

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Одеська політехніка»
Кафедра фізики

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до лабораторних робіт
з розділу «ОПТИКА»
для здобувачів усіх спеціальностей
«Вивчення явища дифракції на прикладі дифракційної картини від металевої лінійки»**

Одеса 2023

**Методичні вказівки до лабораторних робіт з розділу «ОПТИКА»
для здобувачів усіх спеціальностей «Вивчення явища дифракції на прикладі
дифракційної картини від металевої лінійки» /Склали: Корнева Н.М., Богданова О.Н. –
Одеса: 2023. – На укр. мові.**

«Вивчення явища дифракції на прикладі дифракційної картини від металевої лінійки»

Метою даної лабораторної роботи є вивчення явища дифракції на прикладі дифракційної картини від металевої лінійки та вимірювання довжини хвилі червоного лазера.

Сукупність явищ, обумовлених хвильовою природою світла, які спостерігаються при його розповсюдженні в середовищі з різкою оптичною неоднорідністю, зветься дифракцією.

Кожне відхилення світлового пучка від прямолінійного напрямлення розповсюдження зветься дифракцією.

Дифракція Френеля спостерігається в збіжних пучках світла на кінцевій відстані від перешкоди неозброєним оком. Дає зображення перешкоди.

Дифракція Фраунгофера спостерігається в паралельних проміннях з використанням лінзи або ока, яке акомодоване на нескінченність, і дає зображення віддаленого джерела.

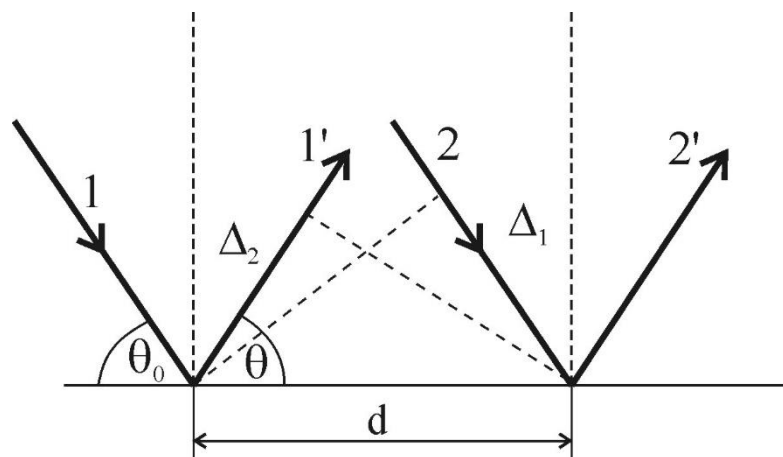
Основна задача дифракції- це розрахунок інтенсивності світла в точці спостереження.

Падіння променів на дифракційні ґратки під кутом.

Дифракційні ґратки, які звичайно використовують для ідентифікації спектрів, мають період d , який може бути порівняним з довжиною світла видимого діапазону. Для грубих решіток ($d \gg \lambda$) вивчати дифракційну картину практично неможливо тому, що кут дифракції $\varphi \sim \frac{\lambda}{d}$ є дуже малим. В цьому випадку можна використовувати ковзані промені, коли кут падіння є близьким до 90° .

Якщо плоска хвиля складає з грубою дифракційною решіткою кут ковзання θ_0 , а кут ковзання відбитого промені дорівнює θ (мал. 1), то повна різниця ходу для падаючого і відбитого промені буде дорівнювати:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = d(\cos \theta_0 - \cos \theta) \quad (1)$$



Мал. 1

Тоді умова спостереження головних максимумів буде:

$$d(\cos \theta_0 - \cos \theta_m) = m\lambda \quad (2)$$

де θ_m – кут, який відповідає головним максимумам порядку m , а $m=0, \pm 1, \pm 2 \dots$

Використовуючи відповідну тригонометричну формулу, отримаємо

$$d2 \sin \frac{(\theta_0 + \theta_m)}{2} \sin \frac{(\theta_m - \theta_0)}{2} = m\lambda \quad (3)$$

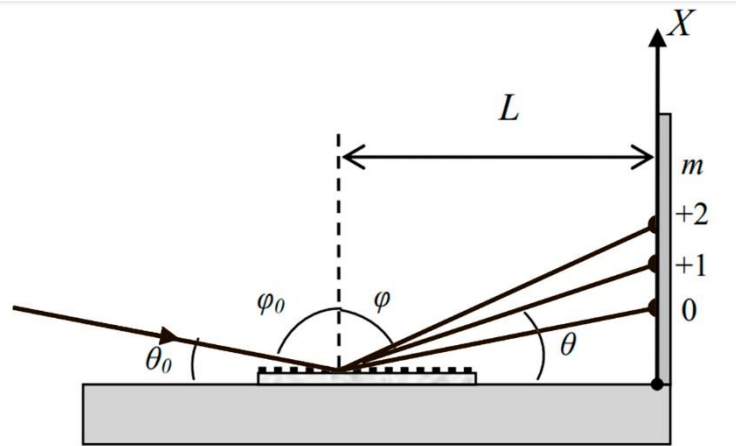
При малих кутах θ_0 і θ_m ($5-7^\circ$):

$$\frac{\theta_0 + \theta_m}{2} \approx \theta_0 \quad \text{і} \quad \frac{\theta_m - \theta_0}{2} \ll 1$$

Враховуючи той факт, що при малих кутах (менш 15°) синус кута дорівнює самому куту, отримаємо:

$$d \sin \theta_0 (\theta_m - \theta_0) = m\lambda$$

Видно, що роль ефективного періоду ґратки грає величина $d \sin \theta_0$. Ця величина може бути зроблена дуже малою. Тому ковзане падіння променів зменшує період ґратки і дозволяє отримати досить ясну дифракційну картину від грубих ґраток, наприклад, від металеві лінійки довжиною 10-20 см з міліметровими чи пів міліметровими поділами (мал.2).



Мал.2

Знайдемо залежність координати m -того порядку $X_m(m)$ від m .

При малих кутах θ_0 і θ_m

$$d2 \sin \frac{(\theta_0 + \theta_m)}{2} \sin \frac{(\theta_m - \theta_0)}{2} = 2d \frac{(\theta_m + \theta_0)(\theta_m - \theta_0)}{4} = \frac{d}{2} (\theta_m^2 - \theta_0^2) = m\lambda \quad (4)$$

Якщо відстань між точкою падіння проміння на ґратки до екрану позначити L , то координата максимуму m -порядку буде:

$$X_m = L \tan \theta_m = L\theta_m \quad (5)$$

Підставимо (5) у (4). Отримаємо залежність координати максимуму m -порядку від m :

$$X_m^2 = X_0^2 + \frac{2\lambda L^2}{d} m \quad (6)$$

Тут $X_0 = L\theta_0$ -координата максимуму нульового порядку, яка відповідає дзеркальному відбиванню від решітки.

Таким чином, якщо збудувати залежність квадрату координати X_m^2 дифракційного максимуму від його порядку m (мал.3), то по кутовому коефіцієнту $\gamma = \frac{2\lambda L^2}{d}$ лінії, що проведена крізь експериментальні точки, можна розрахувати довжину хвилі лазерного випромінювання по формулі:

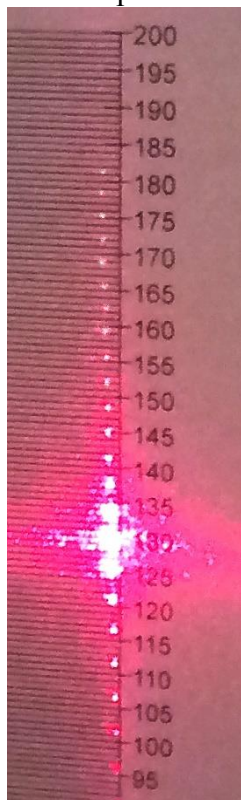
$$\lambda = \frac{\gamma d}{2L^2} \quad (7)$$

2. Обладнання

В домашніх умовах треба використовувати червоний напівпровідниковий лазер (лазерна вказівка), металеву лінійку довжиною 10-20 см з міліметровими або пів міліметровими поділами, невелике дзеркальце, камеру телефону або смартфон. Лазер і лінійку треба закріпити. Відстань від точки падіння проміння до екрану, а також відстань до максимумів дифракційної ґратки треба вимірювати ще одною лінійкою, зробленою з будь якого матеріалу.

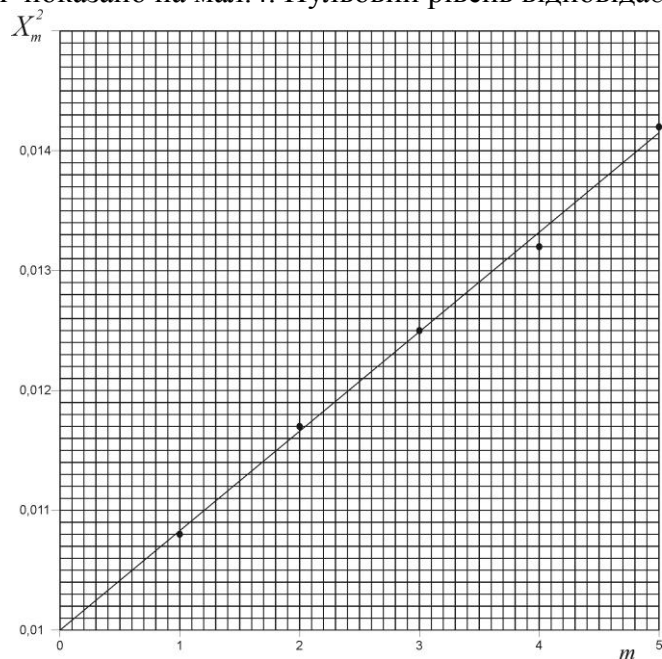
Дзеркальце може бути використовувано при юстировці оптичної системи для визначення відстані X_0 .

Робота була проведена авторами повністю в домашніх умовах. На малюнку 3 показано дифракційна картина , яка була отримана авторами.



Мал.3. На шкалі значення подані в мм.

Графік залежності квадрату координати X_m^2 дифракційного максимуму від його порядкового номеру m показано на мал.4. Нульовий рівень відповідає значенню X_0^2 .



Мал.4. Значення X_m^2 показано в m^2 . Відстань $L=0,84$ м Рівень столу відповідає 0,03 м по шкалі з малюнку 3.

Автори отримали значення для довжини хвилі червоного лазера, яке дорівнює 600 нм.

3. Експериментальна частина

Вправа 1. Визначення довжини хвилі червоного лазера по дифракційній картині від металевої лінійки.

- Зберіть експериментальну установку. Розмістити екран (білий лист). Промінь лазера повинен йти під невеликим кутом до горизонту $\theta_0 = 5-7^\circ$ в вертикальній площині, яка є перпендикулярна до екрану. Відбивання променя від металевої лінійки повинно траплятися на відстані 1-1,5 м від екрану. На екрані треба закріпити вимірювальну шкалу (наприклад, лінійку) для визначення координати дифракційних максимумів.
- Сфотографуйте установку і отриману дифракційну картину.
- Вимірюйте відстань L від точки падіння променя до екрану та період дифракційної ґратки d (в нашому випадку – це відстань між штрихами лінійки)
- Визначте координати дифракційних максимумів X_m . За початок координат треба взяти рівень стола. Результати ввести в таблицю 1.
- Побудуйте графік залежності квадрату координати дифракційного максимуму від його порядкового номеру. Графік має бути прямою з наклоном γ . По формулі (7) знайдіть значення довжини хвилі лазера і внесіть дані в таблицю 1.
- Знайти середнє значення довжини хвилі червоного лазера λ . Для $n=3$ вимірювань і надійності $P=0,9$ ($t_s=2,92$) знайти абсолютні і відносні похибки, використовуючи теорію Стьюдента

Таблиця 1.

n	L	m	X_m	X_m^2	X_0^2	d	λ	$\Delta\lambda$	$(\Delta\lambda)^2$
1									
2									
3									

Вправа 2. Визначення довжини хвилі червоного лазера по дифракційній картині від металевої лінійки при падінні проміння під іншим кутом ковзання.

- Повторити пункти 1-6 вправи 1 для іншого значення кута ковзання θ_0
- Результати ввести в таблицю 2.
- Порівняти результати вправи 1 і вправи 2. Зробити висновки.

Таблиця 2.

n	L	m	X_m	X_m^2	X_0^2	d	λ	$\Delta\lambda$	$(\Delta\lambda)^2$
1									
2									
3									

Контрольні питання

- Що зветься явищем дифракції?
- Що зветься дифракцією Френеля і Фраунгофера?
- Як отримати різницю ходу для проміння, яке падає під кутом на дифракційні ґратки, в відбитому світлі?
- Як зменшити період грубих дифракційних ґраток?

5. Що зветься довжиною хвилі світла?

Література

1. Бушок Г.Д. Курс фізики у 2-х книгах: кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – К.: Либідь, 1997, - 448 с.
2. Бушок Г.Д. Курс фізики у 2-х книгах: кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. – М.:Наука, 1999. – Т.3, - 303 с.
3. Чолпан П.П. Основи фізики. – К.: Вища школа, 1995. – 488 с.
4. Воловик П.М. Фізика для університетів. – Київ: ІРПІНЬ: Перун, 2005. – 860 с.
5. Навчальний посібник. «Оптика» для студентів усіх спеціальностей», Укл: Н. М. Корнева, М. Є. Дюбченко, О. Н. Богданова.-Одеса : ОНПУ, 2020, 45с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи « Вимірювання геометричних розмірів тіл і визначення їх об'єму і площі поверхні» Рекомендовано до видання Вченою радою ОНПУ, протокол № 4 від 26.12.2017 р.24 стор.