



## § 25. ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА



Т. Г. Шевченко  
(акварель, 1850)

У Козьми Прутькова є афоризм: «Якщо в тебе запитано буде: що корисніше — Сонце чи Місяць? — відповідай: Місяць. Оскільки Сонце світить удень, коли й без того видно, а Місяць — уночі». А чи можна назвати Місяць джерелом світла? Зрозуміло, що ні, адже Місяць лише відбиває світло, джерелом якого є Сонце. Закони відбивання світла, як і закон прямолінійного поширення світла, встановив *Евклід* ще у III ст. до н. е. Згадаємо ці закони.

### Принцип Ферма

Узагальненням усіх законів геометричної оптики є *принцип найменшого часу*, названий на честь французького математика *П'єра де Ферма* (1601–1665) **принципом Ферма**: *світло завжди обирає таку траєкторію, щоб на подолання відстані між двома точками витратити найменший час*. Спираючись на принцип Ферма, можна математично вивести всі закони геометричної оптики.

Наприклад, найкоротшою відстанню між двома точками є довжина відрізка прямої, що сполучає ці точки. Якщо середовище *однорідне*, то швидкість світла не змінюється, отже, щоб витратити найменший час, світло в однорідному середовищі поширюється *прямолінійно*. Якщо середовище *неоднорідне*, то світло все одно «обере» найменший час: «траєкторія» його поширення викривиться — світло *заломиться*.

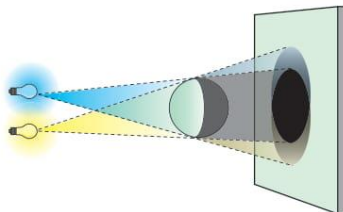


Рис. 25.1. Утворення тіні й півтіні

### 1 Закони геометричної оптики

**Геометрична оптика** — це розділ оптики, який вивчає закони поширення світла в прозорих середовищах і принципи побудови зображень в оптичних системах без урахування хвильових властивостей світла. Основним поняттям геометричної оптики є *світловий промінь*.

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

Світловий промінь — суто геометричне поняття, його використовують для схематичного зображення світлових пучків. Навіть коли говорять «промінь сонця», «заломлений промінь», «відбитий промінь» тощо, мають на увазі саме пучок світла, напрямком якого заданий цим променем.

В основу геометричної оптики покладено низку законів, установлених експериментально.

- **Закон прямолінійного поширення світла**: в однорідному прозорому середовищі світло поширюється прямолінійно\*.

- **Закон незалежного поширення світла**: окремі пучки світла не впливають один на одного і поширюються незалежно.

- **Закони відбивання і заломлення світла**.

**?** Згадайте, наслідком якого із зазначених законів є утворення тіні й півтіні (рис. 25.1); отримання зображення в дзеркалі; отримання зображення в лінзі.

\* Власне в геометрії терміни «промінь» і «пряма лінія» виникли саме на основі уявлень про світлові промені.

## 2 Згадуємо закони відбивання світла

В однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно, доки не досягне межі з іншим середовищем (наприклад, з поверхнею тіла). На межі поділу середовищ частина світлової енергії повертається в перше середовище — це явище називають **явищем відбивання світла**.

Якщо на дзеркало, закріплене в центрі оптичної шайби, спрямувати вузький пучок світла так, щоб він давав на поверхні шайби світлу смужку, побачимо, що відбитий пучок також дасть на поверхні шайби світлу смужку (рис. 25.2).

Промінь, що задає напрямок пучка світла, який падає на деяку поверхню, називають **падаючим променем**; промінь, який задає напрямок відбитого пучка світла, називають **відбитим променем**.

Із курсу фізики 9-го класу ви знаєте, що *кут  $\alpha$  між падаючим променем і перпендикуляром, проведеним із точки падіння променя до поверхні відбивання, називають кутом падіння*; *кут  $\beta$  між відбитим променем і даним перпендикуляром називають кутом відбивання*.

Пересуваючи джерело світла й вимірюючи кути падіння й відбивання світла, можна переконатися: вони щоразу будуть *рівними* (рис. 25.3).

Звернемо увагу на те, що *падаючий промінь, відбитий промінь і перпендикуляр до поверхні відбивання лежать в одній площині* — в площині поверхні шайби, та сформулюємо **закони відбивання світла**:

1. Промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині.
2. Кут відбивання світла дорівнює куту його падіння:  $\beta = \alpha$ .

Із закону відбивання світла випливає **оборотність світлових променів**: *якщо падаючий промінь спрямувати шляхом відбитого променя, то відбитий промінь піде шляхом падаючого* (рис. 25.4).



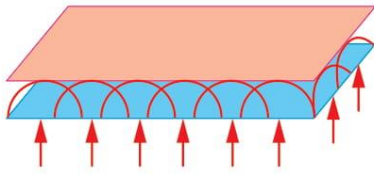
**Рис. 25.2.** Установлення законів відбивання світла:  $CO$  — падаючий промінь;  $OK$  — відбитий промінь;  $\alpha$  — кут падіння;  $\beta$  — кут відбивання



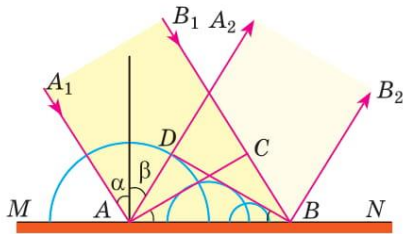
**Рис. 25.3.** Зі зміною кута падіння світла змінюється й кут його відбивання. Кут відбивання щоразу дорівнює куту падіння



**Рис. 25.4.** Демонстрація оборотності світлових променів: відбитий промінь іде шляхом падаючого променя



**Рис. 25.5.** Будь-яка хвильова поверхня плоскої хвилі являє собою площину, а промені, що задають напрямок поширення хвилі, паралельні один одному



**Рис. 25.6.** Відбивання плоскої хвилі від плоскої поверхні  $MN$ : хвильова поверхня падаючої хвилі — площина  $AC$ , відбитої хвилі — площина  $DB$ ;  $\alpha$  — кут падіння,  $\beta$  — кут відбивання

У прямокутних трикутниках  $ADB$  і  $ACB$  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  $\alpha$  дорівнює куту відбивання  $\beta$ . Крім того, як випливає з побудови, *падаючий промінь, промінь відбитий і перпендикуляр, проведений із точки падіння променя до поверхні його відбивання, лежать в одній площині*. Таким чином, ми отримали закони відбивання світла на основі принципу Гюйгенса.

#### 4 Чому ми бачимо тіла навколо

Ви бачите тіла лише тоді, коли від цих тіл у ваше око потрапляють пучки світла. Проте більшість тіл, що нас оточують, не є джерелами світла — ми бачимо їх тому, що вони відбивають світло, яке падає на їхню поверхню від якого-небудь джерела. Світло не тільки відбивається від фізичних тіл, але й поглинається ними. Найкращі відбивачі світла — дзеркала і тіла білого кольору: вони можуть відбивати до 95 % падаючого світла.

Розрізняють *дзеркальне відбивання світла* (від гладеньких поверхонь) і *дифузне (розсіяне) відбивання світла* (від нерівних, шорстких поверхонь).

#### 3 Теоретичне доведення законів відбивання світла

Закони відбивання світла можна отримати, скориставшись принципом Гюйгенса. Для цього розглянемо плоску хвилю (рис. 25.5), що падає на межу поділу двох середовищ.

Напрямок поширення хвилі задамо променями  $A_1A$  і  $B_1B$ , які паралельні один одному та перпендикулярні до хвильової поверхні  $AC$  (рис. 25.6).

Різні ділянки хвильової поверхні досягають межі відбиття  $MN$  неодноразом: збудження коливань у точці  $A$  почнуться 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 із центром у точці  $A$  вже пошириться на певну відстань і являтиме собою півсферу радіуса  $r = AD = v\Delta t = CB$ . У той самий час вторинні хвилі, збуджені в точках, розташованих між точками  $A$  і  $B$ , теж являтимуть собою півсфери, але менших радіусів. Хвильова поверхня відбитої хвилі — площина  $DB$  — дотична до цих півсфер. Промені  $AA_2$  і  $BB_2$ , що перпендикулярні до хвильової поверхні  $DB$ , задають напрямок поширення відбитої хвилі.

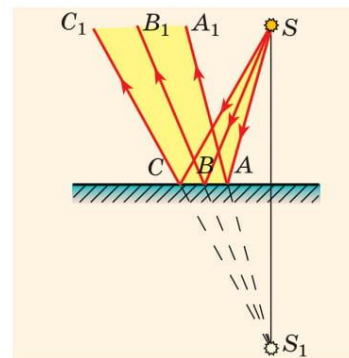
Дзеркальне відбивання	Дифузне (розсіяне) відбивання
<p>Відбивання світла є <b>дзеркальним</b>, якщо паралельний пучок світлових променів, що падає на плоску поверхню, після відбивання від поверхні залишається паралельним.</p> <p>Після дзеркального відбивання світла, яке надходить від точкового джерела <math>S</math>, продовження відбитих променів перетинаються в одній точці <math>S_1</math>, яка є <b>уявним зображенням</b> точки <math>S</math>. Зображення сукупності точок предмета дає зображення предмета.</p>  <p>Дзеркальне відбивання можливе тільки від дуже гладеньких поверхонь. Їх так і називають — <b>дзеркальні поверхні</b>. Плоску дзеркальну поверхню називають <b>плоским дзеркалом</b>.</p>	<p>Відбивання світла є <b>дифузним</b>, якщо паралельні світлові промені, що падають на плоску поверхню, після відбивання від поверхні поширюються в різних напрямках.</p> <p>Якщо світло надходить від точкового джерела <math>S</math> і відбивається дифузно, то продовження відбитих променів не перетинаються в одній точці, тому ми <b>не отримуємо зображення</b>.</p>  <p>Оскільки після дифузного відбивання відбиті промені поширюються в різних напрямках, ми можемо бачити освітлений предмет із будь-якого боку. Більшість поверхонь відбиває світло дифузно.</p>

❓ Скориставшись рис. 25.7, згадайте правила побудови зображень у плоскому дзеркалі.



**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, уздовж якої поширюється потік світлової енергії.
  - Основні закони геометричної оптики:
    - ✓ 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;



**Рис. 25.7.** Отримання зображення точкового джерела світла в плоскому дзеркалі:  $S$  — джерело світла;  $S_1$  — уявне зображення джерела світла. Зображення  $S_1$  є симетричним джерелу  $S$  відносно поверхні дзеркала

✓ закони відбивання світла: промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині; кут відбивання світла дорівнює куту його падіння;

✓ закони заломлення світла.

• Закони геометричної оптики дозволяють описати поширення світла в різних оптичних системах.



### Контрольні запитання

1. Що є об'єктом вивчення геометричної оптики? 2. Дайте означення світлового променя. 3. Сформулюйте закони: прямолінійного поширення світла; незалежного поширення світла; відбивання світла. Наведіть приклади, які ілюструють ці закони. 4. Сформулюйте і поясніть принцип Ферма. 5. Дайте означення кута падіння і кута відбивання світла. 6. Доведіть закон відбивання світла, користуючись принципом Гюйгенса. 7. Чому ми бачимо тіла, які нас оточують? 8. Яке відбивання світла називають дзеркальним? дифузним? 9. Які характеристики має зображення предмета в плоскому дзеркалі?



### Вправа № 25

- Від поверхні снігу відбивається до 85 % енергії світла. Чому ж ми тоді не бачимо в снігу своє зображення?
- Кут між падаючим і відбитим променями становить  $80^\circ$ . Чому дорівнює кут падіння?
- Як має бути розташоване око, щоб через невелику щілину в паркані можна було бачити якомога більше предметів? Відповідь поясніть.
- Промінь, напрямлений горизонтально, падає на вертикальний екран. Коли на шляху променя розташували плоске дзеркало, світлова пляма на екрані змістилася на 20 см вгору. Визначте кут падіння променя на дзеркало, якщо відстань від дзеркала до екрана 40 см.
- Скориставшись принципом Ферма, визначте, яким шляхом краще рухатися господині, щоб якнайшвидше набрати води в річці та загасити багаття (рис. 1).
- Від дзеркальної поверхні відбивається не лише видиме світло, але й інфрачервоні (теплові) промені. Як, використовуючи цю властивість, зберегти тепло в будинку?



Рис. 1



### Експериментальне завдання

Розташуйте два дзеркала під кутом  $\alpha = 90^\circ$  одне до одного. Помістіть між дзеркалами якийсь предмет (рис. 2). Скільки зображень ви бачите? Поступово зменшуючи кут між дзеркалами, вимірюйте цей кут кожного разу, коли кількість зображень збільшиться на 1. Установіть математичну залежність між кутом  $\alpha$  і кількістю  $N$  зображень предмета. Скільки зображень предмета ви отримаєте, якщо розташуєте дзеркала навпроти одне одного?



Рис. 2