

Лабораторна робота 8

Вивчення явища дифракції світла за допомогою дифракційної решітки

Мета роботи: Визначити сталу дифракційної решітки, роздільну здатність та дисперсію дифракційної решітки, довжину хвилі монохроматичного світла.

Прилади і обладнання: дифракційна решітка, ртутна лампа, лампа розжарювання з червоним світлофільтром, гоніометр, окуляр-мікрометр, лазер, екран з міліметровою шкалою.

Опис методу та установки

Довжину хвилі монохроматичного світла можна визначити за допомогою дифракційної решітки, якщо виміряти кут φ , під яким спостерігається спектр k -го порядку:

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda. \quad (1)$$

Дифракційна решітка в найпростішому вигляді – це прозора скляна пластинка, на якій алмазним різцем нанесено на однаковій відстані штрихи однакової ширини. Прокреслені місця, що розсіюють світло, – непрозорі. Непошкоджені місця являють собою дуже вузькі дифракційні щілини. Дифракційні решітки звичайно виготовляються з кількістю щілин від 50 до 1000 на 1 мм. Копії таких решіток – репліки – дістають відбиттям на желатині або пластмасі. Дифракційні решітки з великою (50–200) кількістю штрихів на 1 мм виготовляють фотографічним способом.

Стала дифракційної решітки d пов'язана з кількістю щілин таким співвідношенням:

$$d = \frac{l}{N},$$

де N – загальна кількість щілин.

З формули дифракційної решітки (1) випливає, що для монохроматичного світла кутова відстань між сусідніми основни-

ми максимумами збільшується зі зменшенням d , а максимальний порядок, який можна спостерігати, визначається так:

$$k \leq d / \lambda.$$

Положення основних максимумів залежить від довжини хвилі λ . Якщо на решітку падає потік білого світла, то при тому самому значенні $k \neq 0$ кути дифракції φ будуть неоднаковими для різних довжин хвиль, тобто спостерігатиметься розкладання білого світла в спектр. При $k = 0$ умова максимуму задовольняється для всіх довжин хвиль, тобто спостерігається центральна світла лінія.

Спектри k -х порядків утворюються по обидва боки від центральної білої лінії ($k = 0$) на однакових відстанях, тобто з'являються кольорові лінії від фіолетової до червоної, залежно від спектрального складу випромінювання.

У цій роботі вивчається випромінювання ртутної лампи та лампи розжарювання зі світлофільтром.

Спостереження дифракційної картини та вимірювання кутів дифракції виконують за допомогою гоніометра.

Оптичну схему установки та хід променів зображено на рис. 1.

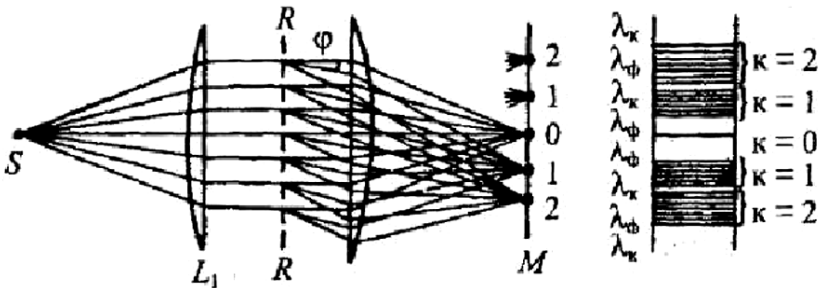


Рис. 1

Щілина гоніометра S розміщена у фокальній площині коліматорної лінзи L_1 та освітлюється джерелом випромінювання. Паралельний потік світла, який виходить із лінзи L_1 , проходить крізь розміщену на столику гоніометра дифракційну ре-

шітку RR . У полі зору зорової труби спостерігається дифракційний спектр. Спостереження повної дифракційної картини проводиться послідовним обертанням зорової труби навколо вертикальної вісі гоніометра.

Будову та принцип дії гоніометра див. у лабораторній роботі № 11.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення сталої дифракційної решітки.

Сталу дифракційної решітки можна визначити трьома методами.

Перший метод. Визначення сталої дифракційної решітки за допомогою гоніометра.

1. Юстирування гоніометра.

- Увімкнути ртутну лампу, освітити щілину.
- Обертаючи зорову трубу гоніометра, досягти різкого і чіткого зображення щілини коліматора. Фокусуючи окуляр зорової труби, досягти чіткого зображення нитки окуляра.
- На столику гоніометра розмістити дифракційну решітку так, щоб її штрихи були паралельними щілині коліматора.
- Намалювати дифракційний спектр.

2. Визначення сталої дифракційної решітки.

- Обертаючи зорову трубу (праворуч або ліворуч), сумістити відлікову нитку окуляра з нульовим максимумом та виміряти відлік n_0 у градусах (за круговою шкалою гоніометра) та мінутах (за ноніусом). Ціна поділки ноніуса – 2 мінута. Потім, обертаючи зорову трубу, сумістити нитку окуляра із зеленою лінією спектра першого порядку ліворуч та виміряти n_1 . Аналогічний відлік дістати праворуч щодо зеленої лінії у спектрі першого порядку – n_1' . Кути дифракції φ_1 і φ_1' першого порядку ліворуч і праворуч будуть дорівнювати різниці відліків, відповідно, n_1, n_0 та n_1', n_0 .
- Аналогічні вимірювання дістати для спектрів другого та третього порядків. Дані записати до табл. 1. Обчислити середнє значення кута дифракції для кожного порядку:

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_k + \varphi'_k}{2}.$$

Т а б л и ц я 1

Порядок спектра k	Відлік за гоніометром			Кут дифракції			Довжина хвилі	Стала дифракційної решітки			
	n_0	n	n'	φ	φ'	$\varphi'_{\text{ср}}$	$\lambda, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$d_{\text{ср}}, \text{ м}$	$\Delta d, \text{ м}$	$\varepsilon, \%$

- Обчислити сталу дифракційної решітки згідно з (1).
- Оцінити похибку за методом прямих вимірювань.

Другий метод. Визначення сталої дифракційної решітки за допомогою окуляра-мікрометра.

1. Юстирування лабораторного стенда.

- Увімкнути лампу розжарювання, установити червоний світлофільтр із довжиною хвилі 647 нм.
- Обертаючи окулярне кільце окуляра-мікрометра, отримати чітке зображення сітки, яка складається із перехрестя і шкали.

2. Визначення сталої дифракційної решітки.

- Обертаючи барабан окуляра-мікрометра, поставити центр перехрестя на дифракційний максимум 3-го порядку ліворуч від центрального. Цілі міліметри визначаються за шкалою всередині окуляра, а десяті і соті міліметра – за шкалою барабана. Ціна поділки барабана – 0,01 мм. Результати занести в табл. 2.

Т а б л и ц я 2

Порядок максимуму в k	Лівий відлік	Правий відлік	$Z_k, \text{ мм}$	Середнє значення $Z_{k\text{ср}}, \text{ мм}$	Фокусна відстань $f, \text{ м}$	Стала дифракційної решітки, м			
						$d, \text{ м}$	$d_{\text{ср}}, \text{ м}$	$\Delta d, \text{ м}$	$\varepsilon, \%$

- Такі самі вимірювання виконати для дифракційних максимумів 1-го, 2-го та 3-го порядків ліворуч, а також для дифракційних максимумів 1-го, 2-го і 3-го порядків праворуч від нульового (центрального).

- Визначити відстань z_k між максимумами як різницю між відліками, які відповідають максимумам 1-го, 2-го і 3-го порядків праворуч і ліворуч. Результати занести до табл. 2.
- Визначити сталу дифракційної решітки за формулою:

$$d_k = \frac{2Fk\lambda}{z_k}.$$

- Визначити середнє значення сталої дифракційної решітки і розрахувати похибку вимірювань.

Третій метод. Визначення сталої дифракційної решітки за допомогою екрана з міліметровою шкалою.

1. На оптичній лаві встановити лазер, дифракційну решітку, екран із міліметровою шкалою. Увімкнути лазер.
2. Спрямувати випромінювання лазера на дифракційну решітку й отримати на екрані дифракційну картину.
3. Виміряти на екрані за міліметровою шкалою відлік, який відповідає першому максимуму праворуч і ліворуч від нульового. Результати занести до табл. 3.

Т а б л и ц я 3

Порядок максимуму k	Лівий відлік	Правий відлік	X_k , мм	Середнє значення $X_{\text{ср}}$, мм	Відстань до екрана l , м	Стала дифракційної решітки, м			
						d , м	$d_{\text{ср}}$, м	Δd , м	ϵ , %

4. Аналогічно виміряти на екрані за міліметровою шкалою відлік, який відповідає другому і третьому максимумам праворуч і ліворуч від нульового. Результати занести до табл. 3.
5. Відстань між дифракційними максимумами визначається як сума правого і лівого відліків відповідно для максимумів кожного порядку.
6. Вимірювання виконати тричі.
7. Стала дифракційної решітки визначається за формулою:

$$d = \frac{2kl\lambda}{x_k}.$$

8. Визначити похибку вимірювань сталої дифракційної решітки. Результати занести до табл. 3.

Завдання 2. Визначення кутової дисперсії та роздільної здатності дифракційної решітки.

1. Виконати вимірювання для жовтої лінії у спектрі ртутної лампи для трьох порядків праворуч і ліворуч. Результати вимірювань записати в табл. 4.

Т а б л и ц я 4

Порядок спектра k	Відлік за гоніометром			Кут дифракції			Довжина хвилі	$\Delta\varphi$
	Π_0	Π	Π'	φ	φ'	$\varphi'_{\text{ср}}$	$\lambda_{\text{ж}}, \text{м}$	

2. За результатами табл. 1 і 4 визначити кутову відстань $\Delta\varphi$ між жовтою та зеленою спектральними лініями в трьох порядках. Маючи довжини хвиль $\lambda_{\text{ж}}$ і $\lambda_{\text{з}}$, визначити $\Delta\lambda$ і обчислити кутову дисперсію дифракційної решітки $D_{\varphi_{\ell}}$ для трьох порядків: $D_{\varphi_{\ell}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}$. Результати записати в табл. 5.

3. Обчислити $D_{\varphi_{\ell}}$ за формулою $D_{\varphi_{\ell}} = \frac{k}{d}$ та порівняти результат із результатом вимірювання D_{φ} в п. 2.

4. Виміряти лінійкою ширину дифракційної решітки l і за формулою $R = k \frac{l}{d}$ обчислити роздільну здатність дифракційної решітки R для трьох порядків. Дані вимірювань записати в табл. 5.

Т а б л и ц я 5

Порядок спектра k	Ширина дифракційної решітки $l, \text{м}$	Стала дифракційної решітки $d_{\text{ср}}, \text{м}$	Кількість штрихів решітки n	Роздільна здатність дифракційної решітки r	$D_{\varphi_{\ell}}$	D_{φ}

Контрольні запитання

1. Що називається дифракцією світла? Яка умова спостереження дифракції світла?
2. Чим відрізняються умови спостереження дифракції Френеля і дифракції Фраунгофера? У чому полягає принцип Гюйгенса – Френеля?
3. У чому полягає метод зон Френеля?
4. Вивести формулу умови максимуму для дифракції від щілини?
5. Як виготовляються дифракційні решітки? Довести формулу дифракційної решітки.
6. Що називається дисперсією дифракційної решітки, і від чого вона залежить? Вивести формулу.
7. Що називається роздільною здатністю дифракційної решітки, і від чого вона залежить? Довести формулу.
8. Визначити максимальний порядок основного максимуму (теоретично), якщо $d = 0,01$ мм, $l = 5000$ Å.
9. Чим відрізняється дифракційний спектр від дисперсійного (призматичного)?
10. Яке застосування має дифракційна решітка?
11. Як зміниться дифракційний спектр, якщо решітку з $d = 0,01$ мм замінити решіткою з $d = 0,001$ мм?
12. Намалювати дифракційний спектр білого світла.