Лабораторна робота № 57

Вивчення дифракції світла за допомогою гоніометра

Ціль роботи: *ознайомлення із прозорою дифракційною решіткою, застосування її для визначення довжин хвиль лінійчастого спектра, а також визначення характеристик решітки – дисперсії й роздільної здатності.*

Сукупність явищ, які обумовлені хвильовою природою світла й спостерігаються при його поширенні в середовищі з різкими оптичними неоднорідностями (наприклад, при проходженні через малі отвори в екранах, поблизу границь прозорих або непрозорих тіл і т.п.), називається *дифракцією.* Дифракція, зокрема, приводить до обгинання світловими хвилями перешкод і проникненню світла в область геометричної тіні.

У цій роботі дифракційну картину одержують за допомогою оптичного пристрою, який називається *дифракційною решіткою*.

Найпростіша дифракційна решітка являє собою скляну або металеву пластинку, на яку за допомогою ділильної машини через строго однакові інтервали нанесені паралельні штрихи (до 1000 на довжині 1 мм). Ці штрихи практично непрозорі. Проміжки між ними є щілинами, що пропускають світло.

Основними параметрами дифракційної решітки є *період* або *постійна решітки* d (довжина штриха й щілини) і *повне число штрихів* N.

З'ясуємо характер дифракційної картини, що утворюється на екрані при нормальному падінні на решітку плоскої світлової хвилі (рис.1).

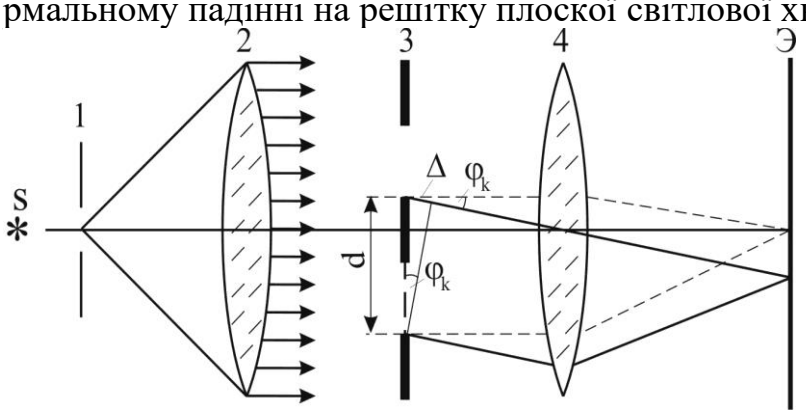

Рис.1

Монохроматичне світло з довжиною хвилі λ від джерела S висвітлює щілину 1, що перебуває у фокальній площині об'єктива коліматора 2. Після об'єктива пучок паралельних променів падає на дифракційну решітку 3 (штрихи решітки перпендикулярні рисунку).

Ці промені дифрагують при проходженні через решітку і утворюють когерентні розбіжні пучки під кутами $\varphi_1, \varphi_2, ..., \varphi_k$. Тобто, кожну щілину дифракційної решітки можна вважати самостійним джерелом когерентних хвиль. Тому за решіткою у фокальній площині об'єктива 4 зорової труби (на екрані Е) спостерігається інтерференція численних дискретних пучків променів. В одній точці екрана будуть збиратися всі паралельні промені, що поширюються від щілин решітки під тим самим кутом до початковогор напрямку. Розподіл інтенсивності залежить від розмірів щілин, відстаней між ними й довжини світлової хвилі.

Таким чином, *ми маємо накладення двох процесів – дифракції світла від кожної окремої щілини й інтерференції променів від всіх щілин.* Результуючий розподіл інтенсивності світла показано на рис. 2.

З рис.1 видно, що різниця ходу Δ променів від сусідніх щілин дорівнює

$\Delta = d \cdot \sin\varphi_k$. Для тих напрямків, для яких $\Delta = k\lambda$, виникають максимуми інтенсивності. Тоді *умова максимумів,* які називають *головними,* буде

$$d \cdot \sin\varphi_k = k\lambda, \qquad (1)$$

де φ_k - кути дифракції, $k = 0, \pm 1, \pm 2, ...$ – порядок дифракційного максимуму.

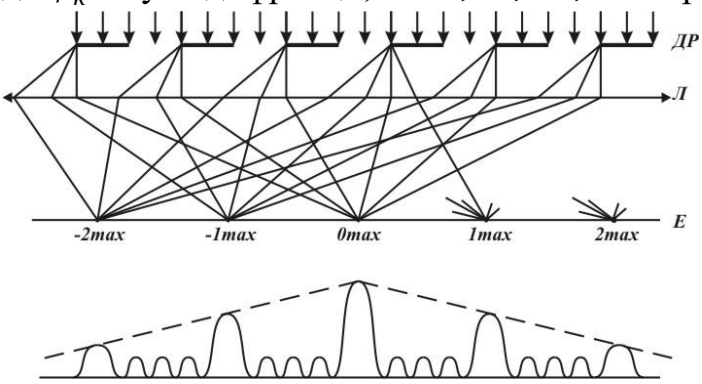

Рис. 2

У тих напрямках, для яких коливання від окремих щілин взаємно гасяться, одержимо мінімуми.

Рівняння (1) є основним при практичному використанні дифракційних решіток. Вимірявши кути φ_k, що відповідають положенням дифракційних максимумів, можна, знаючи довжину хвилі світла λ, знайти постійну решітки d або навпаки, знаючи d, визначити довжину хвилі.

Як випливає з (1) кути, при яких спостерігаються світлові максимуми, залежать від довжини хвилі λ. Тому, якщо на дифракційну решітку падає складне світло (наприклад, біле), то вона розкладає його на складові – у спектр. Тоді величина k, яка входить в (1) носить назву *порядку спектра.* При $\varphi = 0$ виникає максимум нульового порядку, що збігається для всіх довжин хвиль. У результаті цього нульовий максимум, на відміну від всіх інших, виявляється незабарвленим. З обох сторін від нього розташовуються спектри – максимуми порядків $\pm k$ (рис. 2). У спектрі кожного порядку максимуми більш коротких хвиль (фіолетові промені) розташовуються ближче до нульового максимуму, а максимуми більш довгих хвиль (червоні промені) - далі від нього. Здатність дифракційної решітки розкладати світло в спектр дозволяє використати її як *диспергуючий пристрій* у спектральних приладах.

Основними характеристиками дифракційної решітки є кутова дисперсія D й роздільна здатність R .

Кутова дисперсія D характеризує довжину спектра або здатність решітки просторово розділяти світлові пучки різних довжин хвиль. Якщо двом лініям, що відрізняються по довжині хвилі на $\delta\lambda$, відповідає різниця в кутах, рівна $\delta\varphi$, то *мірою кутової дисперсії* служить величина

$$D = \delta\varphi / \delta\lambda. \qquad (2)$$

Диференціючи обидві частини (1), одержимо $d \cdot \cos\varphi_k \delta\varphi = k\delta\lambda$. Тоді

$$D = \delta\varphi / \delta\lambda = k / (d \cos\varphi_k), \qquad (3)$$

де φ_k - відповідний кут дифракції. Дисперсія, таким чином, збільшується зі збільшенням порядку спектра k й зменшенням періоду решітки d.

На досліді дисперсію решітки обчислюють шляхом виміру кутової відстані $\delta\varphi$ між двома близько розташованими спектральними лініями з відомою різницею довжин хвиль $\delta\lambda$ (наприклад, між жовтими лініями ртуті).

Кожна спектральна лінія зображується спектральним апаратом не у вигляді лінії, а у вигляді більш-менш розмитої дифракційної картини з максимумами й мінімумами інтенсивності. Мірою роздільної здатності спектрального апарата

прийнято вважати відношення довжини хвилі λ, біля якої виконується вимір, до $\delta\lambda$ – найменшої різниці довжин хвиль двох спектральних ліній, які спектральний апарат зображує роздільно. Величина

$$R = \lambda / \delta\lambda. \qquad (4)$$

називається *роздільною здатністю* дифракційної решітки.

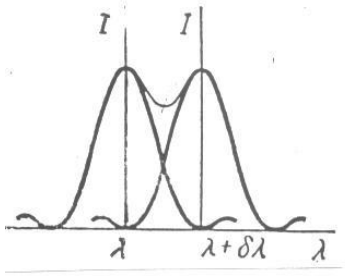

Рис. 3

Для дифракційної решітки Рєлєй запропонував наступний *критерій* спектрального розділу. Спектральні лінії із близькими довжинами хвиль λ й $\lambda + \delta\lambda$ вважаються розділеними, якщо максимум (середина) дифракційної картини для однієї довжини хвилі збігається по своєму положенню з першим дифракційним мінімумом (краєм) для іншої в тому ж порядку (рис. 3).

Можна показати, що відношення $\lambda / \delta\lambda = kN$, де N – число діючих штрихів решітки, k – порядок спектра. Тоді роздільна здатність дифракційної решітки буде дорівнювати

$$R = \lambda / \delta\lambda = kN\,. \qquad (5)$$

Прилади й приналежності: гоніометр ГС-30, прозора дифракційна решітка, джерело світла з лінійчастим спектром (ртутна лампа).

При роботі з дифракційною решіткою основним завданням є точний вимір кутів, під якими спостерігаються головні максимуми для різних довжин хвиль. У даній роботі для цієї мети використається гоніометр ГС-30. Принципова схема ходу променів у гоніометрі зображена на рис.1. Опис й правила користування гоніометра наведені в додатку.

Завдання 1. ***Визначення періоду дифракційної решітки й довжин хвиль спектральних ліній, які випромінює джерело.***

1. Знайомляться із будовою і правилами користування гоніометром.
2. Включають джерело світла. Перевіряють різкість зображення щілини й хреста ниток у полі зору зорової труби. Різкість зображення відлікового хреста регулюється обертанням оправи окуляра 31 (рис. 4б).
3. Встановлюють дифракційну решітку на столик гоніометра так, щоб щілини решітки були паралельні із щілиною коліматора, а площина решітки перпендикулярна осям зорової й коліматорної труб. Шляхом повороту столика домагаються досить яркої й чіткої дифракційної картини в зоровій трубі.
4. Повертаючи зорову трубу вправо й уліво, переглядають дифракційний спектр і визначають число k видимих порядків спектрів по обидва боки від невідхиленого положення труби (нульового максимуму). Спектральні лінії повинні бути видні чітко й розташовуватися симетрично щодо нульового максимуму.
5. Наводять зорову трубу на лінію з відомою довжиною хвилі (задається викладачем) у спектрі першого порядку праворуч від невідхиленого пучка так, щоб зображення цієї лінії потрапило в просвіт між вертикальними штрихами відлікового хреста окуляра зорової труби гоніометра. Вимірюють по шкалі лімба кут α'_k. Потім наводять трубу на таку ж лінію ліворуч від невідхиленого пучка й

роблять відлік α''_k (він буде негативний). Аналогічні виміри роблять для ліній цієї довжини хвилі в інших видимих порядках спектра (не менш 3-х). Кути дифракції визначають по формулі $\varphi_k = (\alpha'_k - \alpha''_k)/2$.

6. Обчислюють постійну d дифракційної решітки, користуючись формулою (1), у всіх порядках спектра. Знаходять середнє значення $< d >$.

7. Виміри, аналогічні п. 5, проводять для спектральних ліній з невідомою довжиною хвилі (не менш 2-х).

8. Знаючи $< d >$, обчислюють, використовуючи ту ж саму формулу (1), довжини хвиль цих ліній у всіх спостережуваних порядках спектра.

9. Результати вимірів й обчислень заносять у таблиці 1 й 2 із вказівкою одиниць вимірювання.

Визначення постійної дифракційної решітки. Таблиця 1

Колір лінії	k	α'_k	α''_k	φ_k	λ	d_i	$< d >$	Δd_i	$S_{<d>}$	$t_{\alpha,n}$	Δd	$E\%$

Визначення довжини світлової хвилі. Таблиця 2

Кольори лінії	k	α'_k	α''_k	φ_k	$< d >$	λ_i	$< \lambda >$	$\Delta\lambda_i$	$S_{<\lambda>}$	$t_{\alpha,n}$	$\Delta\lambda$	$E\%$
	1											
	2											
	3											
	1											
	2											
	3											
:												

10. Остаточний результат записують у вигляді

$$d_{іст} = (< d > \pm \Delta d)\,мм \qquad \lambda_{іст} = (< \lambda > \pm \Delta\lambda)\,нм \qquad при\ \alpha =$$

Завдання 2. ***Визначення кутової дисперсії й роздільної сили дифракційної решітки.***

1. Розраховують кутову дисперсію D по формулі (3) для всіх довжин хвиль у всіх спостережуваних порядках спектра. Будують графік залежності кутової дисперсії від довжини хвилі для спектра першого порядку $D = \varphi(\lambda)$.

2. Розраховують теоретично роздільну силу R дифракційної решітки по формулі (5) для жовтих ліній у всіх спостережуваних порядках спектра. У формулі (5) під N потрібно розуміти число діючих штрихів решітки. Воно дорівнює відношенню довжини освітленої частини решітки l до її періоду.

3.Спостерігаючи жовті лінії в 1-му, 2-му, 3-му і т.д. порядках, роблять висновок про можливості розділу цих ліній решіткою. Порівнюють розрахункові дані з результатами візуальних спостережень. Всі обчислення заносять у таблицю 3.

. Таблиця 3

Колір лінії	k	λ	$< d >$	D	l	N	R
	1						
	2						

Контрольні питання

1. У чому полягає явище дифракції світла?
2. Що являє собою найпростіша дифракційна решітка?
3. Що називається постійної дифракційної решітки?
4. Яка умова головних максимумів для дифракційної решітки?
5. Якого кольору нульовий максимум?
6. Які промені дифракційного спектра далі всього відхиляються від первісного напрямку?
7. Від чого залежить кутова дисперсія решітки? Роздільна здатність?
8. Сформулюйте критерій дозволу Релея.

Додаток

Описання і правила користування гоніометром ГС-30

Загальний вид гоніометра ГС-30 показаний на рисунках 4а (з боку коліматора) і 4б (з боку зорової труби). Прилад складається з коліматора 3, столика 6, алідади 20 із зоровою трубою 4, які кріпляться на масивній підставі 12. На столику 6 розміщаються досліджувані предмети. Нахил столика щодо вертикальної осі регулюється гвинтами 11.

Коліматор слугує для одержання паралельного пучка променів. Він складається з об'єктива 25 і щілини 8. Ширина щілини (від 0 до 2 мм) регулюється мікрометричним гвинтом. Коліматор кріпиться нерухомо на підставі гоніометра. Настроювання коліматора на паралельність пучка виконується гвинтом 7.

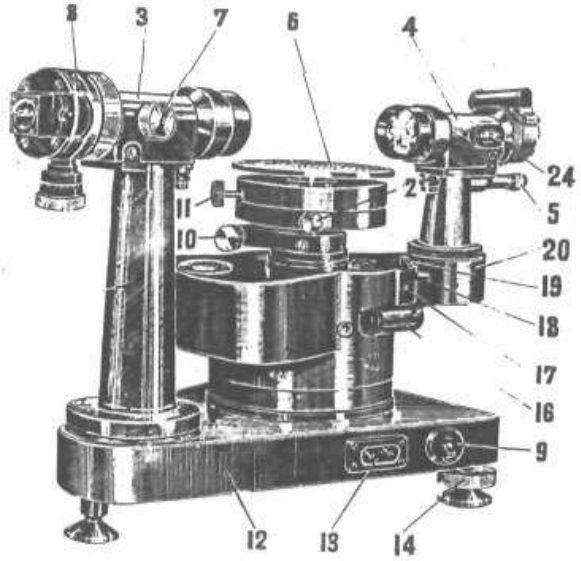

Рис. 4а

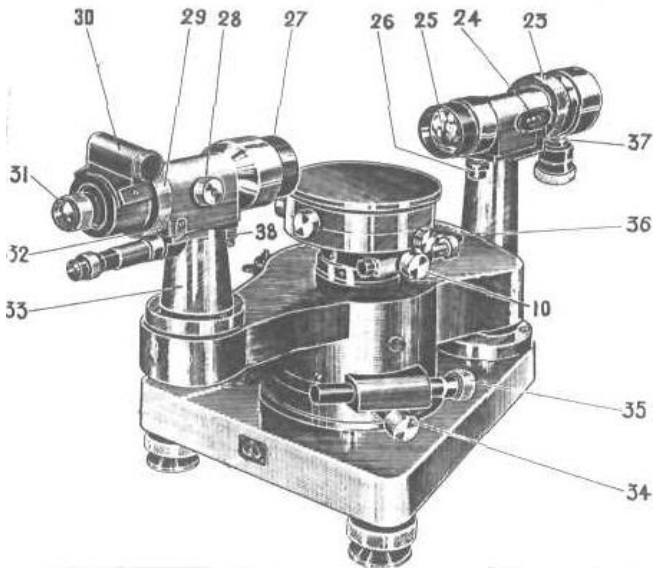

Рис. 4б

Зор*ова труба* складається з об'єктива 27 й окуляра 31. Об'єктиви коліматора й зорової труби однакові. Фокусування зорової труби виконується гвинтом 28.

Нахил коліматора й зорової труби до горизонтальної осі змінюється гвинтами 26 й 38 відповідно.

Рис. 5

Найважливішим вузлом гоніометра є пристрій, що служить для відліку кута повороту зорової труби навколо вертикальної осі, яка проходить через центр столика. На цій осі кріпиться прозоре кільце (лімб), розташоване в корпусі приладу. *Лімб розділений на* 360^0*, ціна однієї поділки лімба* 1^0. Зображення штрихів лімба через систему призм й об'єктивів передається на сітку мікроскопа 5 (рис.4а) і розглядається через його окуляр при включеному освітленні приладу. Вимикач 9 розташований на нерухомій частині підстави. Різкість зображення шкали регулюється обертанням оправи окуляра 5. Поле зору окуляра представлено на рис. 5.

У віконці видні зображення штрихів лімба, які оцифровані 2; 1; 0 і шкала сітки мікроскопа. Шкала має два ряди штрихів, розташованих один під другом. Ціна розподілу в кожному з рядів дорівнює 1". Нижній ряд штрихів зсунуто щодо верхнього на половину розподілу. Це дає можливість робити відлік з точністю до 30" і навіть до 15". Відлік виконується в такий спосіб. Число градусів береться по правій від нуля найближчій цифрі, що відповідає поділкам лімба. Число десятків й одиниць хвилин береться по верхньому ряду чисел шкали мікроскопа. Число десятків секунд відраховується на око по нижній шкалі мікроскопа. Положення, зазначене на рис. 6, відповідає відліку 10^0 30' 00".

Столик може обертатися разом з лімбом при нерухомій зоровій трубі й самостійно від руки, з фіксацією будь-якого положення закріпним гвинтом 2. Алідада обертається або грубо від руки, або (при затиснутому гвинті 34) точно за допомогою мікрометричного гвинта 35. Встановлення приладу у вертикальне положення здійснюється за допомогою піднімальних гвинтів 14 і рівня 36. Мікрометрене наведення столика по горизонту здійснюється гвинтом 10.

Увага! Прилад від´юстовано! Тому бажано регулювальні гвинти не торкати