

## Тема 7. Хвильова оптика

### Оглавление

|                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------|---|
| Оптична довжина ходу світлової хвилі: .....                    | 1 |
| Оптична різниця ходу двох світлових хвиль: .....               | 1 |
| Умова максимального підсилення світла при інтерференції: ..... | 1 |
| Умова максимального ослаблення світла: .....                   | 1 |
| Дифракційна решітка .....                                      | 2 |
| Роздільна здатність дифракційної решітки: .....                | 4 |
| Формула Вульфа - Бреггів: .....                                | 4 |
| Закон Брюстера: .....                                          | 5 |
| Закон Малюса: .....                                            | 5 |

### Оптична довжина ходу світлової хвилі:

$$L = nl,$$

де  $l$  – геометрична довжина ходу світлової хвилі в середовищі з показником заломлення  $n$ .

### Оптична різниця ходу двох світлових хвиль:

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Залежність різниці фаз від оптичної різниці ходу світлових хвиль:

$$\Delta\varphi = 2\pi \left( \frac{\Delta}{\lambda} \right),$$

де  $\lambda$  – довжина світлової хвилі.

### Умова максимального підсилення світла при інтерференції:

$$\Delta = \pm k\lambda = \pm 2\kappa \frac{\lambda}{2} \quad \kappa = 0, 1, 2, \dots$$

### Умова максимального ослаблення світла:

$$\Delta = \pm \left( \kappa + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Оптична різниця ходу світлових хвиль, яка виникає при відбиванні монохроматичного світла від тонкої плівки:

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2}$$

чи

$$\Delta = 2dn \cos i_2 + \frac{\lambda}{2},$$

де  $d$  – товщина плівки;  $n$  – показник заломлення плівки;  $i_1$  – кут падіння;  $i_2$  – кут заломлення світла в плівці.

Радіус світлових кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{(k-1)R\lambda/2} \quad k = 1, 2, 3, \dots,$$

де  $k$  – номер кільця;  $R$  – радіус кривизни.

Радіус темних кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

Кут  $\varphi$  відхилення променів, які відповідають максимумам (світлі смуги) при дифракції на одній щілині, визначається з умови:

$$a \sin \varphi = k\lambda/2 \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

де  $a$  – ширина щілини;  $k$  – порядковий номер максимумів.

Детальніше розглянемо **явище інтерференції та дифракції на дифракційній решітці (гратці)**, оскільки це явище вивчається також детально і в лабораторному практикумі.

## Дифракційна решітка

це сукупність великої кількості паралельних, рівновіддалених один від одного штрихів, нанесених на прозору поверхню. Штрихи повністю розсіюють падаюче на них світло і є для нього непрозорими ділянками, а проміжки між штрихами пропускають світло і виконують роль щілин. Штрихи можуть бути нанесені механічним, фото- та голографічним методами тощо. Кількість штрихів  $N$  на одиницю довжини визначає можливість застосування дифракційної решітки для роботи в різних областях спектра. Так, у рентгенівській області  $N = 6000$ , в ультрафіолетовій – 2000, у видимій – 300, в інфрачервоній – 0,25 штрихів на 1 мм. Відстань  $d$ , через яку повторюються штрихи (рис.4), називається постійною (або періодом) решітки,  $d = 1/N$ .

Розглянемо проходження світла через дифракційну решітку з періодом  $d$ .

Для того, щоб визначити положення максимумів у дифракційній картині, розглянемо дві сусідні щілини (рис. 4) і виберемо в першій щілині будь-яку точку 1. Другу точку 2 виберемо на відстані  $d$  від точки 1 (такі точки називають відповідними).

Промені, які виходять з відповідних точок і поширюються під кутом  $\varphi$  до напрямку падаючого світла, максимально підсилюють один одного при накладанні, якщо різниця ходу  $\Delta$  цих променів ( $\Delta = d \cdot \sin \varphi$ ) вміщує ціле

ЧИСЛО ДОВЖИН ХВИЛЬ:

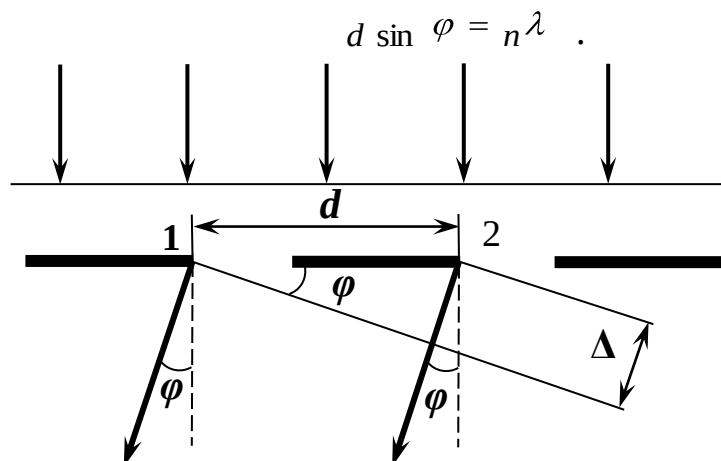


Рис. 4

Виконання цієї умови, наприклад для першої і другої щілин, автоматично означає виконання його для другої і третьої, третьої і четвертої щілин і т. д., тобто для всієї решітки в цілому. Тому цю формулу називають **формулою дифракційної решітки**. Вона визначає напрямки головних максимумів у дифракційній картині. Дифракційний спектр складається з центральної білої смуги і розміщених симетрично від неї максимумів першого, другого і більш високих порядків.

Ціле число  $n$  у формулі називається порядком максимумів, оскільки воно визначає порядковий номер максимуму, відрахованого від центра екрана (не рахуючи центрального,  $n = 0$ ).

Для спостереження дифракційної картини в лабораторному практикумі використовують схему, зображену на рис. 5.

Перед джерелом світла  $L$  (лампою розжарення) розміщують екран  $E$ , в центрі якого є вертикальна щілина  $Щ$ . Дифракційна решітка встановлюється між екраном та оком спостерігача так, щоб її штрихи були паралельні щілині  $Щ$ . Дифракційна картина проектується кристаликом на сітчатку ока, куди одночасно проектується і зображення міліметрової шкали, розміщеної на екрані в площині щілини. Складається враження, що дифракційний спектр розміщений на поверхні шкали. Але це не так, у площині шкали спектра немає. В цьому легко впевнитись, розглянувши її збоку. В площині шкали розміщено тільки уявне зображення, яке є повною копією дифракційного спектра.

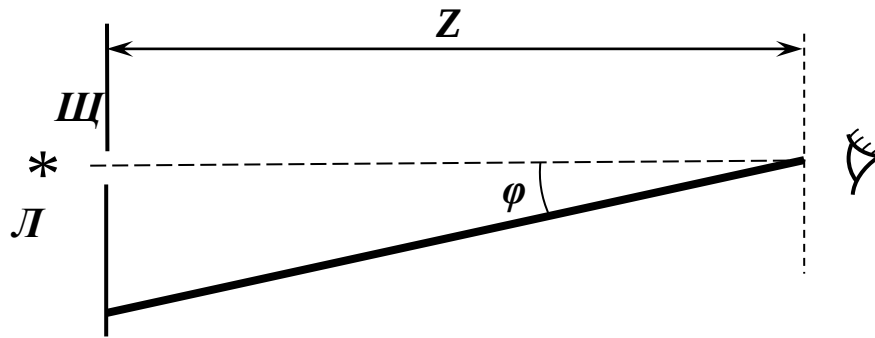


Рис.5

З формули для максимумів дифракційної решітки випливає, що

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{n},$$

де  $d$  – період решітки;  $n$  – порядок спектра;  $\varphi$  – кут дифракції (рис.5). При малих його значеннях

$$\sin \varphi \cong \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{z},$$

де  $l$  – відстань від центрального максимуму до лінії в уявному спектрі;  $z$  – відстань від решітки до щілини.

Використовуючи останній вираз, отримаємо формулу для визначення довжини хвилі:

$$\lambda = \frac{l \cdot d}{n \cdot z}.$$

### Роздільна здатність дифракційної решітки:

$$R = \lambda / \Delta \lambda = nN,$$

де  $\Delta \lambda$  – найменша різниця довжини хвиль двох сусідніх спектральних ліній  $\lambda$  та  $\lambda + \Delta \lambda$ , при якій ці лінії можуть бути видимі роздільно в спектрі, який одержаний за допомогою даної решітки;  $N$  – повне число щілин решітки.

### Формула Вульфа - Бреггів:

$$2 d \sin \theta = \kappa \lambda,$$

де  $\theta$  – кут ковзання (кут між напрямком паралельного пучка рентгенівського випромінювання, що падає на кристал, та атомною площиною в кристалі;  $d$  – відстань між атомними площинами кристала.

### Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21},$$

де  $i_1$  – кут падіння, при якому відбившись від діелектрика промінь стає повністю поляризованим;  $n_{21}$  – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого.

### Закон Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

де  $I_0$  – інтенсивність плоскополяризованого світла, що падає на аналізатор;  $I$  – інтенсивність цього світла після аналізатора;  $\alpha$  – кут між напрямком коливань електричного вектора, який падає на аналізатор, та площиною пропускання аналізатора. Коли напрям коливання електричного вектора падаючого світла збігається з площиною, то аналізатор пропускає це світло без ослаблення.

Кут повороту площини поляризації монохроматичного світла при проходженні крізь оптично активну речовину:

а)  $\varphi = \alpha d$  (у твердих тілах),

де  $\alpha$  – постійна обертання;  $d$  – довжина шляху, який пройшло світло в оптично активній речовині;

б)  $\varphi = [\alpha] \rho d$  (в сумішах),

де  $[\alpha]$  – питоме обертання;  $\rho$  – масова концентрація оптично активної речовини в розчині.