

§ 39. ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ЗАКОН ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ПЛОСКЕ ДЗЕРКАЛО

?! У Козьми Пруtkова є афоризм: «Якщо в тебе запитано буде: що корисніше — сонце чи місяць? — відповідай: місяць. Тому що сонце світить удень, коли й без того видно, а місяць — уночі». А чи можна назвати Місяць джерелом світла? Зрозуміло, що ні. Ми бачимо його, оскільки він відбиває світло, джерелом якого є Сонце. Вважають, що закон відбивання світла, як і закон його прямолінійного поширення, встановив ще Платон у 430 р. до н. е. Згадаємо закон відбивання світла і доведемо його, користуючись принципом Гюйгенса.

1 Що таке геометрична оптика

Геометрична оптика — це розділ оптики, що вивчає закони поширення світла в прозорих середовищах* і принципи побудови зображень в оптичних системах без урахування хвильових властивостей світла.

* *Прозоре середовище* — це середовище, в якому світлова хвиля без помітного зменшення енергії може проходити відстані, що істотно перевищують довжину хвилі.

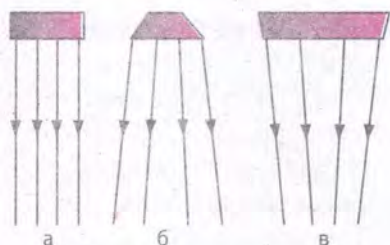


Рис. 39.1. Схематичне зображення світлових пучків за допомогою світлових променів: а — паралельний світловий пучок; б — розбіжний світловий пучок; в — збіжний світловий пучок



Рис. 39.2. Пучки світла, що проходять крізь гілля дерев

Лінія, вздовж якої поширюється потік світлової енергії, називається **світловим променем**.

Світловий промінь — суто геометричне поняття, його використовують для схематичного зображення *світлових пучків* (рис. 39.1). Саме зі світловими пучками ми маємо справу в реальному житті (рис. 39.2). І хоча під час описання світлових явищ інколи говорять: «промінь світла падає», «заломлення променя» тощо, але мається на увазі саме пучок світла (падаючий, заломлений та ін.), напрямок якого заданий цим променем.

В основу геометричної оптики покладено низку простих законів, установлених експериментально, а саме:

- **закон прямолінійного поширення світла** — в однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно;
- **закон незалежного поширення світла** — окремі пучки світла не впливають один на одного й поширюються незалежно;
- **закопи відбивання і заломлення світла**.

★ Узагальненням усіх законів геометричної оптики є **принцип найменшого часу**, названий на честь французького математика *П'єра де Ферма* (1601–1665) **принципом Ферма**:

Поширення світла з однієї точки до іншої відбувається таким шляхом, проходження якого вимагає мінімального часу порівняно з будь-якими іншими шляхами між цими точками.

Мінімальною відстанню між двома точками є довжина відрізка прямої, що сполучає ці точки. Отже, з принципу Ферма випливає закон прямолінійного поширення світла в однорідному середовищі. Цей принцип дозволяє з математичною точністю розв'язувати будь-які задачі про поширення світла як в однорідному, так і в неоднорідному середовищах★.

2 Як формулюється закон відбивання світла

Якщо на дзеркало, закріплене в центрі оптичної шайби, спрямувати вузький пучок світла так, щоб він давав на поверхні шайби світлу смужку, то побачимо, що відбитий пучок також дасть на поверхні шайби світлу смужку (рис. 39.3).

Задамо напрямок пучка світла, який падає, променем *СО*. Цей промінь називають *падаючим променем*. Промінь *ОК*, який задає напрямок відбитого пучка світла, називають *відбитим променем*.

діння променя постави-
 ОВ до поверхні дзерка-
 вітло. Звернемо увагу на
 промінь, відбитий про-
 куляр лежать в одній
 ній поверхні шайби.

ки 7-го класу ви знаєте,
 ений падаючим проме-
 яром, поставленим до
 я з точки падіння про-
 кутом падіння світла;
 й відбитим променем
 ,— кутом відбивання.

джерело світла й вимі-
 ня й відбивання світла,
 ся в тому, що вони що-
 ми.

ання світла:

ючий, промінь відбитий
 яр до поверхні відбиван-
 ий із точки падіння про-
 в одній площині; кут від-
 а дорівнює куту падіння.

дбивання світла впли-
 світлових променів:

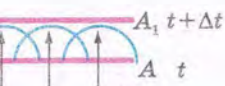
омінь спрямувати шля-
 меня, то відбитий про-
 падаючого (рис. 39.4).

оведення закону відбивання світла

ання світла можна отримати, скориставшись прин-

Для цього розглянемо плоску хвилю (рис. 39.5),

у поділу двох середовищ (рис. 39.6). Напрямок



льова поверхня
 бою площину (хви-
 , перпендикулярні
 дручника), а промені,
 поширення хвилі,
 ну

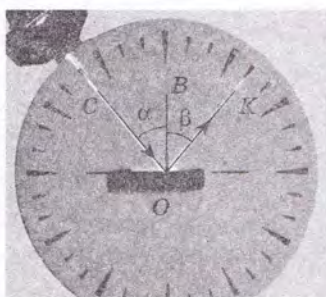


Рис. 39.3. Встановлення законів відбивання світла за допомогою оптичної шайби: α — кут падіння, β — кут відбивання

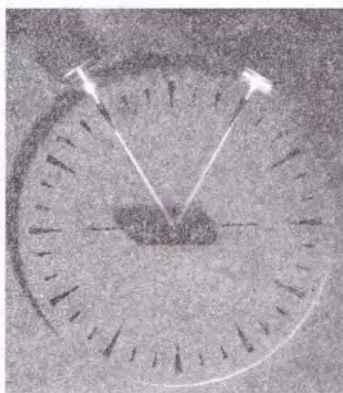


Рис. 39.4. Демонстрація оборотності світлових променів: промінь, відбитий від дзеркала, йде шляхом падаючого

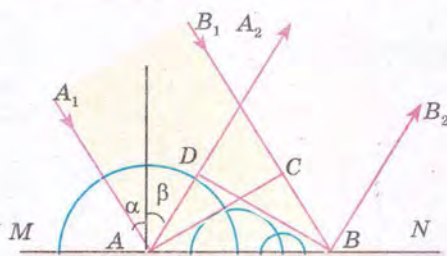


Рис. 39.6. Відбивання плоскої хвилі від плоскої поверхні MN: хвильова поверхня падаючої хвилі — площина AC, відбитої хвилі — площина DB; α — кут падіння, β — кут відбивання

поширення хвилі задамо променями A_1A і B_1B , які паралельні один одному та перпендикулярні до хвильової поверхні AC .

Різні ділянки хвильової поверхні досягають відбиваючої межі MN неодночасно: збудження коливань у точці A почнеться раніше, ніж у точці B , на час $\Delta t = \frac{CB}{v}$, де v — швидкість поширення

хвилі. У момент, коли хвиля досягне точки B , вторинна хвиля з центром у точці A вже пошириться на певну відстань і являтиме собою півсферу радіуса $r = AD = v\Delta t = CB$. Вторинні хвилі, збуджені в точках, розташованих між точками A і B , теж являтимуть собою півсфери, але меншого радіуса. Обвідною вторинних хвиль (хвильова поверхня відбитої хвилі) є площина DB , дотична до сферичних поверхонь. Промені AA_2 і BB_2 , що перпендикулярні до хвильової поверхні DB , зададуть напрямок поширення відбитої хвилі.

У прямокутних трикутниках ABD і BAC гіпотенуза AB спільна, катет AD дорівнює катету CB , отже, ці трикутники рівні, тоді $\angle DBA = \angle CAB$. Водночас $\angle \alpha = \angle CAB$, $\angle \beta = \angle DBA$ як кути з відповідно перпендикулярними сторонами. Отже, кут падіння α дорівнює куту відбивання β . Крім того, як випливає з побудови, *падаючий промінь, промінь відбитий і перпендикуляр, поставлений із точки падіння до поверхні відбивання, лежать в одній площині*. Таким чином, ми вивели закон відбивання світла на основі принципу Гюйгенса.

4 Дифузне та дзеркальне відбивання світла

Ми бачимо тіла навкруги нас лише тоді, коли в наше око потрапляють пучки світла. Але більшість тіл, що нас оточують, не є джерелами світла — ми бачимо їх тому, що вони відбивають світло, яке падає на поверхню цих тіл від якого-небудь джерела. Розрізняють *дзеркальне* та *дифузне* (розсіяне) відбивання світла.

Якщо на дифузно відбиваючу поверхню падає паралельний пучок світлових променів, то внаслідок різного нахилу окремих ділянок відбиваючої поверхні відбиті промені поширюються в будь-якому напрямку (рис. 39.7, а). Тому ми можемо бачити освітлений предмет із будь-якого боку. Більшість поверхонь відбиває світло дифузно.

Якщо паралельний пучок світлових променів, що падає на плоску поверхню поділу двох середовищ, після відбивання від поверхні залишається паралельним, то таке відбивання називається дзеркальним (рис. 39.7, б), а сама поверхня — *плоским дзеркалом*. Правила побудови зображень у плоскому дзеркалі ви вивчали в 7-му класі (рис. 39.8).

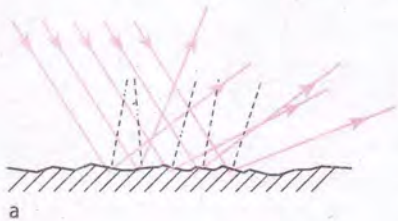


Рис. 39.7. Відбивання світла: а — дифузне (розсіяне), б — дзеркальне

Чим більш гладенькою є поверхня, тем менше розсіюється світло, тому, наприклад, ми не бачимо поверхню чистого дзеркала — бачимо лише уявні зображення предметів у ньому.



Рис. 39.8. Зображення в плоскому дзеркалі: а — предмета, б — точки S . Зображення є уявним і симетричним предмету або точці відносно поверхні дзеркала

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Два плоских прямокутних дзеркала утворюють двогранний кут 150° . На відстані 10 см від лінії дотику дзеркал і на однаковій відстані від кожного з них розташоване точкове джерело світла. Визначте відстань між уявними зображеннями джерела світла у дзеркалах.

l — ?

Дано:

$\alpha = 150^\circ$

$d = 10$ см

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі, розв'язання. Згадавши, що точка та її зображення симетричні відносно поверхні дзеркала, побудуємо зображення джерела S у кожному із дзеркал (рисунок).

Оскільки $SA \perp ON$ і $SB \perp OM$, то $\angle BSA = \angle \beta$ як кути з відповідно перпендикулярними сторонами, причому $\beta = 180^\circ - \alpha$ (1). Прямокутні трикутники SBO і SAO рівні: вони мають спільну гіпотенузу SO та рівні катети ($SB = SA$ за умовою задачі). Отже, $\angle OSA = \angle OSB = \frac{\beta}{2}$; $SB = SA = SO \cos \frac{\beta}{2} = d \cos \frac{\beta}{2}$ (2).

Сполучивши точки S_1 і S_2 , отримаємо два рівні прямокутні трикутники SKS_1 і SKS_2 .

Звідси $l = S_1S_2 = 2S_1K = 2SS_1 \sin \frac{\beta}{2}$, де $SS_1 = 2SA$. Враховуючи рівності (1)

і (2), остаточно маємо: $l = 2 \cdot 2d \cos \frac{\beta}{2} \sin \frac{\beta}{2} = 2d \sin \beta = 2d \sin(180^\circ - \alpha)$.

Визначимо значення шуканої величини:

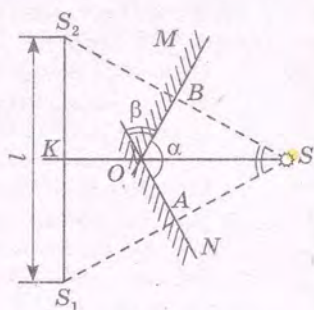
$$l = 2 \cdot 10 \text{ см} \cdot \sin(180^\circ - 150^\circ) = 10 \text{ см}.$$

Відповідь: відстань між зображеннями $l = 10$ см.

Підбиваємо підсумки

Геометрична оптика — розділ оптики, який вивчає закони поширення світла в прозорих середовищах і принципи побудови зображень в оптичних системах без урахування хвильових властивостей світла.

Світловий промінь — це лінія, вздовж якої поширюється потік світлової енергії.



В основі геометричної оптики лежать чотири закони: 1) закон прямолінійного поширення світла (в однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно); 2) закон незалежного поширення світла (окремі пучки світла не впливають один на одного й поширюються незалежно); 3) закон відбивання світла (промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, поставлений із точки падіння променя, лежать в одній площині; кут відбивання дорівнює куту падіння); 4) закон заломлення світла. Ці закони дозволяють описати поширення світла в різних оптичних системах.



Контрольні запитання

1. Що є об'єктом вивчення геометричної оптики?
2. Дайте визначення світлового променя.
3. Сформулюйте закони: прямолінійного поширення світла; незалежного поширення світла; відбивання світла. Наведіть приклади, які їх ілюструють.
- ★ 4. Сформулюйте та поясніть принцип Ферма.
- ★ 5. Дайте визначення кута падіння; кута відбивання.
6. Опишіть дослід, за допомогою якого можна перекоонатись у справедливості закону відбивання світла.
7. У чому полягає властивість оборотності світлових променів?
8. Доведіть закон відбивання світла, користуючись принципом Гюйгенса.
9. Чому ми бачимо тіла, які нас оточують?
10. Яке відбивання світла називається дзеркальним? дифузним?
11. Які характеристики має зображення предмета в плоскому дзеркалі?



Вправа № 29

1. Як має бути розташоване око, щоб через невелику щілину в паркані можна було б бачити якомога більше предметів? Відповідь поясніть.
2. Кут між падаючим і відбитим променями становить 80° . Чому дорівнює кут падіння променя?
3. Сонячний промінь відбивається від поверхні озера. Кут між падаючим променем і горизонтом удвічі більший, ніж кут між падаючим і відбитим променями. Чому дорівнює кут падіння променя?
4. Промінь, напрямлений горизонтально, падає на вертикальний екран. Коли на шляху променя розташували плоске дзеркало, світлова пляма на екрані змістилася вгору на 20 см. Визначте кут падіння променя на дзеркало, якщо відстань від дзеркала до екрана 40 см.
5. Дерево, освітлене сонячними променями, відкидає тінь завдовжки 25 м. Сійка футбольних воріт, висота якої 2,44 м, відкидає тінь завдовжки 2,0 м. Знайдіть висоту дерева.