

§ 23. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

■ Чому ложка, опущена в склянку з водою, здається нам зламаню на межі повітря і води? Що таке оптична густина середовища? Як поводить ся світло, переходячи з одного середовища в інше? Про все це ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Проводимо досліді із заломлення світла

Проведемо такий експеримент. Спрямуємо на поверхню води в широкій посудині вузький пучок світла під деяким кутом до поверхні. Ми помітимо, що в точках падіння промені не тільки відбиваються від поверхні води, а й частково проходять у воду, змінюючи при цьому свій напрямок (рис. 3.33).

Зміну напрямку поширення світла в разі його проходження через межу поділу двох середовищ називають **заломленням світла**.

Першу згадку про заломлення світла можна знайти в працях давньогрецького філософа *Арістотеля*, який ставив собі питання: чому палиця у воді здається переламаною? А в одному з давньогрецьких трактатів

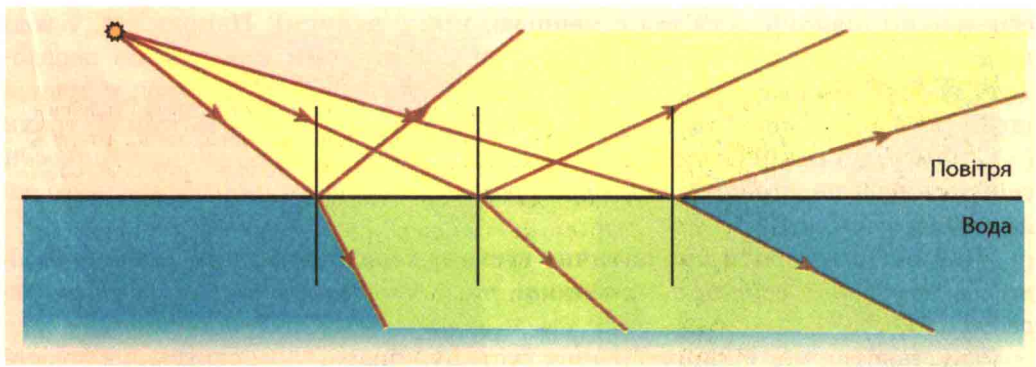


Рис. 3.33. Схема досліду з демонстрації заломлення світла. Переходячи з повітря у воду, промінь світла змінює свій напрямок, зміщуючись до перпендикуляра, поставленого в точці падіння променя

описано такий дослід: «Потрібно стати так, щоб пласке кільце, покладене на дно посудини, сховалося за її краєм. Потім, не змінюючи положення очей, налити в посудину воду. Промінь світла заломиться на поверхні води, і кільце стане видимим». Аналогічний дослід проілюстровано на рис. 3.34.

2 З'ясуємо причину заломлення світла

То чому ж світло, переходячи з одного середовища в інше, змінює свій напрямок?

Ми вже знаємо, що світло у вакуумі поширюється хоч і з величезною, проте скінченною швидкістю — близько 300 000 км/с. У будь-якому іншому

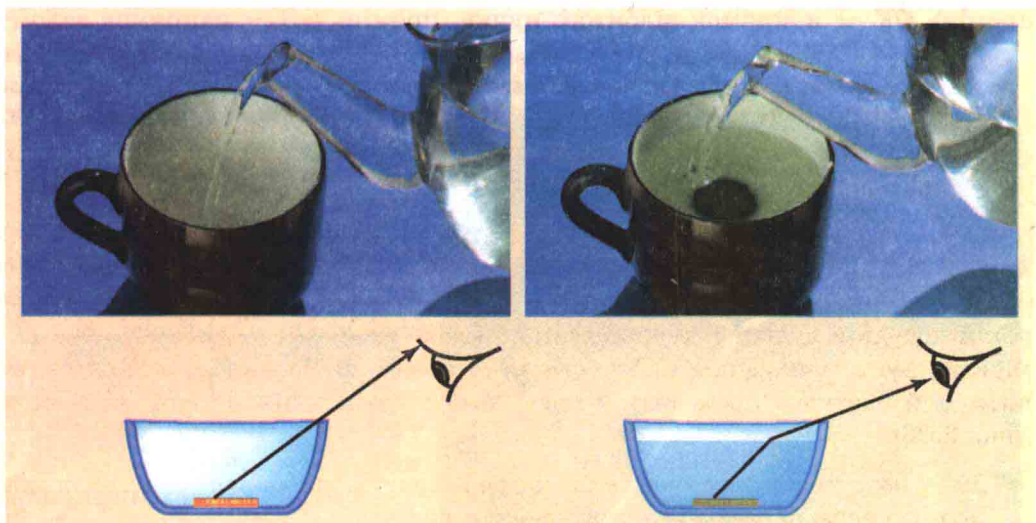


Рис. 3.34. На рисунку та схемі ліворуч у чашці немає води; пучок світла, відбитий монетою, не потрапляє в око спостерігачеві, тому той монети не бачить. На рисунку та схемі праворуч у чашку налито воду; відбите монетою світло, заломлюючись на межі «вода — повітря», сягає ока спостерігача — його око розташоване так само, як і доти, проте монета стає для спостерігача видимою

середовищі швидкість світла є меншою, ніж у вакуумі. Наприклад, у воді швидкість світла в 1,33 разу менша, ніж у вакуумі; коли світло переходить із води в алмаз, його швидкість зменшується ще в 1,8 разу; у повітрі швидкість поширення світла у 2,4 разу більша, ніж в алмазі, і лише трохи ($\approx 1,0003$ разу) менша за швидкість світла у вакуумі. Саме зміна швидкості світла в разі переходу з одного прозорого середовища в інше є причиною заломлення світла.

Прийнято говорити про **оптичну густину середовища**: чим менша швидкість поширення світла в середовищі, тим більшою є оптична густина середовища.

Так, повітря має більшу оптичну густину, ніж вакуум, оскільки в повітрі швидкість світла дещо менша, ніж у вакуумі. Оптична густина води менша, ніж оптична густина алмазу, оскільки швидкість світла у воді більша, ніж в алмазі.

Чим більше відрізняються оптичні густини двох середовищ, тим більше заломлюється світло на межі їх поділу. Іншими словами, чим більше змінюється швидкість світла на межі поділу двох середовищ, тим сильніше воно заломлюється.

3

Установлюємо, що відбувається під час заломлення світла

Розгляньмо явище заломлення світла докладніше. Для цього знову скористаємося оптичною шайбою. Установивши в центрі диска скляний півциліндр, спрямуємо на нього вузький пучок світла (рис. 3.35). Частина пучка відіб'ється від поверхні півциліндра, а частина пройде крізь неї, змінивши свій напрямок (заломиться).

На схемі праворуч промінь SO задає напрямок падаючого пучка світла, промінь OK — напрямок відбитого пучка, промінь OB — напрямок залом-

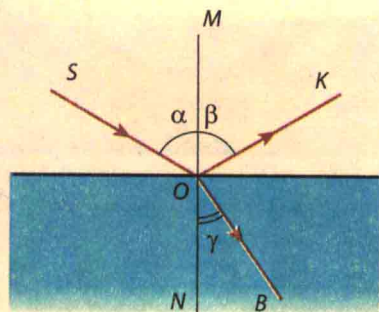
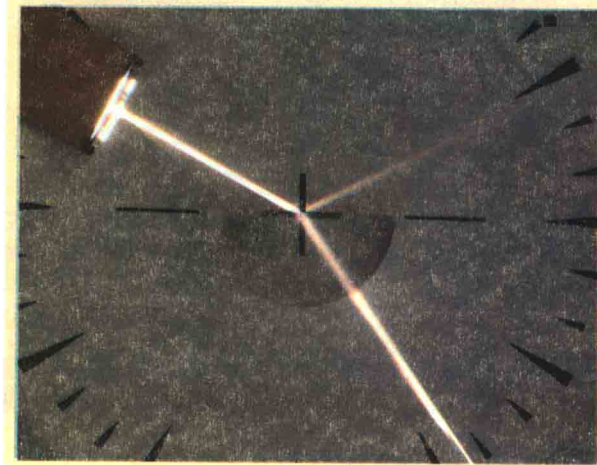


Рис. 3.35. Спостереження заломлення світла за допомогою оптичної шайби. α — кут падіння, β — кут відбивання, γ — кут заломлення світлового пучка

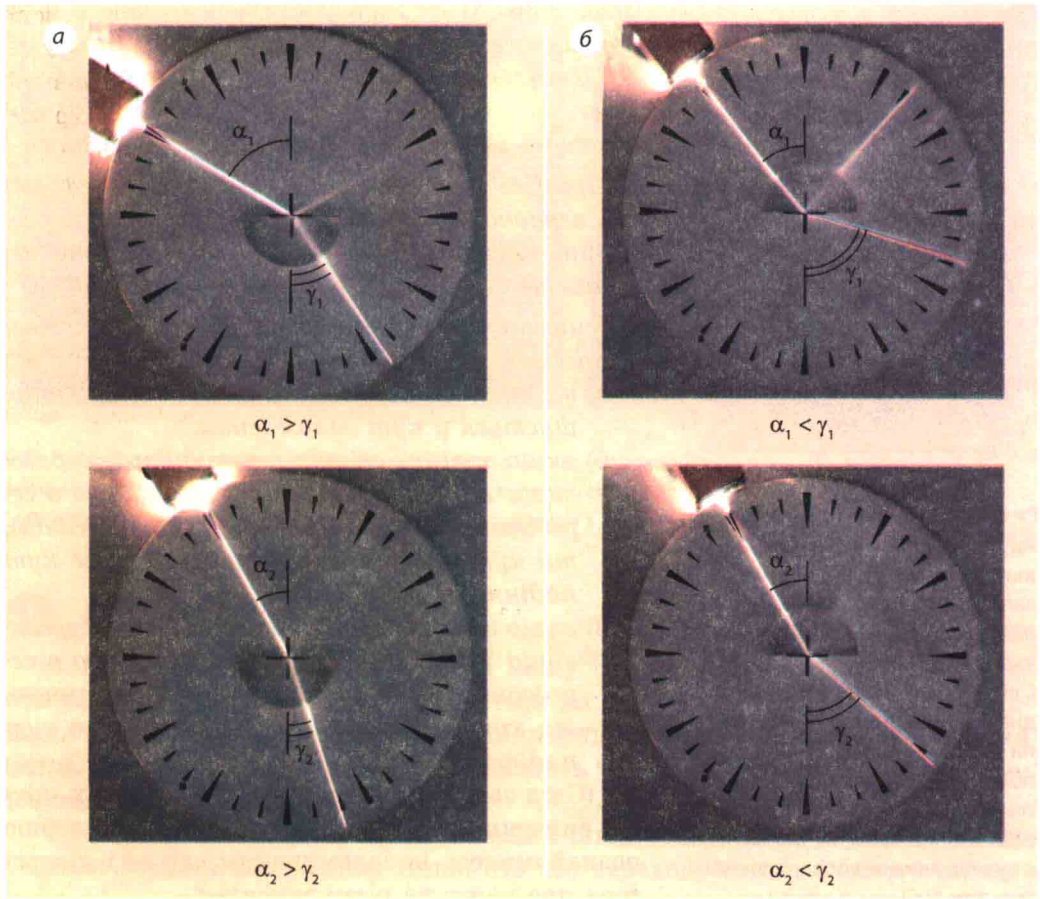


Рис. 3.36. Установлення закономірностей заломлення світла (α_1, α_2 — кути падіння, γ_1, γ_2 — кути заломлення). У разі збільшення кута падіння світла збільшується й кут його заломлення. Якщо світло падає із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною (з повітря в скло) (а), то кут падіння більший за кут заломлення. Якщо навпаки (зі скла в повітря) (б), то кут заломлення більший за кут падіння

леного пучка; MN — перпендикуляр, поставлений у точці падіння променя SO . Усі зазначені промені лежать в одній площині — у площині поверхні диска.

Кут, утворений заломленим променем і перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точці падіння променя, називається кутом заломлення.

Якщо тепер збільшити кут падіння, то ми побачимо, що збільшиться й кут заломлення. Зменшуючи кут падіння, ми помітимо зменшення кута заломлення (рис. 3.36).

Співвідношення значень кута падіння і кута заломлення у випадку переходу пучка світла з одного середовища в друге залежить від оптичної густини кожного із середовищ. Якщо, наприклад, світло падає з повітря на скло (рис. 3.36, а), то кут заломлення завжди буде меншим, ніж кут падіння ($\gamma_1 < \alpha_1, \gamma_2 < \alpha_2$). Якщо ж промінь світла спрямувати зі скла в повітря

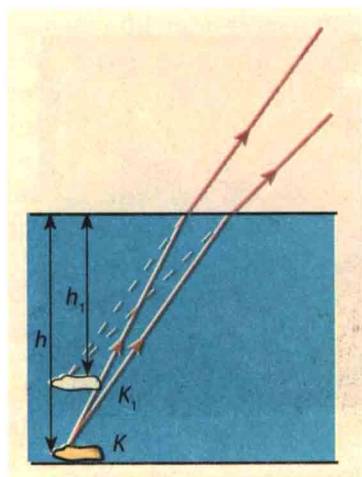


Рис. 3.37. Промені світла, що йдуть, наприклад, від камінця K , який лежить на дні водойми, заломлюються на межі «вода — повітря». У результаті ми бачимо уявне зображення камінця — K_1 і, відповідно, уявне зображення дна. Таким чином, визначаючи на око глибину водойми, ми помиляємося: нам здається, що глибина водойми — h_1 замість реальної глибини h . (Чим меншим є кут, під яким ми роздивляємося дно, тим більша похибка.)

(рис. 3.36, б), то кут заломлення завжди буде більшим, ніж кут падіння ($\gamma_1 > \alpha_1$, $\gamma_2 > \alpha_2$).

Нагадаємо, що оптична густина скла є більшою від оптичної густини повітря, і сформулюємо **закономірності заломлення світла**.

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, поставлений у точці падіння променя, лежать в одній площині.
2. Існують такі співвідношення між кутом падіння і кутом заломлення:
 - а) у разі збільшення кута падіння збільшується й кут заломлення;
 - б) якщо промінь світла переходить із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною, то кут заломлення є меншим, ніж кут падіння;
 - в) якщо промінь світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною, то кут заломлення є більшим, ніж кут падіння.

(Слід зазначити, що в старших класах, після вивчення курсу тригонометрії, ви глибше познайомитеся із заломленням світла і дізнаєтеся про нього на рівні законів.)



Пояснюємо заломленням світла деякі оптичні явища

Коли ми, стоячи на березі водойми, намагаємося на око визначити її глибину, вона завжди здається меншою, ніж є насправді. Це явище пояснюється заломленням світла (рис. 3.37).

Наслідком заломлення світла в атмосфері Землі є той факт, що ми бачимо Сонце й зорі трохи вище від їхнього реального положення (рис. 3.38). Заломленням світла можна пояснити ще багато природних явищ: виникнення міражів і веселки та ін.

Явище заломлення світла є основою роботи численних оптичних пристроїв (рис. 3.39). Із деякими з них ми познайомимось у наступних параграфах, із деякими — в ході подальшого вивчення фізики.

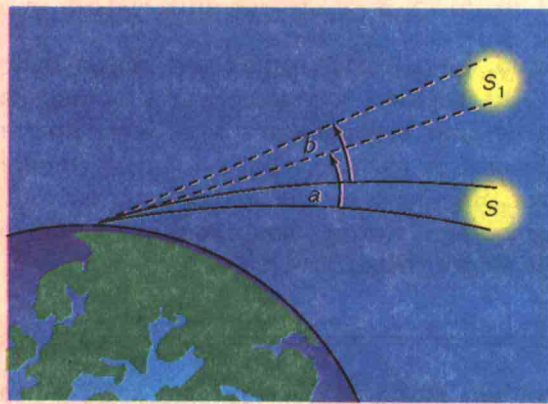


Рис. 3.38. Пучок світлових променів, який іде від Сонця (положення Сонця — S), заломлюється (крива a) в атмосфері Землі. Спостерігачеві здається, що світло поширюється по прямій b і, що Сонце є розташованим вище, ніж насправді (положення S_1)



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Світловий пучок, падаючи на межу поділу двох середовищ, які мають різну оптичну густину, поділяється на два пучки. Один із них — відбитий — відбивається від поверхні, підпорядковуючись законам відбивання світла. Другий — заломлений — проходить через межу поділу в друге середовище, змінюючи свій напрямок.

Причина заломлення світла — зміна швидкості світла в разі переходу з одного середовища в інше. Якщо під час переходу світла з одного середовища в інше швидкість світла зменшилася, то говорять, що світло перейшло із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною, і навпаки.

Заломлення світла відбувається за певними законами.



Рис. 3.39. Оптичні пристрої, робота яких базується на явищі заломлення світла



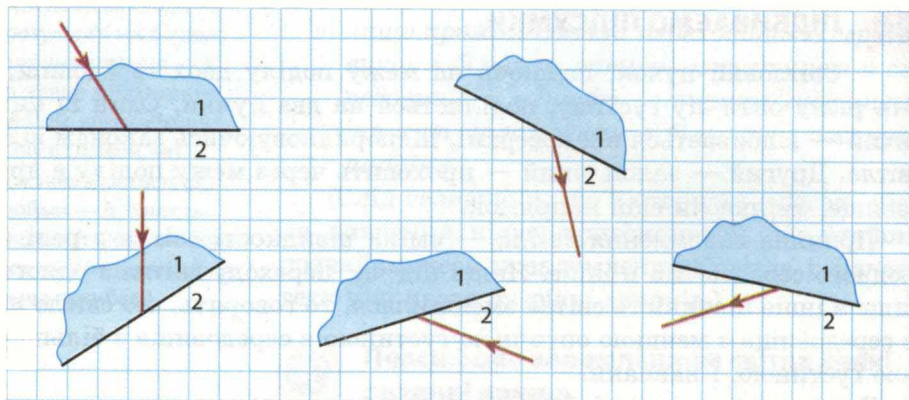
Контрольні запитання

1. Яке явище ми спостерігаємо, коли світло проходить через межу поділу двох середовищ?
2. Які досліди підтверджують явище заломлення світла на межі поділу двох середовищ?
3. У чому причина заломлення світла?
4. Швидкість світла у воді в 1,3 разу менша, ніж швидкість світла в повітрі. Яке середовище має більшу оптичну густину?
5. Який кут називається кутом заломлення?
6. Сформулюйте закономірності заломлення світла.

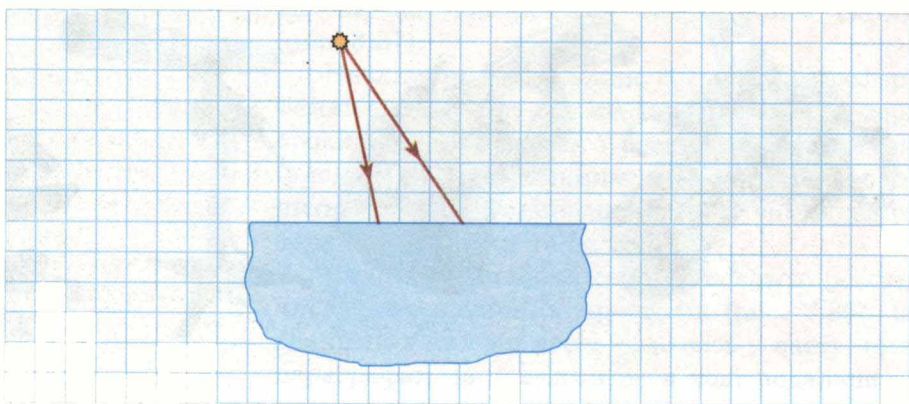


Вправи

1. Визначте кут падіння променя, якщо заломлений промінь є перпендикулярним до межі поділу двох середовищ.
2. Перенесіть рисунок до зошита. Вважаючи, що середовище 1 має більшу оптичну густину, ніж середовище 2, для кожного випадку схематично побудуйте падаючий або заломлений промінь, позначте кут падіння й кут заломлення.



3. Пучок світла падає з повітря на поверхню скла (див. рисунок). Перенесіть рисунок до зошита та схематично покажіть подальший хід пучка світла в склі та повітрі.



4. Промінь світла падає з повітря у воду під кутом 60° . Кут між відбитим і заломленим променями становить 80° . Обчисліть кут заломлення променя.
5. Обчисліть швидкість світла в алмазі.
6. Якщо дивитися на предмети крізь тепле повітря, яке піднімається від багаття, то здаватиметься, що предмети коливаються. Чому?
7. У чистому ставку можна бачити риб. Глибина, на якій плаває риба, є меншою, більшою чи дорівнює тій глибині, на якій ви її бачите? Обґрунтуйте свою відповідь за допомогою схематичного рисунка.



Експериментальні завдання

1. Покажіть і поясніть кому-небудь зі своїх друзів чи близьких згаданий у параграфі дослід із кільцем, що був описаний в одному з давньогрецьких трактатів (зрозуміло, що замість кільця можна скористатися й іншим предметом).
2. Приготуйте насичений розчин кухонної солі, додаючи сіль у теплу воду доти, доки сіль перестане розчинятися. Дайте розчину відстоятися протягом кількох годин і обережно перелийте його в чисту банку. Опустіть у розчин скляну паличку (кульку). Поясніть, чому занурений предмет практично не видно.

Фізика й техніка в Україні



Видатний фізик **Леонід Ісаакович Мандельшам** (1879—1944) народився в Могильові. Незабаром сім'я переїхала до Одеси, де Мандельшам навчався в гімназії. Згодом він закінчив фізико-математичний факультет Новоросійського університету.

Л. І. Мандельшам вивчав поширення електромагнітних хвиль, перш за все — видимого світла. Він виявив цілий ряд ефектів, деякі нині носять його ім'я (комбінаційне розсіювання світла, ефект Мандельштама—Бріллюена тощо).

Величезною є роль Л. І. Мандельштама в підготуванні нових поколінь фізиків. Він був одним із організаторів Політехнічного інституту в Одесі. Серед його учнів — видатні фізики І. Є. Тамм, М. Д. Папалексі, М. О. Леонтович, Г. С. Ландсберг та інші.