



Космічний апарат «Voyager 1»
уже понад 40 років
подорожує в космосі

Описуючи дію оптичних пристроїв, ми користувалися законами геометричної оптики. Здавалося б, відповідно до цих законів, за допомогою мікроскопів можна розрізнити якнайдрібніші деталі, а за допомогою телескопів — спостерігати найвіддаленіші об'єкти. Але це не так. Отримати чіткі зображення дуже віддалених об'єктів ми можемо лише завдяки космічним апаратам, а «розглянути» дуже дрібні частинки — лише за допомогою електронного мікроскопу, адже нам «заважає» *дифракція*. Згадаємо, в чому полягає це явище.

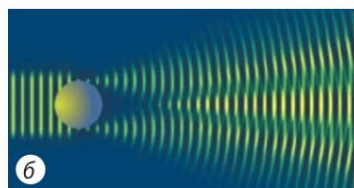
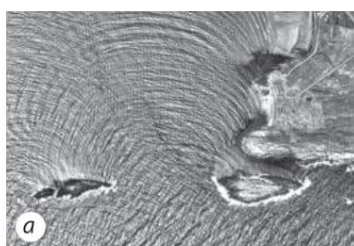


Рис. 31.1. Дифракція механічних хвиль на отворі (а); на перешкоді (б). На деякій відстані від перешкоди хвилі, накладаючись одна на одну, створюють дифракційну картину

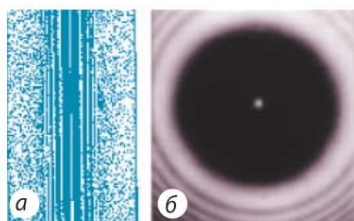


Рис. 31.2. Дифракція світлових хвиль на різних перешкодах: на тонкому дроті (а); на великому непрозорому круглому екрані (б)

1 Чи може світло обгинати перешкоди

Ми добре чуємо сигнал машини, розташованої за рогом будинку, адже звукові хвилі, як і будь-які інші, можуть обгинати перешкоди.

Явище обгинання хвилями перешкод або будь-яке інше відхилення поширення хвилі від законів геометричної оптики називають **дифракцією** (від латин. *diffractus* — розломлений) (рис. 31.1).

Дифракція властива будь-яким хвилям незалежно від їхньої природи і спостерігається у двох випадках:

1) коли лінійні розміри перешкод, на які падає хвиля (або розміри отворів, через які хвиля поширюється), порівнянні з довжиною хвилі;

2) коли відстань від перешкоди до місця спостереження набагато більша за розмір перешкоди.

Хвилі, що обгинають перешкоду, когерентні, тому дифракція завжди супроводжується інтерференцією. *Інтерференційну картину, отриману внаслідок дифракції, називають дифракційною картиною* (див. рис. 31.1).

Оскільки світло є хвилю, в разі виконання зазначених вище умов можна спостерігати і дифракцію світла. Але світло — це дуже коротка хвиля (400–760 нм), тому дифракцію на предметі розміром, наприклад, 10 см можна помітити лише на відстанях у декілька кілометрів. Якщо ж розміри перешкоди менші за 1 мм, дифракцію можна спостерігати й на відстанях у кілька метрів.

Дифракцією світла називають обгинання світловими хвилями межі непрозорих тіл і проникнення світла в ділянку геометричної тіні.

На рис. 31.2 показано, який вигляд мають дифракційні картини від різних перешкод, що освітлюються монохроматичним світлом. Бачимо, що тінь від тонкого дроту з обох боків оточена світлими і темними смугами, а в центрі тіні розташована світла смуга (рис. 31.2, а). Тінь від невеликого непрозорого круглого екрана (рис. 31.2, б) оточена світлими і темними концентричними кільцями; у центрі тіні — світла кругла пляма (пляма Пуассона).

Так само оточена світлими і темними кільцями кругла пляма світла, якщо світло надходить від потужного точкового джерела і проходить крізь невеликий круглий отвір (рис. 31.3); зменшуючи діаметр отвору, можна отримати в центрі картини й темну пляму.

Якщо освітлювати перешкоду або отвір пучком білого світла, то на дифракційній картині замість темних і світлих смуг будуть райдужні смуги, які легко побачити, дивлячись на джерело світла крізь клаптик капрону або крізь вії. Подібні дифракційні картини досить часто спостерігаються й у природі (рис. 31.4).

2 Принцип Гюйгенса — Френеля

Кількісну теорію дифракції світла побудував французький фізик *Огюстен Жан Френель* (1788–1827), сформулювавши принцип, який із часом отримав назву **принцип Гюйгенса — Френеля**:

Кожна точка хвильової поверхні є джерелом вторинної хвилі, ці вторинні хвилі є когерентними; хвильова поверхня в будь-який момент часу є результатом інтерференції вторинних хвиль.

Якщо на вузьку щілину падає плоска світлова хвиля, то на екрані, який розташований на досить великій відстані від щілини, можна спостерігати дифракційну картину (рис. 31.5). Пояснимо її появу, користуючись принципом Гюйгенса — Френеля.

Згідно з цим принципом, освітлену щілину можна розглядати як велику кількість

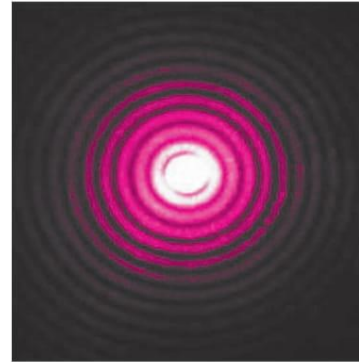


Рис. 31.3. Дифракційна картина від невеликого круглого отвору



Рис. 31.4. Природне явище «сяйво Будди» виникає внаслідок дифракції світла на дрібненьких крапельках води, коли сонячне світло пробивається крізь туман або хмару

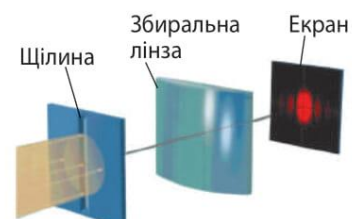


Рис. 31.5. Дифракція паралельного пучка світла на вузькій щілині. Збиральну лінзу розміщено для збирання паралельних променів в одній точці

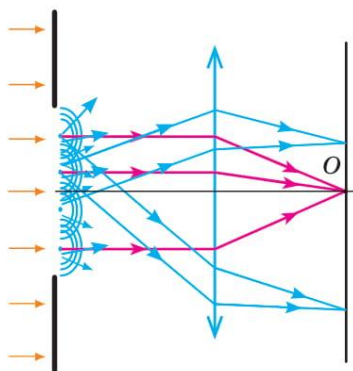


Рис. 31.6. Хід променів після дифракції паралельного пучка світла на вузькій щілині

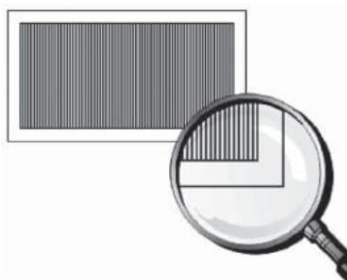


Рис. 31.7. Плоска дифракційна ґратка

вторинних джерел світла, від кожного з яких в усіх напрямках поширюються когерентні хвилі (рис. 31.6). Різниця ходу вторинних хвиль, що падають перпендикулярно до екрана (на рис. 31.6 ці хвилі позначені червоним), дорівнює нулю (лінза не дає додаткової різниці ходу). Тому всі вторинні хвилі, що потрапляють у точку O , посилюють одна одну. Для інших точок екрана різниця ходу падаючих хвиль уже не дорівнюватиме нулю, тому в цих точках можуть спостерігатися інтерференційні максимуми або мінімуми, створюючи дифракційну картину.

3 Дифракційна ґратка

Дифракційна картина від плоскої хвилі спостерігається тільки якщо ширина щілини є в багато разів меншою, ніж відстань до екрана. За цієї умови на екран потрапляє дуже мало світла. Щоб отримати яскравішу дифракційну картину, використовують *дифракційну ґратку*.

Дифракційна ґратка — це оптичний пристрій, дія якого заснована на явищі дифракції світла і який являє собою сукупність великої кількості паралельних штрихів, нанесених на певну поверхню на однаковій відстані один від одного (рис. 31.7).

На якісні дифракційні ґратки штрихи наносять алмазним різцем спеціальні ділильні машини. Кількість штрихів сягає 2000 на 1 мм.

Існують *відбивні і прозорі дифракційні ґратки*. На відбивних ґратках штрихи нанесено на дзеркальну (металеву) поверхню, на прозорих ґратках — на скляну поверхню. Найпростіші прозорі дифракційні ґратки виготовляють із желатину, затискаючи його між двома скляними дифракційними ґратками (виготовляють желатиновий зліпок).

На металевих ґратках спостереження проводять тільки у відбитому світлі, на скляних — найчастіше в прохідному світлі, на желатинових — тільки в прохідному світлі.

Загальну ширину d непрозорої та прозорої ділянок дифракційної ґратки називають **періодом ґратки** або **сталю ґратки**:

$$d = a + D = \frac{l}{N},$$

де a — ширина непрозорої ділянки (у прозорих ґратках) або смуги, що розсіює світло (у відбивних ґратках); D — ширина прозорої ділянки (або смуги, що відбиває світло) (див. рис. 31.8); N — кількість штрихів на відрізку довжиною l .

Розглянемо, як «працює» дифракційна ґратка у прохідному світлі.

Якщо на ґратку падає плоска світлова хвиля, то кожна щілина стає джерелом вторинних хвиль, які є когерентними і поширюються в усіх напрямках. Якщо на шляху цих хвиль розмістити збиральну лінзу, то промені, паралельні один одному, збиратимуться на екрані, розташованому у фокальній площині лінзи (рис. 31.8).

Із рис. 31.8 бачимо, що різниця ходу Δd для двох хвиль, що поширюються від сусідніх щілин під кутом φ , дорівнює: $\Delta d = d \sin \varphi$. Щоб у точці екрана спостерігався інтерференційний максимум, різниця ходу Δd має дорівнювати цілому числу довжин хвиль: $\Delta d = k\lambda$.

Звідси маємо **формулу дифракційної ґратки**:

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

де k — ціле число: $k=0$ — відповідає центральному (нульовому) максимуму ($\Delta d=0$), $k=\pm 1$ — відповідає максимумам першого порядку ($\Delta d=\lambda$) і т. д. Максимуми одного порядку розташовані симетрично з обох боків від центрального максимуму.

Зверніть увагу!

- Кут φ , за якого спостерігається інтерференційний максимум, залежить від довжини хвилі, тому *дифракційні ґратки розкладають немонохроматичне світло у спектр. Такий спектр називають дифракційним* (рис. 31.9).

- Довжина хвилі червоного кольору більша за довжину хвилі фіолетового кольору, тому *в дифракційному спектрі червоні лінії розташовані далі від центрального максимуму, ніж фіолетові*.

- Для центрального максимуму різниця ходу хвиль будь-якої довжини дорівнює нулю, тому він завжди має колір світла, що освітлює ґратку.

- Вимірюючи кут φ , за якого спостерігається інтерференційний максимум k -го порядку, і знаючи період дифракційної ґратки, можна виміряти довжину світлової хвилі, що падає на ґратку:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}$$

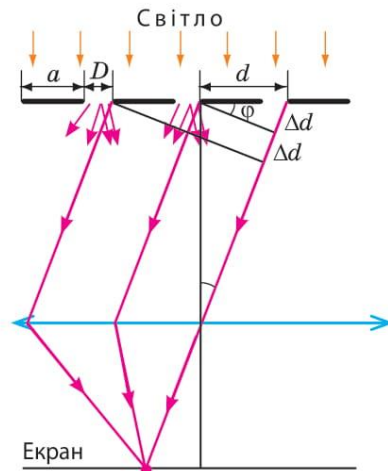


Рис. 31.8. Схема ходу променів під час дифракції плоскої світлової хвилі на прозорій дифракційній ґратці.

a — ширина непрозорої ділянки; D — ширина прозорої ділянки; d — період ґратки — загальна ширина непрозорої та прозорої ділянок

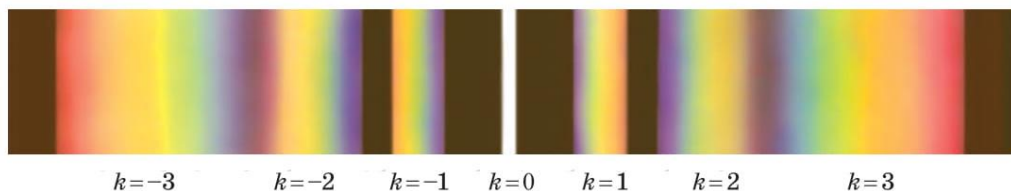


Рис. 31.9. Дифракційний спектр

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. На дифракційну ґратку, що містить 200 штрихів на 1 мм, падає плоска монохроматична хвиля довжиною 500 нм. Визначте: а) кут, за якого спостерігається максимум другого порядку; б) найбільший порядок спектра, який можна спостерігати за нормального падіння променів на ґратку.

Дано:

$$N = 200$$

$$l = 10^{-3} \text{ м}$$

$$\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k = 2$$

 $\varphi = ?$ $k_{\max} = ?$

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання.

Формула дифракційної ґратки має вигляд: $d \sin \varphi = k\lambda$, де $d = \frac{l}{N}$.

Звідси маємо: $\sin \varphi = \frac{Nk\lambda}{l}$. Максимальному k відповідає $\sin \varphi = 1$, отже, $k_{\max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{l}{N\lambda}$.

Знайдемо значення шуканих величин:

$$\sin \varphi = \frac{200 \cdot 2 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{10^{-3} \text{ м}} = 0,20, \text{ звідси } \varphi \approx 0,20 \text{ рад};$$

$$k_{\max} = \frac{10^{-3} \text{ м}}{200 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 10.$$

Відповідь: а) $\varphi \approx 0,20$ рад; б) $k_{\max} = 10$.**Підбиваємо підсумки**

- Дифракцією світла називають обгинання світловими хвилями межі непрозорих тіл і проникнення світла в ділянку геометричної тіні.
- Кількісну теорію дифракції світла побудував О. Френель, сформулювавши принцип, який із часом отримав назву «принцип Гюйгенса — Френеля»: кожна точка хвильової поверхні є джерелом вторинної хвилі, ці вторинні хвилі є когерентними; хвильова поверхня в будь-який момент часу є результатом інтерференції вторинних хвиль.
- Дифракційна ґратка — це спектральний пристрій, що має вигляд періодично розташованих щілин і слугує для розкладання світла у спектр і для вимірювання довжини хвилі. Головна характеристика ґратки — період (стала) ґратки d , що дорівнює відстані між двома сусідніми щілинами.
- Формула дифракційної ґратки: $d \sin \varphi = k\lambda$, де φ — кут, за якого спостерігаються максимуми k -го порядку для плоскої світлової хвилі довжиною λ , яка падає перпендикулярно до поверхні ґратки.

**Контрольні запитання**

1. Дайте означення дифракції.
2. За яких умов спостерігається дифракція?
3. Чому в повсякденному житті ми нечасто спостерігаємо дифракцію світла?
4. Сформулюйте принцип Гюйгенса — Френеля.
5. Опишіть дифракційні картини від різних перешкод.
6. Що таке дифракційна ґратка? Яка фізична величина її характеризує?
7. Які фізичні величини пов'язує формула дифракційної ґратки?

**Вправа № 31**

1. Чому навіть у потужний телескоп ми не можемо побачити предмети на поверхні Місяця?
2. Дифракційна ґратка має 50 штрихів на 1 мм. Визначте період ґратки.
3. На дифракційну ґратку, що має 250 штрихів на 1 мм, падає монохроматичне світло з довжиною хвилі 550 нм. За якого кута видно перший дифракційний максимум? Скільки всього дифракційних максимумів дає ґратка?
4. Для вимірювання довжини світлової хвилі застосовано дифракційну ґратку, що має 1000 штрихів на 1 мм. Максимум першого порядку на екрані отримано на відстані 24 см від центрального максимуму. Визначте довжину хвилі, якщо відстань від дифракційної ґратки до екрана 1 м.
5. Дифракційна ґратка, що має 200 штрихів на 1 мм, розташована на відстані 2 м від екрана. На ґратку падає біле світло, максимальна довжина хвилі якого 720 нм, мінімальна — 430 нм. Яка ширина спектра першого порядку?