

Лабораторна робота No 3-11
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 хвиль, що приходять до точки накладання.

Інтерференція обумовлена принципом суперпозиції, відповідно до якого, у точці накладання двох світлових хвиль додаються світлові вектори E_1 і E_2 (напруженості полів), а не енергії, тому за накладання хвиль з інтенсивностями I_1 і I_2 результуюча інтенсивність:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \delta \rangle$$

де $\langle \cos \delta \rangle$ – усереднене у часі значення косинуса різниці початкових фаз коливань, що збуджуються 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 така:

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

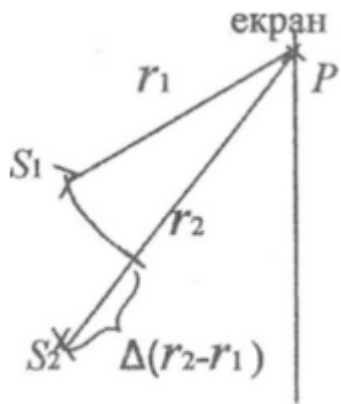
Величина δ залежить від взаємного розташування джерел S_1 і S_2 і точки накладання P :

$$\delta = (2\pi/\lambda)\Delta,$$

де λ - довжина світлової хвилі у вакуумі; Δ - оптична різниця ходу променів.

Для вакууму або повітря $\Delta = r_2 - r_1$, тобто співпадає з геометричною різницею ходу.

Для вакууму або повітря $\Delta = r_2 - r_1$ (рис. 1.1), тобто співпадає з геометричною різницею ходу.



За переміщення точки Р у заданому напрямку величини Δ і δ будуть монотонно, а інтенсивність І періодично змінюватись, тобто на екрані буде спостерігатись інтерференційна картина у вигляді світлих (максимуми) та темних (мінімуми) смуг, що чергуються. Загальні умови спостереження максимумів і мінімумів:

$$\Delta_{\max} = k \lambda$$

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

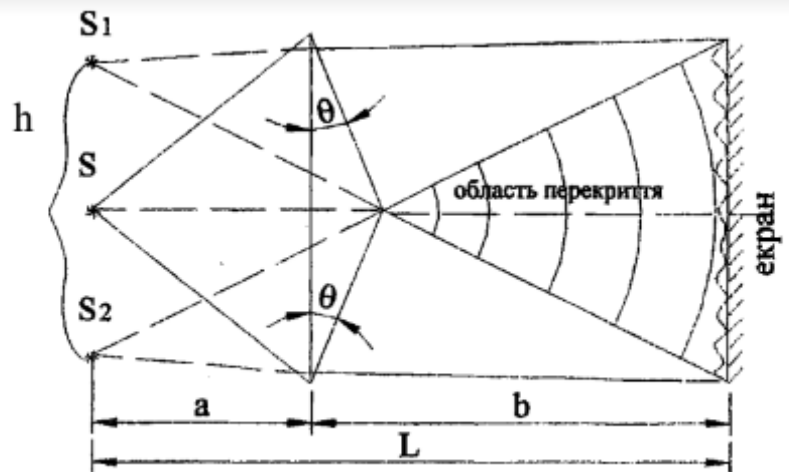
де $k = 0, 1, 2, \dots$ – порядок інтерференційного максимуму. Максимум, що відповідає $k = 0$, називається центральним.

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), у той чи інший спосіб розділяється на два пучки, що h перекриваються та поширюються у близьких напрямках. У даній роботі таке розділення здійснюється за допомогою біпризми Френеля, яка являє собою дві скляні призми (склеєні малими основами) з малими кутами заломлення θ .

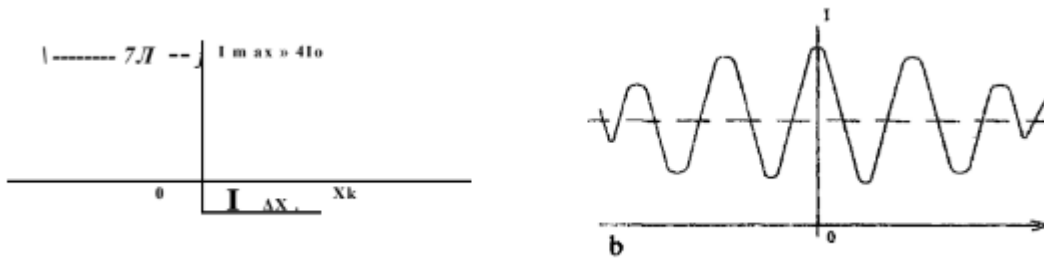
Світло від джерела S після заломлення у біпризмі поширюється у вигляді двох когерентних пучків, що розходяться, і таких, що, начебто, виходять із двох точок S1 і S2, які є уявними зображеннями джерела S. Тому можна сказати, що біпризма замість одного некогерентного джерела S дає два уявних когерентних джерела S1 і S2. При малих кутах θ відстань між джерелами S1 і S2:



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

де a - відстань від джерела S до біпризми; n - показник заломлення біпризми; для скла $n = 1.5$ і $h = a\theta$. Для точкового та повністю монохроматичного джерела S 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 $I_{\min} = 0$. Координати X_k максимумів і мінімумів залежать від порядку джерелами h :

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

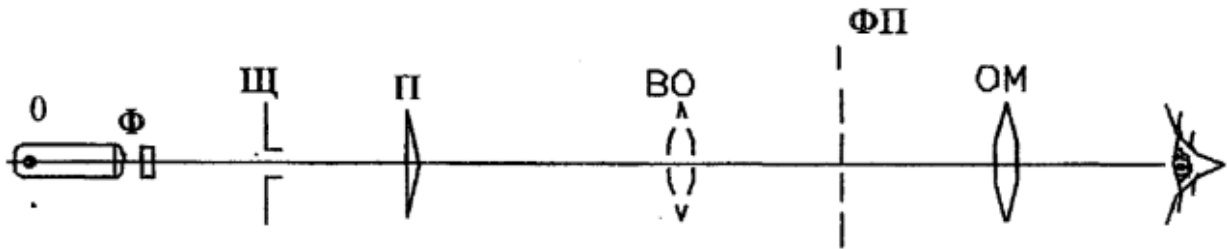


Наявність у реального джерела кінцевих лінійних розмірів призводить до загального пониження контрастності інтерференційної картини, тобто до зменшення інтенсивності усіх максимумів і підвищення інтенсивності в усіх мінімумах. Тому за збільшення лінійних розмірів джерела якість інтерференційної картини погіршується і при розмірах джерела порядку ширини смуги ΔX інтерференційні смуги взагалі зникають. Інша причина, що погіршує умови спостереження інтерференції, полягає у відсутності у природі повністю монохроматичних джерел світла, випромінювання завжди містить певний інтервал довжин хвиль $\Delta\lambda$. Це призводить до того, що інтенсивність максимумів і контрастність картини різко зменшуються з віддаленням від центру, як показано на рис.1.3,6, внаслідок чого для реального джерела максимальний порядок k_{\max} смуг, що спостерігаються, не перевищує значення.

$$k_{\max} = \lambda/\Delta\lambda,$$

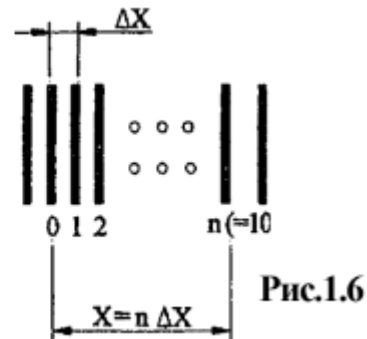
На оптичній лаві (масивна рейка з направляючими) на рейтерах (спеціальні підставки) змонтовано усі необхідні елементи оптичної схеми. Пучок світла від освітлювача O проходить через змінний світлофільтр Φ та потрапляє на щілину Σ , яка грає роль вузького лінійного джерела. Світло, що виходить із щілини, направляється в центральну зону біпризми Френеля Π . Інтерференція когерентних

пучків світла, що утворюються після проходження біпризми, спостерігається за допомогою окулярного мікрометра ОМ, який грає роль екрану. Сюди ж проектується зображення візирної нитки і вимірної шкали, що дозволяє фіксувати положення інтерференційних смуг та вимірювати їх координати.



Для юстування (налагоджування) установки усі елементи схеми можуть переміщуватись як уздовжосі системи, так і впоперек (вертикально й горизонтально). Оскільки відстань ΔX надто мала, то для підвищення точності вимірювань діють таким чином. Установлюють візирну нитку окуляра на будь-яку темну смугу у лівій частині картини і приписують їй номер 0. Потім вимірюють відстань між "нульовою" смугою і будь якою смугою з номером n (звичайно $n=10$). У такому випадку

$$\Delta X = X/n. \quad (1.11)$$



Для визначення відстані між уявними джерелами h використовується допоміжний об'єктив ВО (збірна лінза з відомою фокусною відстанню F), який установлюється між біпризмою та окуляром. За допомогою об'єктива на передню фокальну площину окуляра фокусується дійсне зменшене зображення уявних джерел і (зображення щілини S у біпризмі).

$$h/h' = d/f \quad \text{і} \quad d+f=L.$$

Формула для визначення довжини світлової хвилі:

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

Обробка результатів:

Світофільтр	Червоний	Зелений
N	14	13
$x_i, \text{мм}$	2.62	2.00
	2.73	1.91
	2.57	1.97
$x = \langle x_i \rangle, \text{мм}$	2.64	1.96
$h_i^l, \text{мм}$	0.64	0.61
	0.63	0.62
	0.64	0.61
$h^l = \langle h_i^l \rangle, \text{мм}$	0.64	0.61
$F, \text{мм}$	145.00	145.00
$d, \text{мм}$	642.88	642.88
$\lambda, \text{нм}$	699	495
$\Delta\lambda, \text{нм}$	99.8	76.2

$$\lambda = \frac{Xh^l(d-F)^2}{nd^2F} = \frac{2.64 \times 0.64(642.88 - 145.00)^2}{10 \times 642.88^2 \times 145.00} = 699$$

$$\lambda = \frac{Xh^l(d-F)^2}{nd^2F} = \frac{1.96 \times 0.61(642.88 - 145.00)^2}{10 \times 642.88^2 \times 145.00} = 495$$

$$\Delta\lambda = \frac{2\lambda}{N} = \frac{2 \times 0.000699}{14} = 99.8$$

$$\Delta\lambda = 76.2$$

Висновок:

У цій лабораторній роботі ми вивчали інтерференцію світла, користуючись біпризмою Френеля. Основна ідея полягала у тому, щоб з'ясувати, як світлові хвилі взаємодіють одна з одною, створюючи певні візерунки інтерференції. Також ми визначили характеристики світлофільтра, зокрема довжину хвилі в максимумі пропускання та смугу пропускання. Цей дослід дозволив нам глибше зрозуміти, як працює двопроменева інтерференція, і яке значення мають параметри світла в цьому процесі.