4.4.4 Дифракційні ґрати та їхнє застосування для визначення довжини світлової хвилі

Детальний опис роботи подано в посібниках [4, (робота 17); 9, (робота 19, частина 1)]. Існує комп'ютерний симулятор цієї роботи [7, робота 2.5].

Метою роботи є визначення довжини хвилі монохроматичного світла за допомогою дифракційних ґрат і двох щілиноподібних джерел світла.

У роботі для визначення довжини хвилі монохроматичного світла застосовують дифракційний метод з використанням прозорих дифракційних ґрат. Прозорі дифракційні ґрати є скляною пластинкою, на яку нанесено велику кількість (до 2000 на 1 мм) паралельних непрозорих штрихів. Проміжки між штрихами є щілинами ґрат. Відстані d між серединами суміжних щілин визначають період або сталу ґрат. Число штрихів N і період d - основні параметри дифракційних ґрат.

Якщо на прозорі дифракційні ґрати спрямувати паралельні світлові промені (потік плоских хвиль з паралельними світловими векторами), то відбуватиметься явище дифракції Фраунґофера. Внаслідок цього, поставивши на шляху світла, що пройшло крізь ґрати, збиральну лінзу у її фокальній площині можна спостерігати дифракційну картину. Вигляд цієї картини залежить від спектрального складу і кута падіння променів світла, що падає на ґрати, а також зазначених параметрів дифракційних ґрат.

Коли світло, що падає, є монохроматичним з довжиною хвилі λ, а його промені напрямлені під кутом i до площини ґрат, то під кутами дифракції φ_m ($m = \pm1, \pm2, \pm3,...$) спостерігають головні дифракційні максимуми, тобто яскраві тонкі лінії, розділені широкими темними смугами. Число m має назву «порядок дифракційного максимуму». Під кутом дифракції $\varphi_0 = 0$ виникає найяскравіша та найширша дифракційна лінія – нульовий або центральний максимум.

Кути φ_m, під якими спостерігають головні дифракційні максимуми, пов'язані з кутом падіння i, періодом ґрат d та довжиною хвилі λ співвідношеннями:

$$d(\sin i \pm \sin \varphi_m) = \pm m\lambda. \quad (m = 1, 2, ...) \qquad (4.4.1)$$

Формула (4.4.1) є *робочою формулою* лабораторної роботи.

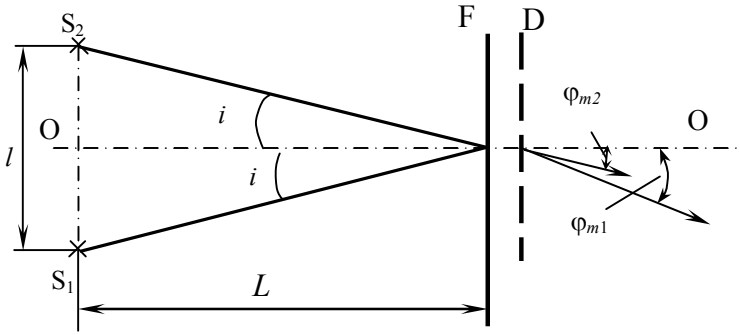

Рисунок 16

Лабораторна установка (рис. 16) складається з оптичної лави, на якій за допомогою рейтерів встановлено освітлювач і прозорі дифракційні грати D зі світлофільтром F. Оптична лава оснащена шкалою. Положення рейтерів відносно шкали фіксується за допомогою візирних міток. Освітлювачем є лампочка розжарення, що знаходиться в кожусі, який має дві паралельні щілини (джерела світла S_1 і S_2), які для зручності зсунуті одне відносно одного за висотою. Роль лінзи, яка збирає дифраговані промені, виконує кришталик ока спостерігача.

Дифракційна картина з двох джерел світла S_1 і S_2, яку спостерігають, має вигляд двох зміщених за висотою дифракційних картин від цих джерел світла. Найінтенсивнішими в них є два максимуми нульового порядку, а максимуми першого, другого та інших порядків розташовані симетрично по обидва боки від максимумів нульового порядку.

Згідно із співвідношенням (4.4.1), для променів, що йдуть від джерела S_1, положення головних дифракційних максимумів визначає рівняння

$$d\left(\sin i + \sin\varphi_{m1}\right) = \pm m_1\lambda\,, \qquad (4.4.2)$$

а для променів, що йдуть від джерела S_2, – рівняння

$$d\left(\sin i - \sin\varphi_{m2}\right) = \pm m_2\lambda\,, \qquad (4.4.3)$$

де φ_{m1} і φ_{m2} - кути дифракції світла від джерел S_1 і S_2 відповідно, m_1 і m_2 - порядки максимумів.

Ідея методу вимірювання довжини хвилі λ, світла що падає у даній роботі полягає в такому.

Пересуваючи дифракційні грати вздовж оптичної лави (вздовж осі OO, рис. 16), можна знайти таке їхнє положення, коли дифракційний максимум порядку (+ m_1) від джерела S_1 збігається з дифракційним максимумом порядку (- m_2) від джерела S_2. Це відповідає рівності $\varphi_{m1} = \varphi_{m2}$. За такої умови із системи рівнянь (4.4.2) і (4.4.3) можна відшукати довжину хвилі світла λ:

$$\lambda = \frac{2d \sin i}{m_1 + m_2}. \qquad (4.4.4)$$

Оскільки відстань l між щілиноподібними джерелами світла S_1 і S_2 є набагато меншою, ніж відстань L від дифракційних ґрат до площини, де розташовані щілини, кути падіння світла на ґрати є малими (не більше 5°), тому можна вважати, що $\sin i \approx \mathrm{tg} i \approx \frac{l}{2L}$. Тоді співвідношення (4.4.4) дає *розрахункову формулу* роботи для шуканої довжини хвилі світла λ:

$$\lambda = \frac{dl}{L\left(m_1 + m_2\right)}. \qquad (4.4.5)$$

Опис процедури вимірювань детально поданий у посібниках [4, 9]. Результати вимірювань, якими є порядки максимумів для ліній, що збіглися m_1 і m_2 й відстані L від дифракційних ґрат до площини, де розташовані щілини, за яких такі збіги спостерігають, та результати первинних розрахунків рекомендовано занотувати у таблиці, голівка якої має такий вигляд:

$d = \ldots, \quad l = \ldots$					
№	m_1	m_2	L_i, м	λ_i, м	$\Delta\lambda_i$, м
1	2	3	4	5	6
	1	1			
	1	2			
	2	2			

Алгоритм опрацювання результатів експерименту

Використовуваний метод вимірювання довжини хвилі світла λ є прикладом сукупних вимірювань. Проте, з огляду на незначну кількість можливих спостережень N в умовах лабораторного начального практикума, що зазвичай не перевищує 3 – 4, опрацювання результатів експерименту можна наближено проводити за алгоритмом прямих вимірювань.

1. Занотувати у першому рядку таблиці подані викладачем значення періоду ґрат d та відстані між щілинами l.
2. Виміряти та занотувати в стовпчик 4 таблиці відстані L_i, на яких спостерігається збіг головних дифракційних максимумів вказаних в стовпчиках 2 й 3 порядків.
3. Дослідити можливість збільшення числа спостережень, якщо вона існує - додати нові дані в таблицю.
4. За формулою (4.4.5) вирахувати дослідні довжини світлової хвилі λ_i та внести їхні значення в стовпчик 5 таблиці.
5. Обчислити та занотувати до таблиці середнє значення довжини хвилі

$$< \lambda >= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\lambda_i, \qquad (4.4.6)$$

6. Вирахувати $\Delta\lambda_i$ та занотувати їхні значення до стовпчику 6 таблиці:

$$\Delta\lambda_i = |<\lambda> - \lambda_i|. \qquad (4.4.7)$$

7. Відшукати абсолютну похибки $\Delta\lambda$ (коефіцієнт Стьюдента $t_{0,7}(N)$ взяти з таблиці глави 2):

$$\Delta\lambda = t_{0,7}(N)\sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N}\left(\Delta\lambda_i\right)^2}\ . \qquad (4.4.8)$$

8. Подати результат у стандартному вигляді

$$\lambda = <\lambda> \pm\ \Delta\lambda. \qquad (4.4.9)$$