

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

---

# ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ

---

*Автор:*

Холоімов Валерій

23 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  $30^\circ$ ), 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 –  $\alpha$ , відстань від джерела до біпризми –  $l$ , довжина хвилі –  $\lambda$ . Знайдемо число інтерференційних смуг  $N$  та відстань між темними або світлими смугами. У певному наближенні (кут  $\alpha$  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  $\phi$  до нормалі к вихідній верхньої грані. Між кутами  $\phi$  та  $\alpha$  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  $S_2$ .<sup>4</sup> 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:

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

### ***Порядок виконання роботи***

Для визначення  $\Delta X$  та відстані між уявними джерелами  $S_1$  та  $S_2$  використовують окулярний мікрометр і теодоліт.

До початку виконання вимірювання необхідно правильно встановити всі прилади.

Для визначення довжини хвилі, яку пропускає світлофільтр, можна скористатися наступними формулами:

$$\Delta X = \frac{\lambda(L+l)}{d}$$

Звідси:

$$\lambda = \frac{d * \Delta X}{L+l}$$

Для визначення  $\frac{d}{L+l}$  використовують теодоліт. З вимірів теодоліту:

$$\frac{d}{L+l} = 2tg\frac{\phi}{2} \approx \phi$$

У цьому разі формулу для довжини хвилі можна записати наступним так:

$$\lambda = \phi\Delta X$$

Для визначення кута  $\alpha$  можна скористатися формулою:

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

$$N = \frac{L(L+l)\phi}{2l\Delta X}$$

## 2 Практична частина

### *Отримані результати з теодоліту*

Результати вимірів теодоліту				
Ψ1	Ψ2	ΔΨ	ΔΨ сер	ΔΨ сер рад
338° 33'	338° 30'	3'	3' 5"	0,00085
338° 33'	338° 30'	3'		
338° 31'	338° 27' 30"	3' 30"		
338° 31'	338° 28'	3'		
338° 30'	338° 27' 30"	2' 30"		
338° 32'	338° 28' 30"	3' 30"		

### *Визначення середньої ширини смуги*

Визначення середньої ширини смуги			
N	X	ΔX	ΔX сер
0	30,25		0,96
2	32,12	0,935	
3	33,07	0,95	
5	35,05	0,99	
7	37	0,975	

### *Визначення довжини хвилі*

Робоча формула:

$$\lambda = \psi \Delta X$$

Довжина хвилі		
ΔX	Ψ	λ
0,00096	0,00085	8,16E-07

### *Визначення кута біпризми Френеля*

Робоча формула:

$$\alpha = \frac{(L + l)\psi}{2l\Delta X}$$

Визначення кута біпризми				
L	l	n	Ψ	α
2,038	0,572	1,5	0,00085	0,002

### *Визначення загальної кількості смуг*

Робоча формула:

$$N = L\alpha = \frac{L(L + l)\psi}{2l\Delta X}$$

Визначення кількості смуг				
L	l	Ψ	ΔX	N
2,038	0,572	0,00085	0,00096	41

## 2.1 Порівняння отриманих результатів з теоретичними даними

У ході лабораторної роботи, нами були отримані значення для величин, що ми можемо порівняти з теоретичними:

1.  $\lambda = 8.16 \cdot 10^{-7}$  нм
2.  $N = 41$  - загальна кількість смужок

Результат, отриманий нами при спостереженні смужок в оптичний прилад дає наступні результати:  $N = 53$ . Теоретичне відхилення отриманого нами результату:  $\epsilon = \frac{53-41}{53} = 22\%$ . З теоретичних даних ми знаємо, що довжина світлової хвилі варіюється від приблизно 700 нм до 400 нм. Таким чином, отриманий нами результат не потрапляє у теоретичний проміжок. Знайдемо похибку вимірювання для довжини хвилі.

**Похибку у роботі обчислюємо наступним чином:**

1. Обчислюємо стандартну похибку за формулою  $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - x^2}{n(n-1)}}$
2. Обчислюємо випадкову похибку  $\Delta x = t(\alpha, n) S_x$ ,  $t(\alpha, n)$  - коефіцієнт Стюдента.
3.  $\Delta x_{instr} = 10''$
4.  $\Delta x = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta x_{instr})^2}$
5.  $F = F_{ser} \pm \Delta F$

## 2.2 Отримані результати для фокусної відстані збиральної лінзи:

Довжина хвилі  $\lambda = 816 \pm 144$  нм

Відносна похибка для довжини хвилі:  $\epsilon = \frac{144}{816} = 17\%$

## 3 Висновок

З урахуванням похибки, отриманий нами результат потрапляє у теоретичний проміжок значень для довжини хвилі. У роботі ми дослідили інтерференційну картину для біпризми Френеля, експериментально визначили заломлюючий кут призми та довжину хвилі. Відносна похибка для довжини хвилі, а також теоретичне відхилення для довжини смужок знаходяться у межах 20%. Отримані відповідні значення:

1.  $\lambda = 816 \pm 144$  нм
2.  $\alpha = 0.002$