_i , мм			
$x = \langle x_i \rangle$, мм			
h'_i , мм			
$h' = \langle h'_i \rangle$, мм			
F , мм			
d , мм			
λ , нм			
$\Delta\lambda$, нм			
	$N' =$		$b_{\max} =$

Контрольні запитання

1. Що називається інтерференцією світла? Виведіть формули (1.1) та (1.2).
2. Які хвилі називаються когерентними? Чому світлові хвилі, що випромінюються незалежними джерелами, некогерентні?
3. Поясніть принцип отримання когерентних світлових хвиль та наведіть конкретні приклади (окрім біпризми Френеля).
4. Чи обов'язково буде спостерігатись інтерференція під час накладання когерентних хвиль у випадку: а) звукових хвиль; б) світлових хвиль?
5. Що називається оптичною та геометричною різницею ходу променів (хвиль)?
6. Виведіть формулу (1.3). Запишіть вираз для δ через довжину хвилі λ' світлової хвилі в однорідному середовищі.
7. Виведіть умову (1.4).
8. Виведіть формули (1.5) і (1.6). Чому заломлюючі кути біпризми повинні бути дуже малими?
9. *Взявши у досліді з біпризмою Френеля $a = b = 0,5$ м та роздільну здатність ока $\Delta x_0 = 0,2$ мм, оцініть максимально припустиме значення заломлюючого кута біпризми ϑ під час спостереження інтерференції неозброєним оком та у проведеному в роботі досліді.
10. Як та чому впливає на інтерференційну картину неповна монохроматичність світла, що використовується? Виведіть співвідношення (1.7).
11. Як та чому впливають на інтерференційну картину лінійні розміри джерела світла? Отримайте вираз для максимально припустимої ширини щілини b_{\max} у досліді з біпризмою Френеля.
12. Виведіть співвідношення (1.14) та отримайте робочу формулу (1.15).

Література

1. І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. Загальний курс фізики. У 3 т. Т.3. Оптика. Квантова фізика. -К.: Техніка, 1999р.
2. Савельев І.В. Курс общей фізики. У 3 т. Т.2. §110, 119, 120,121, 122. -М.: Наука, 1978.
3. Сивухин Д.В. Общій курс фізики. Оптика. §26 - 28, 30, 33. - М.: Наука, 1980.