

Лабораторна робота № 5.58

Вивчення явища інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля

Мета роботи: ознайомлення з інтерференційною картиною, що отримується за допомогою біпризми Френеля та визначення довжини світлової хвилі.

Прилади: оптична лава, освітлювач, щілина з регульованою шириною, біпризма Френеля, відліковий мікроскоп, екран.

Коротка теорія

З погляду класичної електродинаміки світло являє собою електромагнітні хвилі. Прямим підтвердженням хвильової природи світла може бути **інтерференція** – явище накладання кількох хвиль, у якому в одних точках простору відбувається підсилення, а інших – ослаблення інтенсивності світла.

Необхідною умовою інтерференції хвиль є їх **когерентність** (узгодженість у часі). Когерентними називаються джерела, що випромінюють хвилі однакової частоти зі стабільною різницею фаз і площинами коливань світлового вектора E , що збігаються (остання вимога не є істотною при інтерференції природного світла).

Природні джерела світла не є когерентними. Їх випромінювання є накладанням величезної кількості не узгоджених між собою хвильових пакетів (цугів хвиль) окремих атомів.

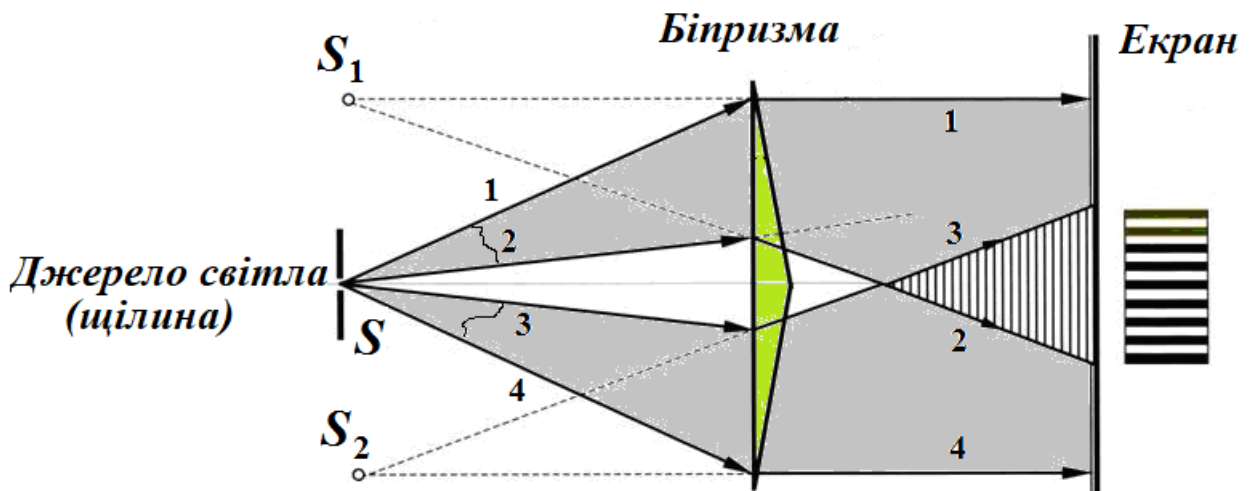


Рис.1.

Однак спостерігати інтерференцію світла від некогерентних джерел можна. Для цього використовується **спеціальний прийом** – вихідний пучок поділяють на два (рис.1). Хоча в кожному з цих пучків фази хвильових пакетів безперервно хаотично змінюються, ці зміни будуть однаковими для обох пучків, оскільки вони є частинами однієї хвилі.

Якщо ці пучки знову звести спільно, то можна спостерігати стійку інтерференційну картину (за умови, що різниця ходу між пучками не перевищує довжину окремого цугу хвиль).

Одним із способів отримання таких когерентних джерел є метод біпризи Френеля. **Біпрізма** являє собою дві складені своїми підставами призми з дуже малими заломлюючими кутами (рис.1). Практично вона виготовляється з одного шматка скла.

Схема установки отримання інтерференційної картини з допомогою біпризи Френеля показана на рис. 1. Джерелом світла служить вузька щілина S , розташована паралельно ребру тупого кута біпризи і освітлювана монохроматичним світлом від освітлювача. Від щілини S промені падають на обидві половини біпризи та заломлюються в ній.

В результаті заломлення променів утворюються два когерентних світлових пучка, обмежених променями 1 і 2 і променями 3 і 4, які начебто виходять із **уявних джерел** S_1 і S_2 .

За біпрізмою є область простору, в якій світлові пучки, заломлені верхньою та нижньою половинами біпризи, накладаються, утворюючи зону інтерференції (на рис. 1 ця область заштрихована).

На екрані буде видно інтерференційну картину. При використанні монохроматичного світла (зеленого, червоного або іншого кольору) картина має вигляд світлих і темних прямолінійних смуг відповідного кольору, що чергуються.

При падінні на біпрізму білого світла смуги мають райдужне забарвлення. Утворення інтерференційної картини пояснює рис.2.

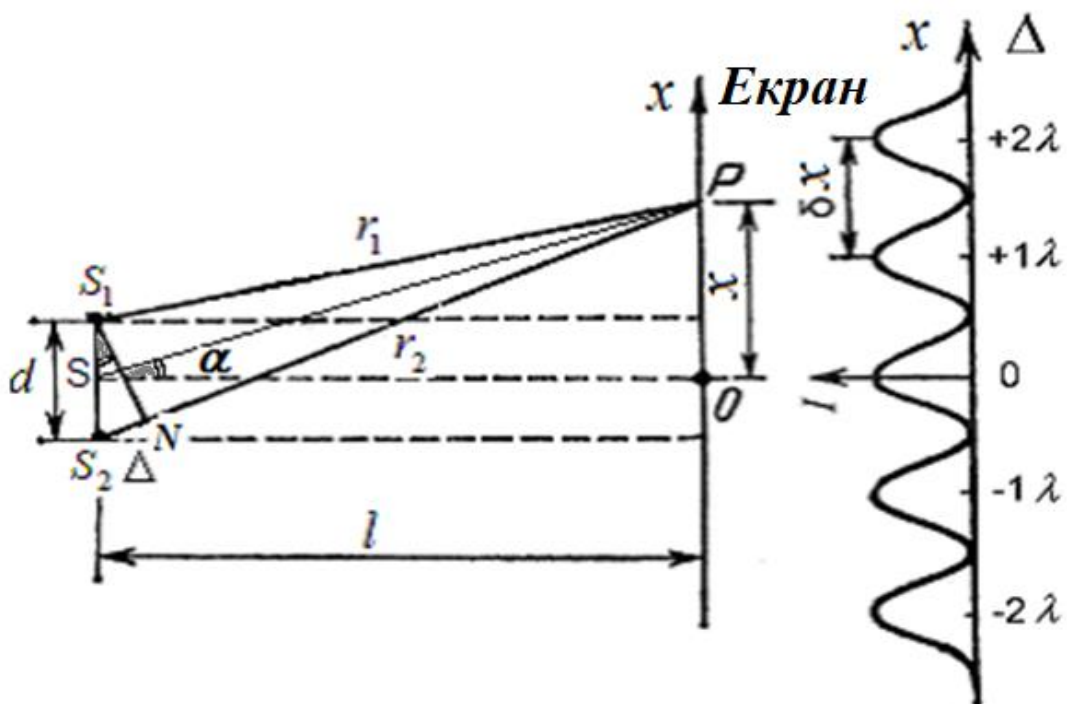


Рис. 2.

Результат додавання коливань у довільній точці P екрана визначається різницею ходу $\Delta = r_2 - r_1$ хвиль, що приходять у P з S_1 і S_2 (рис.2). Її можна визначити, знаючи відстань x від точки O на перпендикулярі до середини відрізка

$S_1 S_2$.

Виразимо різницю ходу Δ хвиль, що приходять у точку спостереження P , через кут α між віссю і напрямком на точку P і відстань d між джерелами (рис. 2). Вважатимемо, що $d \ll l$. Тоді за малих α різницю ходу можна знайти, опускаючи з S_1 перпендикуляр S_1N на пряму S_2P :

Кути α , відмічені на рисунку, є рівними як кути із взаємно перпендикулярними сторонами. Оскільки кути α малі, то $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$. З рис. 2 видно, що

$$\sin \alpha = \frac{\Delta}{d}, \quad \text{і} \quad \text{tg } \alpha = \frac{x}{l}.$$

Тоді

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{x}{l},$$

звідки

$$\Delta = \frac{xd}{l}. \quad (1)$$

Якщо Δ дорівнює цілому числу довжин хвиль λ , то коливання в точці P посилюють один одного;

$$\Delta = \pm k \lambda, \quad (2)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$ – порядок інтерференційного максимуму.

Об'єднуючи (1) і (2), отримуємо для координати x максимальної освітленості (смуги):

$$x_k = \pm \frac{\lambda l}{d} k. \quad (3)$$

Знаки плюс та мінус вказують на симетричне розташування інтерференційних смуг щодо центрального максимуму.

У правій частині рис. 2 зображено графік розподілу інтенсивності I світла (освітленості) на екрані. У точці O , відстані до якої від джерел S_1 і S_2 однакові, хвилі посилюють одна одну, оскільки коливання поля в цій точці відбуваються в однаковій фазі. Тут буде завжди максимум освітленості.

Відстань між серединами сусідніх світлих (або темних) смуг називається **шириною інтерференційної смуги δx** . З формули (3) випливає, що ширина інтерференційних смуг залежить від довжини хвилі:

$$\delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda l}{d}.$$

Визначивши експериментально δx , l та d , можна розрахувати λ :

$$\lambda = \frac{d}{l} \delta x. \quad (4)$$

Використовуючи закони геометричної оптики, можна отримати іншу, більш зручну (робочу) формулу для визначення світлової хвилі

$$\lambda = 0,01164 \cdot \frac{a \cdot \delta x}{l} \quad (5)$$

(тут відстань d між уявними джерелами замінена на відстань a від щілини до біпризми, див. рис. 3).

Отже, для визначення довжини світлової хвилі необхідно виміряти:

- ширину інтерференційної лінії δx ;
- відстань a від щілини до біпризми;
- відстань l від щілини до екрана.

Опис експериментальної установки

Експериментальна установка монтується на оптичній лаві (рис. 3), забезпеченій метровою лінійкою з ціною поділу 1 мм. Усі деталі встановлюються в рейтерах (тримачах), мають покажчики для відліку їх положення на лаві.

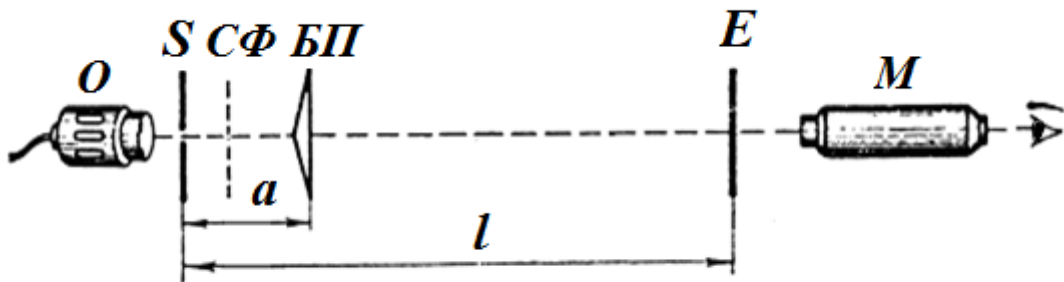


Рис. 3

На рис. 3: O - освітлювач, S - щілина, $СФ$ - світлофільтр, виготовлений, наприклад, з кольорового скла, $БП$ - біпризма Френеля, $Е$ - матовий екран, $М$ - відліковий мікроскоп.

Біпризму $БП$ встановлюють на відстані 20-30 см від щілини S , а мікроскоп $М$ – на відстані 60-70 см від біпризми. Всі частини установки - вікно освітлювача, середина щілини, біпризма і відліковий мікроскоп - мають бути на одній висоті (на одній оптичній осі). Екран встановлюється матовою стороною до мікроскопа.

Світло, що пройшло через світлофільтр, вважають монохроматичним.

Порядок виконання роботи

1. Біпризму $БП$ встановлюють на лаві так, щоб ребро її тупого кута було суворо паралельно щілині S . Для цього, не використовуючи мікроскоп, дивляться крізь біпризму на щілину. Повертаючи оправу біпризми навколо оптичної осі, домагаються необхідної паралельності (мають бути видними дві паралельні щілини - уявні джерела). Відстань між біпризмою і щілиною під час досліду залишається сталою.

2. Спочатку мікроскоп наближають майже впритул до біпризми *БП*. Переміщуючи потім мікроскоп вздовж лави від біпризми, спочатку бачать світлу смугу, а потім інтерференційну картину в білому світлі у вигляді пофарбованих смуг. Наводять мікроскоп на виразну картину інтерференції та закріплюють його. Якщо картина недостатньо виразна, злегка повертають (не припиняючи спостереження) оправу біпризми; контраст картини залежить і від ширини щілини.

3. Ставлять перед мікроскопом екран *E* матовою стороною до мікроскопа і, переміщаючи його, домагаються різкого зображення матової поверхні в полі зору мікроскопа. Вимірюють відстані *a* від щілини до біпризми і *l* від щілини до екрана.

4. Екран прибирають і вводять перед щілиною *S* світлофільтр *СФ* обертанням гвинта.

5. За допомогою мікроскопа визначають ширину δx інтерференційної смуги. Для цього вимірюють відстань (у найменших поділах шкали мікроскопа) між досить віддаленими темними смугами, як це показано на рис. 4. Поділяють цю відстань на число світлих смуг, що лежать між ними, і множать на ціну поділу мікроскопа при заданому положенні тубуса мікроскопа

$$\delta x = N \varepsilon / m. \quad (6)$$

Ціна поділу для різного положення тубуса вказана на самому мікроскопі.

6. Дослід повторюють за різної довжини тубуса мікроскопа (різна ціна поділу) не менше трьох разів.

7. Вводять перед щілиною світлофільтр іншого кольору і повторюють вимірювання п.п. 5 та 6.

8. За формулою (5) знаходять довжини хвиль світла, що пропускається світлофільтрами.

9. Результати вимірювань та обчислень заносять до таблиці.

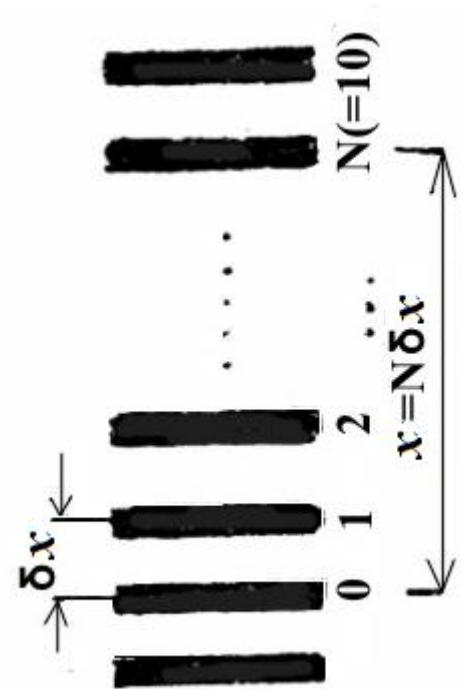


Рис. 4.

Таблиця

Світло фільтр	Номер досліду	<i>N</i>	ε	δx	<i>a</i> ,	<i>l</i> ,	λ_i	$\langle \lambda \rangle$	$\Delta \lambda_i$	$\Delta \lambda$	<i>E</i> %
Червоний	1										
	2										
	3										
Зелений	1										
	2										
	3										

10. Величини $\Delta \lambda$ та *E* % обчислюються за стандартною процедурою статистичної обробки даних експерименту (для зручності процедура наведена у додатку).

Остаточний результат записують у вигляді

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda \text{ (мкм)} \quad \text{при } \alpha =$$

Контрольні питання

1. У чому полягає явище інтерференції світла?
2. Які джерела світла називаються когерентними?
3. Що являє собою біпризма Френеля і яке її призначення? Побудуйте хід світлових променів у досліді з біпризмою Френеля
4. Запишіть умови посилення та ослаблення світла під час інтерференції. Визначте, що буде спостерігатися на екрані при різниці ходу хвиль $\Delta = 2,205 \text{ мкм}$ і $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$.
5. Що називається шириною інтерференційної смуги і як вона експериментально визначається?
6. Чим відрізнялася б інтерференційна картина, отримана в даній роботі з використанням світлофільтра, від картини, отриманої в білому світі?
7. Визначити відстань між уявними джерелами в досліді з біпризмою Френеля, якщо відстань між темними смугами на екрані дорівнює 3 мм , а відстань від уявних джерел до екрана 2 м . довжина світлової хвилі освітлювача $0,6 \text{ мкм}$.

Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. У 3 т. Т.3: Оптика. Квантова фізика. Навчальний посібник для студентів вищих технічних та педагогічних закладів освіти – К.; "Техніка", 2006, -520 с
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є).. – Львів. – "Бескід Біт". – 2002.
3. Гаркуша І.П., Курінний В.П. Фізика. Навчальний посібник у 7 частинах. Ч. 5. - Хвильова оптика. - Д. НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. - 58 с. -

ДОДАТОК

Методика обробки експерименту

1. Проводять n незалежних дослідів та визначають n значень шуканої величини $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

2. Розраховують середнє арифметичне значення шуканої величини:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

3. Розраховують відхилення кожного результату від середнього значення:

$$\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle .$$

4. Визначають стандартне відхилення середнього

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \dots}{n(n-1)}} .$$

5. Задають довірчу ймовірність α . Зазвичай довірчу ймовірність вважають рівною $0,90$; $0,95$; $0,98$; $0,99$. За вибраним значенням довірчої ймовірності α і для виконаної кількості вимірювань n за таблицею визначають коефіцієнт Стьюдента $t_{\alpha, n}$ (Таблиця є в кожній лабораторії).

6. Обчислюють напівширину довірчого інтервалу (**абсолютну похибку середнього**)

$$\Delta \langle x \rangle = t_{\alpha, n} S_{\langle x \rangle} .$$

7. Визначають відносну похибку

$$E = \frac{\Delta \langle x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% .$$

8. Остаточний результат вимірювання записують у вигляді:

$$x = (\langle x \rangle \pm \Delta \langle x \rangle) \text{ одиниць виміру, при } \alpha = \dots$$

Склав І.П.Гаркуша