

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, гелій-неоновий лазер, щілина з регульованою шириною, біпризма Френеля, збірна лінза, 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 накладенням величезної кількості не узгоджених між собою хвильових пакетів (цугів хвиль) окремих атомів.

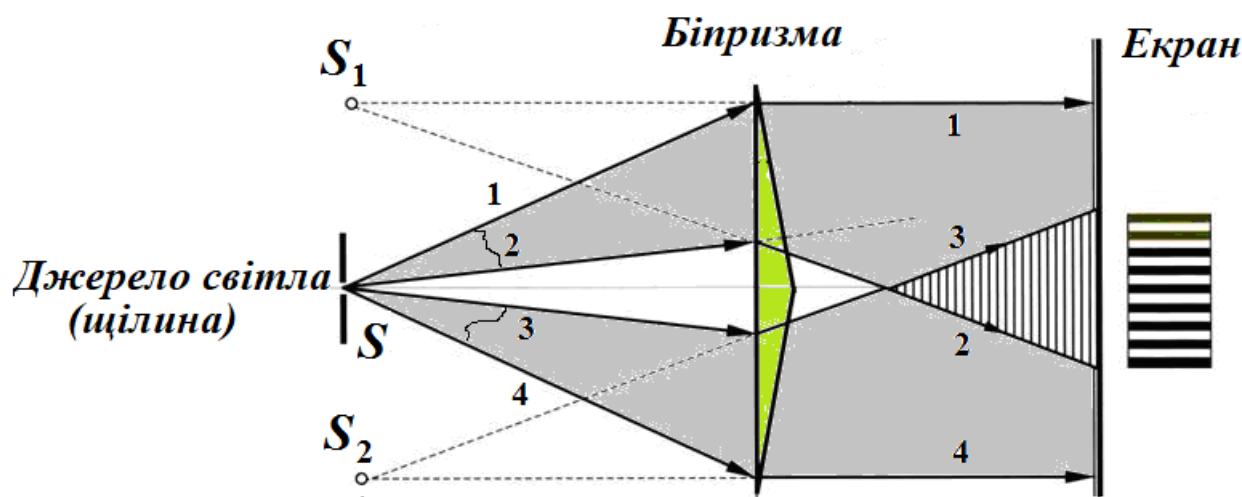


Рис.1.

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 біпризми Френеля. **Біпризма** 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 біпризми Френеля показана на рис. 1. Джерелом світла служить вузька щілина S , розташована паралельно ребру тупого кута біпризми і освітлювана монохроматичним світлом від освітлювача. Від щілини S промені падають на обидві половини біпризми 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 біпризмою є область простору, в якій світлові пучки, заломлені верхньою та нижньою половинами біпризми, накладаються, утворюючи зону інтерференції (на рис. 1 ця область заштрихована).

На екрані буде видно інтерференційну картину. При використанні монохроматичного світла He-Ne лазера картина має вигляд світлих і темних прямолінійних смуг червоного кольору, що чергуються.

Утворення інтерференційної картини пояснює рис.2.

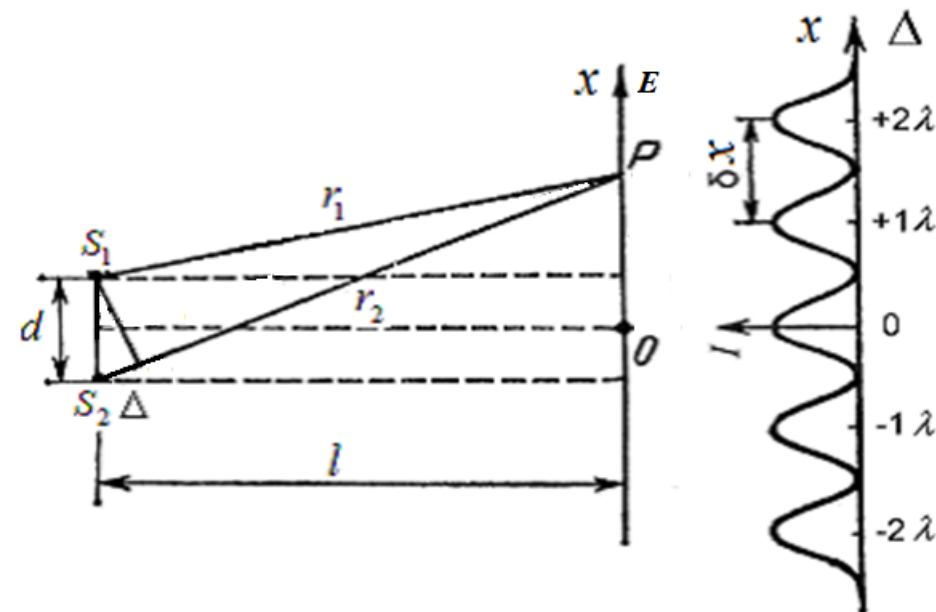


Рис. 2.

Якщо різниця ходу Δ хвиль, що приходять в точку спостереження P , дорівнює нулю або цілому числу довжин хвиль λ , то коливання в точці P підсилюють одне одного;

У правій частині рис. 2 зображено графік розподілу освітленості на екрані. У центрі екрана в точці O , відстані до якої від джерел S_1 і S_2 однакові, хвилі, що приходять, завжди посилюють одна одну, оскільки коли-

вання поля у цій точці відбуваються в однаковій фазі. Тут буде завжди максимум освітленості.

Відстань між серединами сусідніх світлих (або темних) смуг називається **шириною інтерференційної смуги δx** .

У даній лабораторній роботі для отримання інтерференційної картини використовується біпризма Френеля і гелій-неоновий лазер (рис. 3).

За біпризмою по ходу променя поміщають короткофокусну збірну лінзу (рис. 3, 4). Вона грає допоміжну роль - проектує на екран у збільшеному масштабі картину інтерференції.

Переміщуючи лінзу у напрямку до екрану, спостерігають за зміною інтерференційної картини на екрані. Домагаються появи на екрані вертикальних темних (або світлих) чітко видних інтерференційних смуг та фіксують положення лінзи

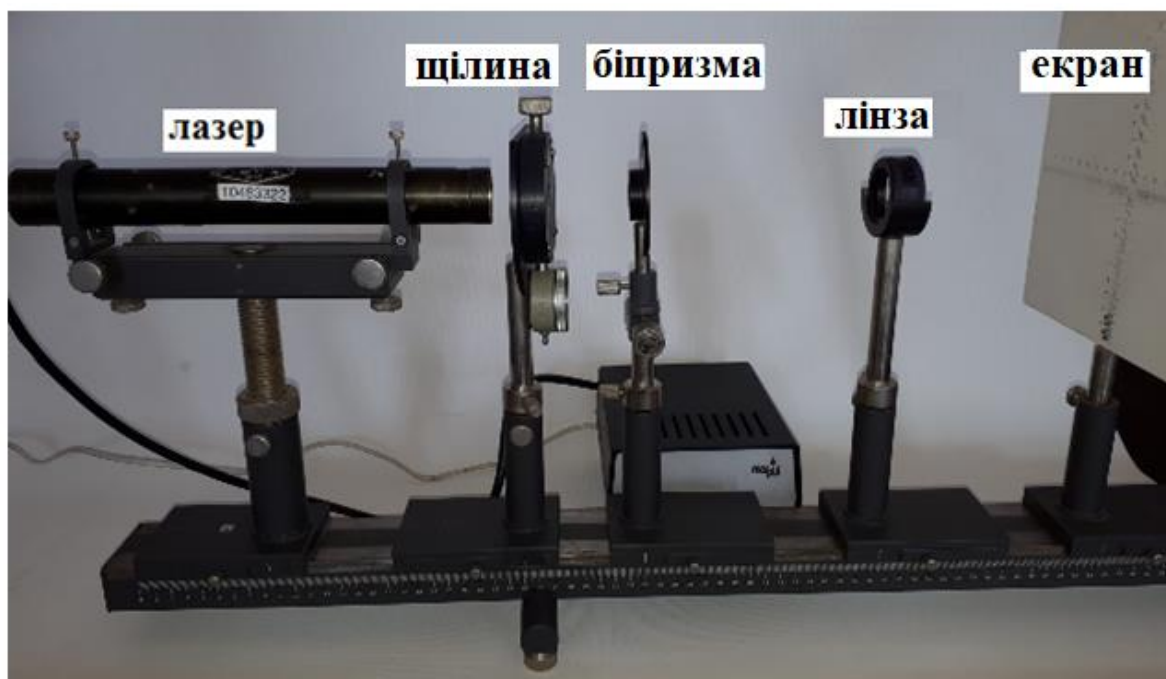


Рис. 3.

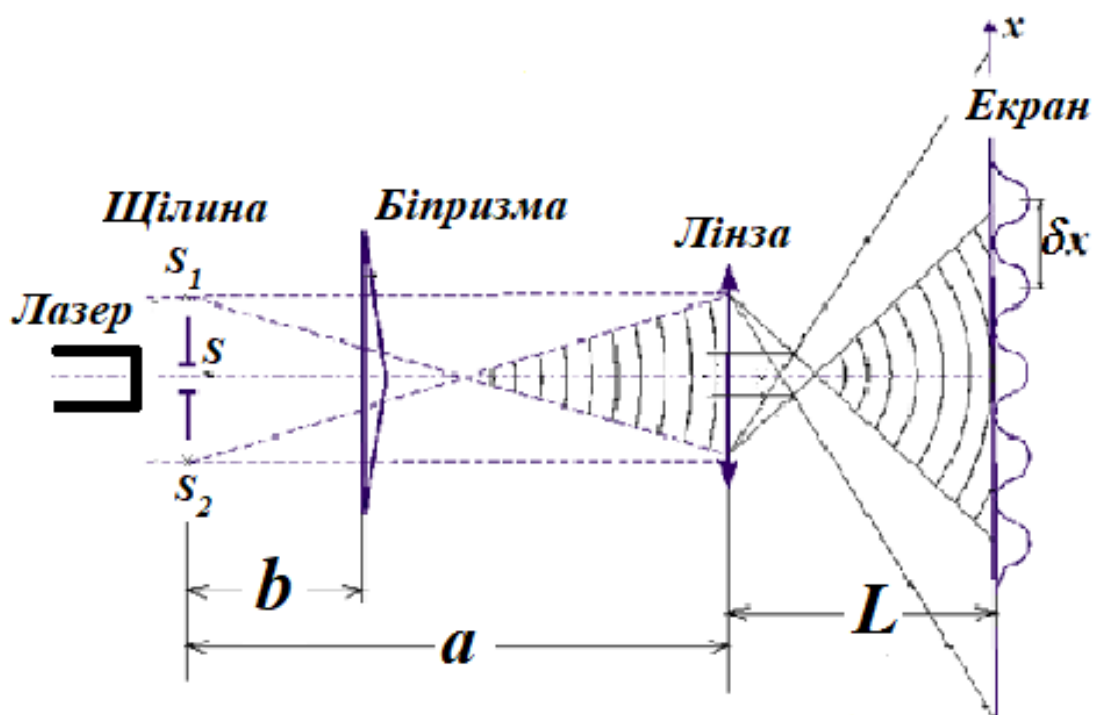


Рис. 4.

Шля-
досить

хом
гро-

міздких розрахунків, які тут не наводяться, використовуючи формулу лінзи, закони заломлення світла та числові значення параметрів біпризми, можна отримати **робочу формулу** для визначення довжини хвилі світла, що випромінюється лазером:

$$\lambda = 0,0121 \frac{b \cdot \delta x}{L \cdot \left(\frac{a}{3,5} - 1\right) - a} \text{ (см)} \quad (5)$$

Усі величини у розрахунковій формулі підставляють у сантиметрах, відповідь отримують також у сантиметрах.

З формули (5) видно, що для визначення довжини хвилі потрібно виміряти:

- ширину інтерференційної смуги δx ;
- відстань від щілини до лінзи a ;
- відстань від щілини до біпризми b ;
- відстань від лінзи до екрана L (див. рис. 4).

Порядок виконання роботи

Експериментальна установка збирається на оптичній лаві, як показано на рис. 3. Елементи оптичної системи встановлюються в рейтерах, що мають покажчики для відліку їх положення на лаві.

1. Біпризму встановлюють на лаві так, щоб ребро її тупого кута було паралельно щілині, звернене до неї і знаходилося на відстані $b \approx 5 - 10$ см від неї.

2. Лінзу розміщують на відстані $L \approx 35 - 40$ см від екрану і $a \approx 45 - 50$ см від щілини. Переміщуючи елементи системи, домагаються найкращої інтерференційної картини.

3. Визначають ширину δx інтерференційної смуги. Для цього вимірюють відстань X між досить віддаленими одна від одної смугами. Поділяють цю відстань на число смуг N , що укладаються на цьому відрізку: $\delta x = X / N$.

4. Записують у таблицю відстані b , a та L . За формулою (5) розраховують довжину світлової хвилі λ .

5. Результати вимірювань та обчислень заносять до таблиці.

6. Величину $\Delta\lambda$ обчислюють за стандартною процедурою статистичної обробки експериментальних даних (див. Додаток).

10. Остаточний результат записують як

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta\lambda \text{ при } \alpha =$$

Таблиця

№	t , см	L , см	a , см	N	X , см	Δx , см	λ_i	$\langle \lambda \rangle$	$\Delta\lambda_i$	$\Delta\lambda$	$E\%$
1											
2											
3											
4											
5											

Контрольні питання

1. У чому полягає явище інтерференції світлових хвиль?
2. Які хвилі називаються когерентними?
3. Що являє собою біпризма Френеля і яке її призначення?
4. Назвіть умови посилення та ослаблення світла під час інтерференції. Визначте, що буде спостерігатися в тих точках екрану, для яких різниця ходу хвиль $\Delta = 2, 205$ мкм при довжині хвилі $\lambda = 0,63$ мкм.
5. Що називається шириною інтерференційної смуги?
6. Чим відрізнялася б інтерференційна картина, отримана в даній роботі з використанням лазера, від картини, отриманої в білому світі?

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 Стюдента $t_{\alpha, n}$ (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:

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

Склали О.І.Лютій, І.П.Гаркуша