

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФРАКЦІЇ СВІТЛА

*Сусь Б.А.,*

*доктор пед. наук, професор,*

*Національний технічний університет України «КПІ»,*

*Шут А.М.,*

*кандидат фіз.-мат. наук, доцент,*

*Київський національний університет технологій та дизайну,*

*Шут М.І.,*

*завідувач кафедри загальної та прикладної фізики,*

*доктор фіз.-мат. наук, професор,*

*Національний педагогічний університет імені М.П.Драгоманова*

Розроблена лабораторна робота по дослідженню дифракції світла. Для визначення параметрів ґратки, які змінюються в результаті старіння, використовується лазер.

Разработана лабораторная работа по исследованию дифракции света. Для определения параметров решетки, которые изменяются в результате старения, используется лазер.

The laboratory work in the study of diffraction of light. To determine the lattice parameters that change due to aging, using laser.

**Постановка проблеми.** У лабораторних роботах з дослідження дифракції традиційно використовується гоніометр, на якому встановлюється дифракційна ґратка і зорова труба для спостереження дифрагованих променів [1, 2]. Дифракційна ґратка являє собою скляну або металеву пластинку, на якій через строго однакові інтервали нанесені паралельні штрихи. Ґратки, які використовуються в навчальних лабораторіях, виготовляються з пластмаси і є відбитками гравірованих ґраток. З метою захисту від ушкоджень вони розміщуються між двома скляними пластинками. Однак такі ґратки з часом старіють і значно змінюють свої параметри, так що визначена за допомогою дифракції довжина хвилі не співпадає з кольором світла. Тому виконання лабораторної роботи потребує градування ґраток. Ми пропонуємо простий, доступний, але в той же час досконалий, сучасний варіант установки із застосуванням лазера для спостереження і дослідження дифракційної картини.

### **Опис лабораторної роботи**

**Мета роботи:** Вивчити явище дифракції світла на дифракційній ґратці. Визначити сталу дифракційної ґратки, кутову дисперсію й роздільну здатність. Визначити довжини хвиль, які випромінює ртутна лампа.

### **1. Теоретична частина**

Основним параметром дифракційної ґратки є період  $d$  (стала ґратки) (рис.1).

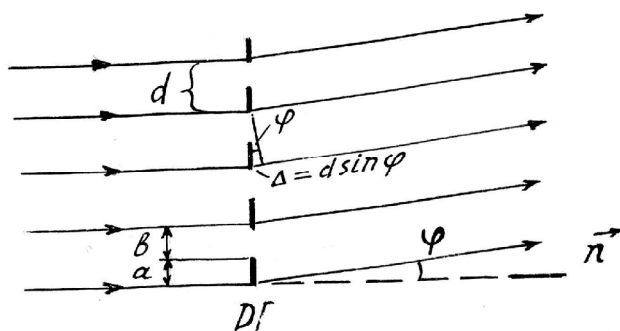
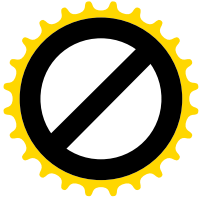
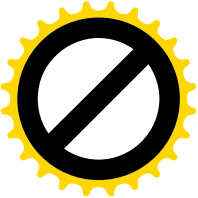


Рис.1

Розподіл інтенсивності в дифракційній картині визначається суперпозицією хвиль, які приходять у точку спостереження від різних щілин дифракційної ґратки. Інтенсивність дифрагированного світла максимальна для таких кутів  $\varphi$ , при яких коливання, які приходять від усіх щілин, перебувають в однаковій фазі, тобто різниця ходу сусідніх щілин дорівнює цілому числу довжин хвиль:

$$\Delta = m\lambda.$$

Згідно з рис.1

$$\Delta = d \sin \varphi,$$

тому

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (1)$$

де  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$  – порядок дифракційного максимуму.

Як видно з (1), кути, при яких спостерігаються світлові максимуми, залежать від довжини хвилі  $\lambda$ , тому дифракційна ґратка являє собою спектральний прилад. Біле світло при дифракції на ґратці утворюється спектр, причому фіолетові промені відхиляються менше, ніж червоні. При  $m=0$  максимуми інтенсивності для всіх довжин хвиль розміщуються при  $\varphi = 0$  і накладаються, тому при білому світлі нульовий максимум, на відміну від інших, виходить незабарвленим. Спектри першого, другого й більшого порядків розміщуються симетрично по обидва боки від нульового.

Важливими характеристиками дифракційної ґратки є кутова дисперсія й роздільна здатність.

**Кутова дисперсія**  $D$  характеризує можливість розрізнення двох близьких спектральних ліній:

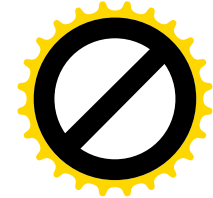
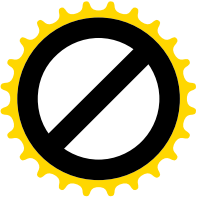
$$D = \frac{\delta \varphi}{\delta \lambda}, \quad (3)$$

де  $\delta \varphi$  – кутова відстань між лініями, які відрізняються по довжині хвилі на одиничний інтервал.

Диференціюючи обидві частини (1), одержимо:

$$d \cos \varphi \delta \varphi = |m \delta \lambda| \quad (4)$$

(з огляду на те, що  $d$  – стала ґратки, для позначення диференціала використано  $\delta$ ).



Таким чином,

$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d \cos\varphi}, \quad (5)$$

тобто дисперсія зростає при збільшенні порядку спектра  $m$ .

На практиці дисперсію ґратки визначають шляхом вимірювання кутової відстані  $\delta\varphi$  між двома близькими спектральними лініями з відомою різницею довжин хвиль  $\delta\lambda$ .

### Роздільна здатність дифракційної ґратки

Можливість розрізнення двох близьких спектральних ліній  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  залежить від їхньої ширини і кутової відстані  $\Delta\varphi$  між ними (рис. 2).

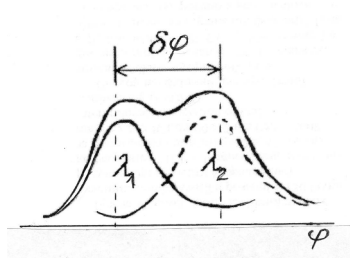


Рис. 2

Якщо у спектрі  $m$ -го порядку спостерігаються близькі лінії з довжинами хвиль  $\lambda$  і

$\lambda + \Delta\lambda$ , то кутова відстань  $\Delta\varphi$  між ними, згідно з (4), дорівнює  $\Delta\varphi \cong \frac{m\Delta\lambda}{d \cos\varphi}$ .

Роздільну здатність ґратки можна визначити, використовуючи умову Релея, відповідно до якої дві монохроматичні спектральні лінії ще розділяються, якщо головний максимум однієї лінії попадає на місце найближчого мінімуму іншої лінії.

## 2. Експериментальна частина

### Прилади та приладдя:

1. Дифракційна ґратка
2. Джерело монохроматичного випромінювання (лазер).
3. Джерело лінійчатого спектру (ртутна лампа).
4. Лінза.
5. Діафрагма (щілина).
6. Лінійка.
7. Оптична лава

### Завдання 1. Визначення періоду дифракційної ґратки

Необхідність визначення періоду дифракційної ґратки  $d$  обумовлена тим, що дифракційні ґратки, які використовуються у навчальних лабораторіях, мають значний розкид



цього параметра, через що неможливо одержати правильне значення вимірюваної довжини хвилі

Для визначення періоду дифракційної ґратки в даній роботі застосовується гелій-неоновий лазер  $L$ , який дає промінь з довжиною хвилі  $\lambda = 0.6327$  мкм.

На рис. 3 представлена схема установки.

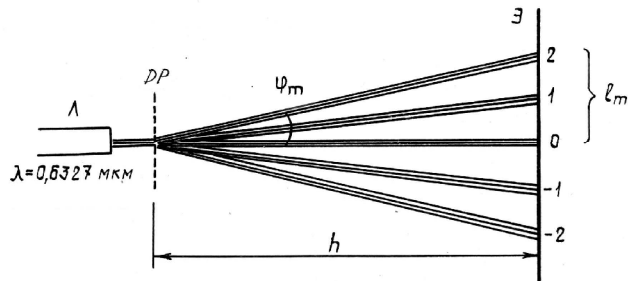


Рис. 3

Паралельний промінь лазера  $L$  направляється на дифракційну ґратку  $DP$  і на екрані  $E$  спостерігається чітка дифракційна картина з максимумами декількох порядків. Оскільки інтенсивність випромінювання лазера велика, то цю картину легко спостерігати безпосередньо. Виходячи з умови максимуму дифракційної картини (1)

можна знайти період:

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \varphi_m} \quad (7)$$

Оскільки, згідно з рис. 4

$$\sin \varphi_m = \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + h^2}} \quad (8)$$

де  $l_m$  – відстань на екрані між нульовим і  $m$ - максимумом,  $h$  – відстань між дифракційною ґраткою і екраном, то

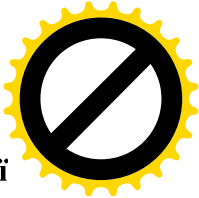
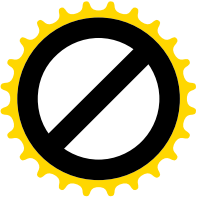
$$d = \frac{m\lambda}{l_m} \sqrt{l_m^2 + h^2} \quad (9)$$

**Порядок виконання завдання 1.**

1. Установити дифракційну ґратку на оптичній лаві згідно з рис. 4 на відстані  $h$  від екрана й виміряти цю відстань.
2. Увімкнути лазер і одержати на екрані дифракційну картину. Поміряти відстань між нульовим максимумом і максимумами при  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ .
3. Використовуючи отримані дані, за формулою (9) розрахувати період ґратки  $d$ .
4. Дані вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.

Таблиця 1

$m$	$\lambda, \text{мкм}$	$l_m, \text{м}$	$d, \text{м}$	$\Delta d, \text{м}$	$\delta, \%$
	0,6327				



## Завдання 2. Визначення довжини хвилі світла за допомогою дифракційної ґратки

У попередньому завданні за відомою довжиною хвилі лазера визначалася стала дифракційної ґратки. Тепер цю ґратку можна використовувати для вимірювання невідомої довжини хвилі світла.

Якщо випромінювання не лазерне, тобто не у вигляді паралельного променя великої інтенсивності, побачити дифракційну картину на екрані, як це описано у попередньому завданні, практично неможливо через слабку інтенсивність. Однак є можливість спостерігати всю дифракційну картину з максимумами декількох порядків, якщо наблизити око близько до ґратки, як це зображено на рис. 4

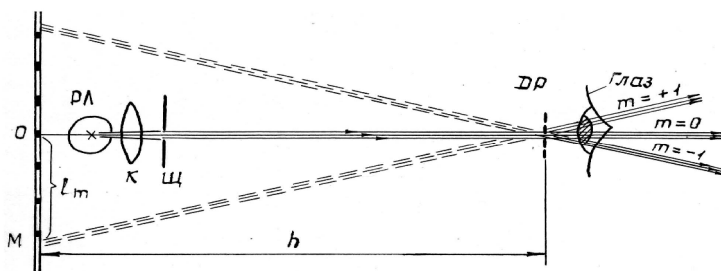


Рис. 4

У запропонованій схемі дослідження як джерело світла використовується ртутна лампа  $PL$ , що дає лінійчатий спектр (для цієї мети зручно використовувати ртутну лампу, що перебуває усередині стандартної освітлювальної лампи для вуличних ліхтарів). Світло від ртутної лампи за допомогою лінзи  $K$  і щілини  $Щ$  формує пучок, який направляє на дифракційну ґратку  $DP$ . В результаті дифракції утворюється ряд максимумів різних порядків, які попадають в око під різними кутами. Центральний максимум ( $m=0$ ) видно в напрямку щілини, а максимум порядку  $m=1$  спостерігається під деяким кутом  $\varphi_m$ . Цей пучок приходиться до ока начебто через точку  $M$  від уявного джерела. У результаті око бачить повну й чітку картину максимумів і мінімумів різних порядків. Дифракційні кути легко визначити, спостерігаючи дифракційну картину на лінійці, розташованій на відстані  $h$  від дифракційної ґратки. Виходячи з умови (1) дифракційного максимуму,

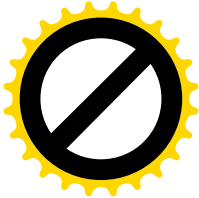
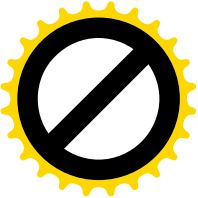
$$\lambda = \frac{d}{m} \sin \varphi_m \quad (10)$$

З рис.4 бачимо, що

$$\sin \varphi_m = \frac{OM}{MN} = \frac{OM}{\sqrt{OM^2 + ON^2}} = \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + h^2}}, \quad (11)$$

де  $l_m$  – поділки на лінійці, яким відповідають максимуми порядку  $m$ .

Вираз (10) із врахуванням (11) можемо записати:



$$\lambda = \frac{d \cdot l_m}{m \sqrt{l_m^2 + h^2}} \quad (12)$$

**Порядок виконання завдання 2.**

1. Установити щілину  $Щ$  і освітити її ртутною лампою  $РЛ$ .
2. Встановити дифракційну ґратку на відстані  $h$  від лінійки.
3. Наблизити око до ґратки і, розглядаючи дифракційну картину, визначити на лінійці розташування максимумів для різних довжин хвиль і для різних порядків спектра Дані занести в таблицю 2.
4. Розрахувати за формулою (12) довжини хвиль лінійчатого спектру ртутної лампи.
5. Порівняти отримані результати з табличними значеннями довжин хвиль спектру ртуті, дати їм оцінку (див. рис. 5).

Таблиця 2

$m$	$\lambda$ (колір)	$d, \text{м}$	$l, \text{м}$	$l_m, \text{м}$	$\lambda, \text{м}$	$\Delta\lambda, \text{м}$	$\delta, \%$
1	синій зелений жовтий						
2	синій зелений жовтий						
3	синій зелений жовтий						

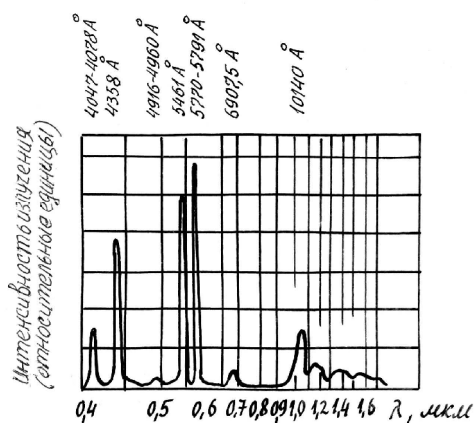
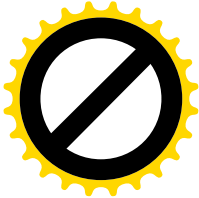
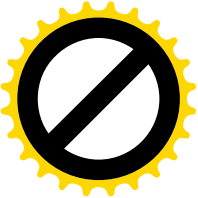


Рис. 5

**Завдання 3. Визначення кутової дисперсії дифракційної ґратки**

Для визначення кутової дисперсії  $D$  потрібно виміряти кутову відстань  $\Delta\varphi$  між двома близькими спектральними лініями  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ .

Згідно з (3)



$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} = \frac{\varphi_{m1} - \varphi_{m2}}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (13)$$

Значення  $\varphi_{m1}$  і  $\varphi_{m2}$  для двох близьких ліній (наприклад, жовтої і зеленої) можна визначити за даними  $l_m$  і  $h$  таблиці 2:

$$\varphi_m = \arcsin \sin \varphi_m, \text{ де } \sin \varphi_m = \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + h^2}} \quad (14)$$

### Порядок виконання завдання 3

1. Для двох близьких ліній з таблиці 2 за формулою (11) знайти значення  $\sin \varphi_m$ ,  $\varphi_m$  і визначити  $\Delta \varphi_m$ . За формулою (13) розрахувати кутову дисперсію  $D$  для максимумів різних порядків. Дані занести в таблицю 3.

2. У висновках відобразити, як узгоджуютьс отримані результати з формулою (5).

Таблиця 3

m	$\lambda_{1,м}$	$\lambda_{2,м}$	$\Delta\lambda,м$	$\varphi_{m1},\text{радий}$	$\varphi_{m2},\text{радий}$	$\Delta\varphi_m,\text{радий}$	$D, м^{-3}$
1							
2							

### Контрольні питання

1. У чому полягає явище дифракції світла ?
2. Пояснити дифракцію паралельних променів на одній щілині.
3. Пояснити дифракцію паралельних променів на дифракційній ґратці. Записати й пояснити умову максимума дифракційної картини.
4. Пояснити властивості дифракційної ґратки як спектрального приладу. Пояснити фізичний зміст дисперсії й роздільної здатності дифракційної ґратки.
5. Пояснити умови спостереження в даній роботі дифракційної картини й визначення періоду ґратки за допомогою лазера.
6. Пояснити умови спостереження дифракційної картини за допомогою ртутної лампи і визначення довжин хвилі випромінюваного нею світла.
7. Пояснити спосіб визначення кутової дисперсії в даній роботі.

### Список використаної літератури

1. Загальна фізика: лабораторний практикум.: Навч. посібник /. За заг. ред. І.Т. Горбачука. – К.: Вища шк., 1992. 510 с.
2. Физический практикум. Электричество и оптика / Под редакцией В.М. Ивероновой. – М. : Наука, 1983. – 815 с.