

§ 24*. ПОВНЕ ВІДБИВАННЯ

■ Наведемо декілька фактів, на перший погляд, зовсім не пов'язаних один з одним: коли по телевізору показують підводні зйомки, поверхня води над підводниками плавання в тиху погоду здається дзеркальною (рис. 3.40); ювеліри огранюють коштовні камені, щоб збільшити їхню привабливість; нині дедалі більше поширюються так звані оптичні лінії зв'язку.

Виявляється, між цими фактами все-таки є спільне: усі вони пов'язані з одним фізичним явищем — повним внутрішнім відбиванням світла.



Рис. 3.40. Спостерігачеві, який перебуває під водою, поверхня води здається блискучою, мов дзеркало

1

Формулюємо гіпотезу повного відбивання

Щоб розібратися в причинах цього фізичного явища й зрозуміти основи його практичного застосування, необхідно повернутися до матеріалу попереднього параграфу, де ми експериментували із заломленням світлового променя. Пригадаймо: якщо пучок світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша, кут заломлення є завжди більшим, ніж кут падіння.

Уявімо тепер, як змінюватиметься кут заломлення світлового пучка в разі збільшення кута його падіння. Для цього схематично зобразимо падіння пучка світла на поверхню поділу середовищ під різними кутами, причому кут падіння пучка світла будемо послідовно збільшувати (рис. 3.41). Порівнюючи рис. 3.41, а і рис. 3.41, б, ми бачимо, як заломлений пучок наближається до межі поділу двох середовищ. Логічно, що в разі подальшого збільшення кута падіння кут заломлення врешті перевищить 90° (рис. 3.41, в). Однак кут, більший за 90° , — це вже не заломлення пучка світла, а його повернення в перше середовище! «Повернення в перше середовище» означає насправді відбивання, причому відбивання *повне*, тому що *весь падаючий пучок світла має повернутися в перше середовище*.

Таким чином, на підставі тільки знань заломлення світла й розмірковувань ми зробили припущення про існування нового для вас явища.

Тепер сформулюймо наше припущення у вигляді *гіпотези*.

Якщо спрямувати під великим кутом падіння пучок світла із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша, то падаючий пучок не проходитьиме в друге середовище, а повністю відіб'ється від межі поділу.

Перевіримо нашу гіпотезу за допомогою експерименту.

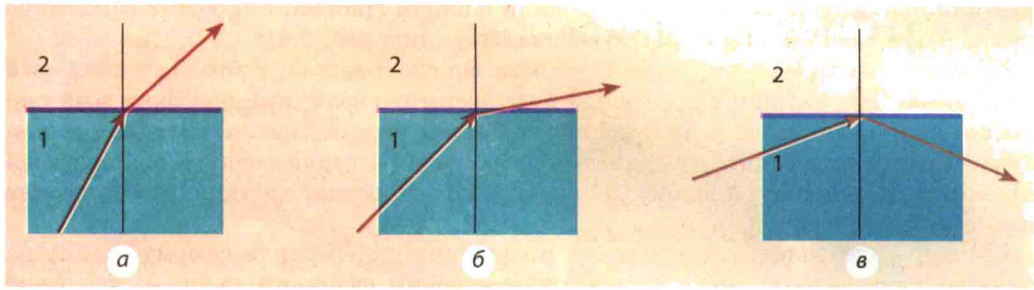


Рис. 3.41. Схематичне зображення променів, що падають на поверхню поділу двох середовищ із середовища 1 з більшою оптичною густиною в середовище 2 з меншою оптичною густиною. Кут падіння променя збільшується від схеми до схеми (від схеми *а* до схеми *в*)

2 Експериментально перевіряємо гіпотезу повного відбивання

Для експерименту вам потрібна тонкостінна скляна посудина, наприклад склянка, приблизно наполовину заповнена холодною водопровідною водою. Для зручності проведення дослідів обрана посудина має бути без малюнка на стінках. Об'єктом спостереження може бути, наприклад, корпус пластмасової ручки яскравого кольору, бажано з написом.

Пропонований дослід необхідно проводити в добре освітленій кімнаті (при сонячному чи штучному освітленні).

Занурте корпус ручки в склянку із водою і, тримаючи склянку в руці, розташуйте його над головою — приблизно на відстані 25—30 см (рис. 3.42). У ході дослідів ви маєте стежити за об'єктом.

Спочатку, підвівши голову, ви будете бачити весь корпус ручки (як ту частину, що є у воді, так і надводну частину). Тепер повільно пересувайте від себе склянку, не змінюючи висоти. Такий рух склянки співвідноситься зі збільшенням кута



Рис. 3.42. Спостереження повного відбиття

падіння пучка світла, про що ми говорили в нашій гіпотезі. Спробуйте самостійно намалювати схему поширення світла (аналог — див. рис. 3.41).

Коли склянка буде достатньо віддалена від спостерігача, тобто від ваших очей (відповідно, кут падіння пучка світла буде достатньо великим), поверхня води стане для вас дзеркальною й ви перестанете бачити частину ручки, що є над водою. Замість цього ви побачите дзеркальне відображення частини корпусу, розташованої під водою. Переконайтеся в тому, що це справді «підводна» частина, вам допоможе напис на корпусі ручки.

Отже, в результаті експерименту ми успішно підтвердили сформульовану на початку параграфа гіпотезу й зустрілися з новим фізичним явищем, яке називають **повне відбивання**. «Повне» — бо в цьому явищі весь світловий пучок відбивається від межі поділу двох середовищ. Найпростіше спостерігати це явище, перебуваючи в межах середовища з більшою оптичною густиною. Любителі підводного плавання зможуть підтвердити все це власними спостереженнями, усім іншим радимо уважно стежити за екраном телевізора, коли показують підводні зйомки (див. рис. 3.40).

Зверніть увагу, що *описуване явище можливе тільки тоді, коли пучок світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша*. Для протилежного випадку (перехід із середовища з меншою оптичною густиною в те, оптична густина якого є більшою) кут заломлення буде меншим, ніж кут падіння. Отже, явище повного внутрішнього відбивання спостерігатися не буде.

Ювеліри протягом сторіч використовують явище повного внутрішнього відбивання світла, щоб підвищити привабливість і цінність коштовних каменів. Природні камені обробляють — огранюють, іншими словами, створюють на поверхні каменя багато площин (граней). Люди зазвичай роздивляються коштовні камені при яскравому світлі. Незалежно від місця розташування джерела світла деякі грані каменя виконуватимуть роль «внутрішніх дзеркал», і камінь «заграє» в променях. Якщо камінь повернути, то внутрішніми дзеркалами стануть інші грані (рис. 3.43).

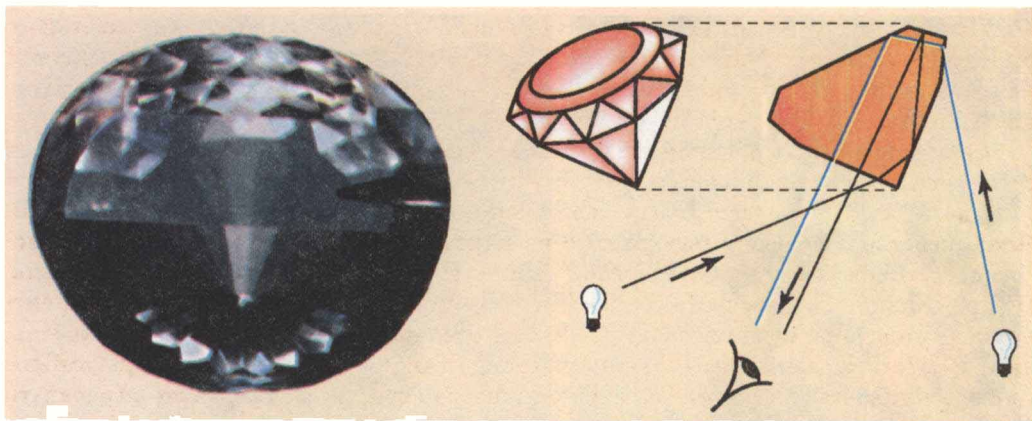


Рис. 3.43. Схема відбивання променів світла від внутрішніх поверхонь коштовних каменів. Якщо промінь світла падає на коштовний камінь, наприклад, із джерела 1, то він відбивається від однієї грані й потрапляє в око спостерігача. Якщо промінь світла падає з джерела 2, то світло відбивається вже від двох граней — і знову потрапляє в око спостерігача. Отже, для спостерігача коштовний камінь виблискує незалежно від того, де розташоване джерело світла

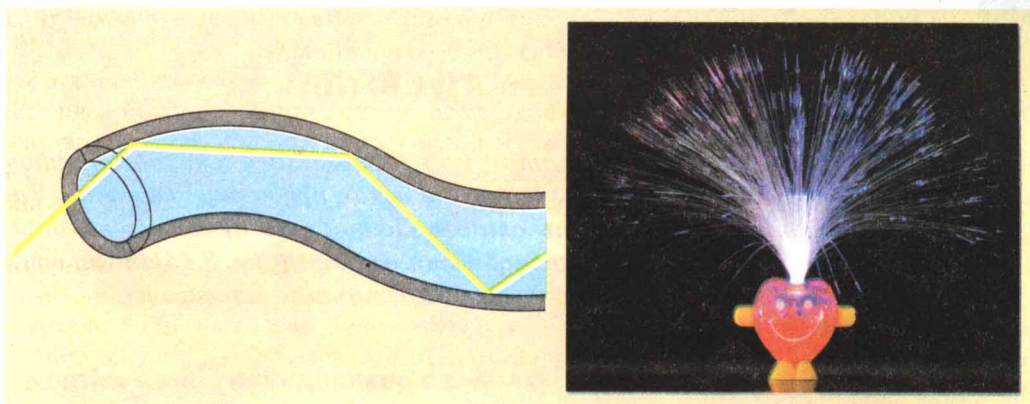


Рис. 3.44. Поширення світлового пучка світловодом

3 Знайомимося з волоконною оптикою

Інтенсивне практичне застосування явища повного відбивання розпочалося тільки в останні 20—30 років. Пов'язане воно зі створенням волоконних оптичних систем.

Якщо в торець скляної пластинки спрямувати пучок світла, то після багаторазового відбивання світло вийде на протилежному боці пластинки (рис. 3.44). До того ж, це відбудеться незалежно від того, якою буде пластинка: вигнутою чи прямою. Тому перші **світловоди** (гнучкі нитки, що проводять світло на основі явища повного внутрішнього відбивання) люди стали використовувати для підсвічування важкодоступних місць. Джерело світла (наприклад ліхтарик) спрямовує світло на один кінець гнучкого світловода, а другий кінець цього світловода освітлює потрібне важкодоступне місце. Цю технологію використовують у медицині для досліджування внутрішніх органів (*ендоскопія*). Застосовують її й у техніці, скажімо, для визначення дефектів усередині моторів без їх розбирання.

Пізніше джгути світловодів стали використовувати як джерела сонячного освітлення закритих приміщень. Наприклад, один кінець світловода розміщують на даху, а другий — у кімнаті без вікон; у результаті в сонячний день природне світло заливає цю кімнату.

Світловоди широко використовують в індустрії розваг — для підсвічування сцен різних шоу, прикрашання вітрин, у дитячих іграшках.

Однак найбільше світловоди поширені як кабелі для передачі інформації. Якщо перетворити певну інформацію на пакет світлових сигналів, то за допомогою світловодів її можна передати на велику відстань практично без викривлень. Поставивши на другому кінці системи зворотний перетворювач (світлових сигналів — на певну інформацію), у результаті одержують вискоєфективний кабель, який є набагато дешевшим і легшим за стандартний мідний, практично не змінює своїх властивостей під впливом навколишнього середовища, дозволяє передавати більше інформації тощо.

Завдяки своїм перевагам такі кабелі стрімко витісняють традиційні проводи. Якщо ще в середині 70-х років минулого століття ці системи були доволі екзотичними, то вже в 1988 році дном Атлантичного океану прокладено перший волоконно-оптичний кабель. Сьогодні ВОЛЗ (волоконно-оптичні лінії зв'язку) — це телефонний зв'язок між найбільшими містами України, Інтернет і багато іншого.