

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



Кафедра фізики

Методичні вказівки до лабораторної роботи
«Вивчення дифракції світла від однієї щілини»

для бакалаврів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»

Рекомендовано до видання засіданням кафедри фізики
(протокол №10 від 14.03.2012 р.)

Дніпропетровськ
Державний ВНЗ «НГУ»
2012

Фізика. Методичні вказівки (українською та російською мовами) до лабораторної роботи «Вивчення дифракції світла від однієї щілини» для бакалаврів напрямку підготовки 6.050503 та других напрямів. – Автори: Л.М. Глушко, Л.І. Лютий, М.Д. Солопов – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 10 с.

Автори:

Л.М. Глушко, канд. фізмат. наук, доц.

О.І. Лютий, канд. фізмат, доц.

М.Д. Солопов, старший викладач.

Затверджено до видання учбово-методичним управлінням ДВНЗ «НГУ» за поданням методичної комісії напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування» (протокол № 3 від 2.04.2012 р.).

Методичні матеріали призначено для самостійної роботи студентів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування» та других напрямів під час підготовки до модульних контролів за результатами практичних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Наведено теоретичні відомості про явище дифракції світла, про спосіб визначення кутів дифракції; досліджена залежність кутової напівширини центрального максимуму від ширини щілини; вивчено розподіл інтенсивності в дифракційній картині.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри фізики проф. І.П. Гаркуша.

Друкується у редакційній обробці укладачів.

Вивчення дифракції світла від однієї щілини

Ціль роботи: визначення кутів дифракції й залежності кутової напівширини центрального максимуму від ширини щілини; вивчення розподілу інтенсивності в дифракційній картині.

Дифракцією називається сукупність явищ, які спостерігаються при поширенні світла в середовищі з різкими неоднорідностями й пов'язаних з відхиленнями від законів геометричної оптики. Дифракція, зокрема, приводить до огинання світловими хвилями перешкод, порівнянних з довжиною хвилі, і проникненню світла в область геометричної тіні.

Розрізняють дифракцію в збіжних променях (дифракція Френеля) і дифракцію в паралельних променях (дифракція Фраунгофера). Принципова схема спостереження дифракції Фраунгофера від однієї щілини показана на рис.1. Паралельний пучок монохроматичного світла 1 від гелій-неонового лазера падає

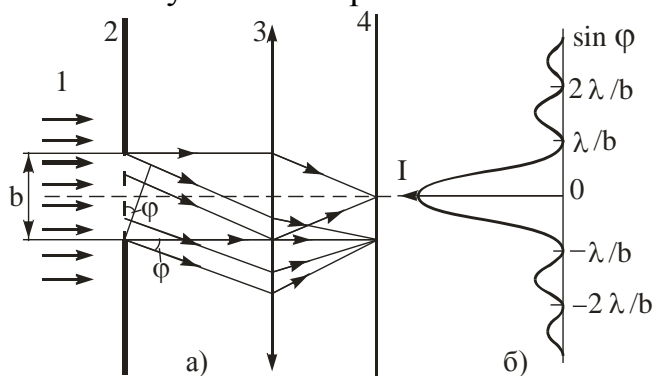


Рис.1

нормально на щілину 2 шириною b . Відповідно до принципу Гюйгенса кожна точка площини щілини, до якої дійшло світлове коливання, стає джерелом вторинних хвиль, що коливаються в одній фазі. Якби при проходженні світла через щілину дотримувався закон прямолінійного поширення світла, то на екрані 4 який розташований у фокальній площині збиральної лінзи 3, вийшло б зображення джерела світла. Внаслідок же дифракції на вузькій щілині утворюються вторинні хвилі, які поширюються в усі сторони під різними кутами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_k$. Дифраговані пучки когерентні й можуть інтерферувати при накладенні. Лінза 3 (коліматор) збирає паралельні промені, що відповідають різним кутам, і на екрані 4 спостерігається результат інтерференції у вигляді періодичного розподілу інтенсивності I ($I = f(\sin \varphi)$).

Аналітичний розрахунок інтенсивності світла, що поширюється по різних напрямках за щілиною, приводить до співвідношення

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2[(b\pi/\lambda)\sin \varphi]}{[(b\pi/\lambda)\sin \varphi]^2}, \quad (1)$$

де I_0 – інтенсивність світла, що падає на щілину, λ – довжина світлової хвилі.

Інтенсивність світла I_{φ} , як видно з (1), обертається в нуль при кутах φ , які задовольняють умові $(b\pi/\lambda)\sin \varphi = k\pi$, де $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, тобто для

$$\sin \varphi = k\lambda/b. \quad (2)$$

У відповідних точках на екрані (рис. 1б) інтенсивність світла мінімальна. У проміжках між мінімумами розташовуються максимуми функції (1). Найбільшу інтенсивність має центральний або нульовий максимум (для нього $k = 0$). Йому

відповідає $\approx 84\%$ усього світлового потоку, що виходить із щілини. Кутова напівширина центрального максимуму δ , як впливає з (2) і рис. 1б, дорівнює

$$\delta = \lambda/b. \quad (3)$$

Наступні максимуми розташовані симетрично стосовно центрального й по інтенсивності значно уступають йому. Щоб визначити кути дифракції φ для цих максимумів, потрібно взяти похідну $dI_\varphi/d\varphi$ від (1), дорівняти її нулю й знайти корні отриманого алгебраїчного рівняння. Вони мають наступні значення

$$\sin \varphi_1 = 1,43\lambda/b; \sin \varphi_2 = 2,46\lambda/b; \sin \varphi_3 = 3,47\lambda/b, \dots, \sin \varphi_k = (k + 1/2)\lambda/b. \quad (4)$$

Підставляючи послідовно (4) в (1), одержимо значення відносних інтенсивностей у всіх дифракційних максимумах.

$$I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : \dots = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008 : \dots \quad (5)$$

З (2) видно, що кутова відстань ($\sin \varphi$) від центра дифракційної картини до мінімумів зростає зі зменшенням ширини щілини b . Внаслідок цього дифракційна картина розширюється, центральний максимум заповнює майже весь екран. Освітленість екрана зменшується від центра до країв поступово. Таким чином, зі зменшенням ширини щілини b освітленість прагне стати рівномірною по всьому екрані.

При збільшенні ж ширини щілини положення перших мінімумів наближається до центра картини, так що центральний максимум стає все вужче й вужче. При цьому, як впливає з (1), *відносна* інтенсивність максимумів залишається незмінною. Абсолютна ж інтенсивність максимумів зростає, тому що пропорційно площині щілини зростає потік енергії, що проходить через щілину. При дуже широкій щілині (у порівнянні з λ) у центрі одержуємо зображення лінійного джерела світла.

Взагалі при дуже малій кутовій відстані між двома світними точками їх зображення, які одержують за допомогою якого-небудь оптичного приладу, накладаються одне на одне й дають одну світну пляму. Отже, дві дуже близькі точки не будуть сприйматися приладом роздільно або, як говорять, не будуть розрізнятися приладом. Тому, яке б не було велике по розмірах зображення, на ньому не будуть видні відповідні деталі. Кутова напівширина центрального дифракційного максимуму δ являє найменшу кутову відстань, при якій вони ще розрізняються оптичним приладом. Вона безпосередньо пов'язана з роздільною силою оптичного інструмента

Як показують розрахунки, роздільна сила об'єктива (мікроскопа, телескопа й ін.) дорівнює

$$R = 1/\delta_{i\alpha} = D/1,22\lambda, \quad (6)$$

де D – діаметр об'єктива.

Дифракцією світла пояснюється цілий ряд природних явищ, таких як райдуга (дифракція на крапельках дощу, туману й ін.), райдужні кільця в мрячну погоду навколо Місяця (гало), ліхтарів й ін..

Дифракцію Фраунгофера використовують для визначення з високим ступенем точності діаметрів дрібних (кілька мікрометрів) часток у тому випадку, якщо універсальні засоби (мікроскоп, проектор, контактні прилади й ін.) дають

похибки, порівнянні з розмірами цих часток.

Опис експериментальної установки

Прилади й приладдя: оптична лавка, гелій-неоновий лазер із джерелом живлення, щілина регульованої ширини, рейтери, фоторезистор, пристрій для виміру фотоструму, матовий екран зі шкалами.

При використанні газового лазера в якості джерела світла оптична схема спрощується порівняно з рис.1. Схема експериментальної установки показана на рис.2. Оптична лавка 1 являє собою станину довжиною 1200 мм, на якій закріплюються в потрібному порядку окремі елементи оптичної схеми. Уздовж лавки нанесена міліметрова шкала для відліку положення рейтерів. Рейтери слугують для встановлення на лавці складових одиниць установки (щілини, екрана й ін.). Утримувач лазера являє собою пристрій для кріплення лазера на лавці і переміщення лазерного променя відносно оптичної осі при юстуванні установки. Екран 5 призначений для спостереження й виміру зображень дифракційної картини. На матовій поверхні екрана нанесені вертикальна й горизонтальна шкали з ціною поділки 1 мм.

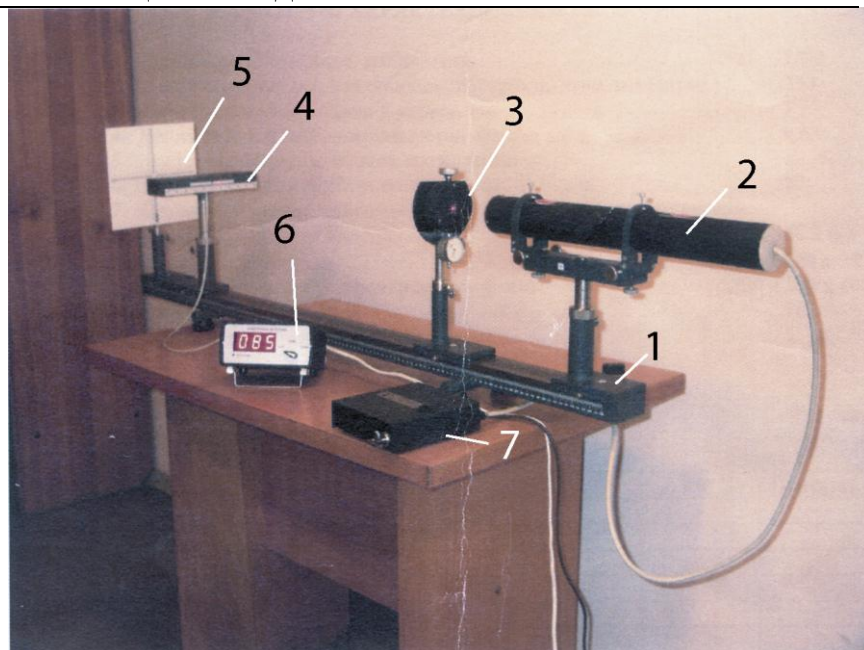


Рис.2. Схема експериментальної установки.

- 1 - оптична лавка;
- 2 - лазер гелій - неоновий з утримувачем;
- 3 - щілина регульована;
- 4 - фоторезистор;
- 5 - матовий екран з вертикальною й горизонтальною шкалами;
- 6 - прилад для реєстрації фотоструму;
- 7 - джерело живлення лазера.

Прилад для виміру фотоструму 6 складається із цифрового вимірювального пристрою з перемикальними діапазонами і джерела живлення. До приладу приєднується фоторезистор 4, що дозволяє робити виміри фотоструму при різних освітленостях. Регульована щілина 3 дозволяє міняти її ширину в межах від 0 до 4 мм. Вона закріплена в стійці з екраном і встановлюється в рейтер. Відстань від площини щілини до осі стійки 20 мм. Фоторезистор 4 кріпиться на кронштейні, що може переміщатися за допомогою гвинтового механізму на відстань 90 мм в обидва боки від осі. Він закритий вузьким екраном з прорізом. Під екраном розміщена шкала для відліку його положення. Для обмеження ходу лазерного променя потрібно на краю лавки обов'язково встановити екран.

Завдання 1. Визначення кутів дифракції й напівширини центрального максимуму.

1. Юстують промінь лазера за допомогою екрана. Для цього:

- присувають екран до вихідного вікна лазера й за допомогою гайки на стійці його утримувача сполучають промінь із горизонтальною шкалою екрана;
- за допомогою гвинтів для горизонтального юстування сполучають промінь із вертикальною шкалою (промінь при цьому повинен потрапити в центр квадрата, що знаходиться на початку координат обох шкал);
- відсувають екран на край лави й за допомогою тих же гвинтів знову встановлюють промінь у центр квадрата;
- пересуваючи екран від краю лави до лазера домагаються, щоб промінь не переміщався щодо центра квадрата (при необхідності зробити додаткове юстування тими ж гвинтами).

2. Встановлюють на оптичній лаві щілину перед лазером на відстані (20 ÷ 30)см.

Щілина - досить тонкий інструмент, з яким потрібно поводитися ніжно. Розкривається вона обертанням гвинта у верхній її частині **по годинній стрілці**. Матовий екран поміщають наприкінці лави. На ньому одержують виразну дифракційну картину. Для цього поперечними переміщеннями щілини домагаються, щоб промінь лазера перекривав її симетрично.

3. Задають ширину щілини порядку 0,03 мм (три найменших поділки) і спостерігають на екрані дифракційну картину у вигляді максимумів і мінімумів (світлих і темних смуг).

4. Відраховують по шкалі положення трьох-п'яти симетричних максимумів $a_{k,n}$, $a_{k,l}$ і мінімумів $a'_{k,n}$, $a'_{k,l}$ (праворуч і ліворуч від центрального), вимірюють відстань l між щілиною і екраном й обчислюють кути дифракції (у радіанах) по формулах

$$\varphi_{\max} = \frac{(a_{k,n} - a_{k,l})/2}{l}; \quad \varphi_{\min} = \frac{(a'_{k,n} - a'_{k,l})/2}{l}. \quad (7)$$

(при малих кутах $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi \approx \varphi$).

5. Повторюють виміри по п.п. 3,4 при інших значеннях ширини щілини (не менш трьох) $b = (0,03 \div 0,1)$ мм.

6. Обчислюють кутову напівширину центрального максимуму

$$\delta = (a'_{1,n} - a'_{1,l})/2l \text{ при всіх значеннях ширини щілини.}$$

7. Результати вимірів і обчислень заносять у таблицю 1.

Таблиця 1

k	l	b	$a_{k,i}$	$a_{k,e}$	φ_{\max}	$a'_{k,i}$	$a'_{k,e}$	φ_{\min}	δ	
1										
2										
3										
:										
1										
2										

8. Будують графік залежності $\delta = f(b)$.

Завдання 2. Вивчення розподілу інтенсивності світла в дифракційній картині від однієї щілини.

1. Встановлюють на оптичній лаві фоторезистор.
2. Переміщують його перпендикулярно до оптичної осі і наводять послідовно на всі максимуми дифракційної картини по обидві сторони від центрального максимуму. Знімають щораз відлік по цифровому приладу. Повторюють виміри при переміщенні фоторезистора у вихідне положення. Обчислюють середнє значення інтенсивності $\langle I \rangle$ (інтенсивність світла пропорційна силі струму). Отримані дані заносять у таблицю 2.

Таблиця 2

k	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
I_{\rightarrow}											
I_{\leftarrow}											
$\langle I \rangle$											

3. Будують графік залежності інтенсивності від порядку дифракційного максимуму $\langle I \rangle = f(k)$.

Контрольні питання

1. Що називається дифракцією світла?
2. У чому полягає відмінність дифракції Френеля від дифракції Фраунгофера?
3. Поясніть схему спостереження дифракції Фраунгофера від однієї щілини.
4. Як змінюється дифракційна картина на екрані при зменшенні (збільшенні) ширини щілини?
5. Як визначити кутову напівширину центрального максимуму?
6. Які особливості має оптична схема роботи при використанні газового лазера?

Література

1. Лабораторний практикум по фізиці під ред. А.С. Ахматова. - М., «Вища школа», 1980.
2. Трофімова Т.І. Курс загальної фізики. - М., „Академія”, 2005.

Укладачі Лютий О. І., Глушко Л.М. Солопов М.Д.