

Тема 28. Променева оптика.

Оптика – розділ фізики, що вивчає явища, пов'язані з поширенням електромагнітних хвиль видимого діапазону та з їхньою взаємодією з речовиною.

Останнім часом до об'єктів вивчення оптики також відносять електромагнітні хвилі інфрачервоного та ультрафіолетового діапазонів.

Дві основні теорії світла виникли наприкінці XVII століття, це *корпускулярна* теорія І. Ньютона і *хвильова* теорія нідерландського фізика Крістіана Гюйгенса.

Згідно з **корпускулярною теорією Ньютона**, *світло – це потік частинок (корпускул), що випускаються світними тілами*, причому рух світлових корпускул підпорядковується законам механіки. Відбиття світла Ньютон пояснював пружним відбиванням корпускул від поверхні, на яку падає світло, а заломлення світла – зміною швидкості корпускул внаслідок їх притягування до частинок заломного середовища. Ньютону також належить *теорія кольору*. Положення корпускулярної теорії Ньютон виклав у монографії «Оптика» (1704 рік).

«Трактат про світло» Гюйгенса (1690 рік) увійшов в історію науки як перша наукова праця з *хвильової оптики*.

Згідно з **хвильовою теорією Гюйгенса**, *світло – це хвилі, що поширюються у світловому ефірі – гіпотетичному пружному середовищі, яке заповнює весь світловий простір, а також проміжки між дрібними частинками тіл*.

Принцип Гюйгенса: кожна точка середовища, до якої дійшли коливання, сама стає джерелом вторинних хвиль.

На початку XIX століття з'явилися роботи англійського фізика *Томаса Юнга* і французького фізика *Огюстена Жана Френеля*, які, досліджуючи світло, спостерігали явища, характерні лише для хвиль: явище огинання світлом перешкод (дифракція) та явище посилення й послаблення світла при накладанні світлових пучків (інтерференція).

На основі своїх теоретичних досліджень у 60-х роках XIX ст. Дж. Максвелл дійшов висновку, що *світло – це окремий випадок електромагнітних хвиль*. Після дослідів Г. Герца жодних сумнівів щодо *електромагнітної природи світла* не залишилось.

На початку ХХ ст. з'ясувалося, що електромагнітної теорії недостатньо для пояснення явищ, які виникають під час взаємодії світла з речовиною. До них насамперед належать процеси поглинання й випромінювання світла, явище фотоефекту та ін. Ці явища можна пояснити тільки з позицій квантової теорії світла. Кожен окремий квант світла має властивості частинки, а сукупність квантів поводить себе подібно до хвилі. Така двоїста природа світла отримала назву **корпускулярно-хвильовий дуалізм**.

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.

Прозорим називається середовище, в якому світлова хвиля без помітного зменшення енергії може проходити відстані, що істотно перевищують довжину хвилі.

Лінія, вздовж якої поширюється потік світлової енергії, називається **світловим променем**. Світловий промінь – це суто геометричне поняття, його використовують для схематичного зображення *світлових пучків*.

В основу геометричної оптики покладено низку простих законів:

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

Узагальненням всіх законів геометричної оптики є **принцип найменшого часу (принцип 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.

Закони відбивання світла:

- промінь, що падає на межу двох середовищ AO , відбитий промінь OB і перпендикуляр до межі поділу лежать в одній площині (див. рис. 1);
- кут падіння α дорівнює куту відбивання β (див. рис. 2).

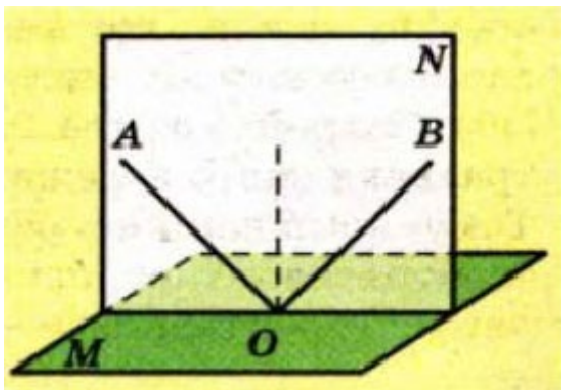


Рис. 1

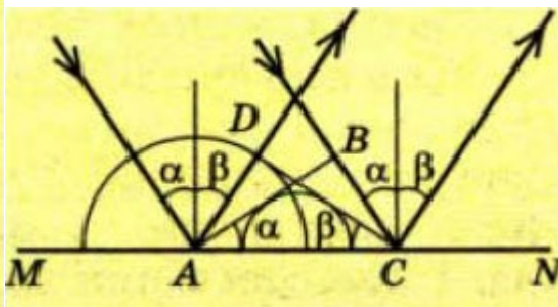
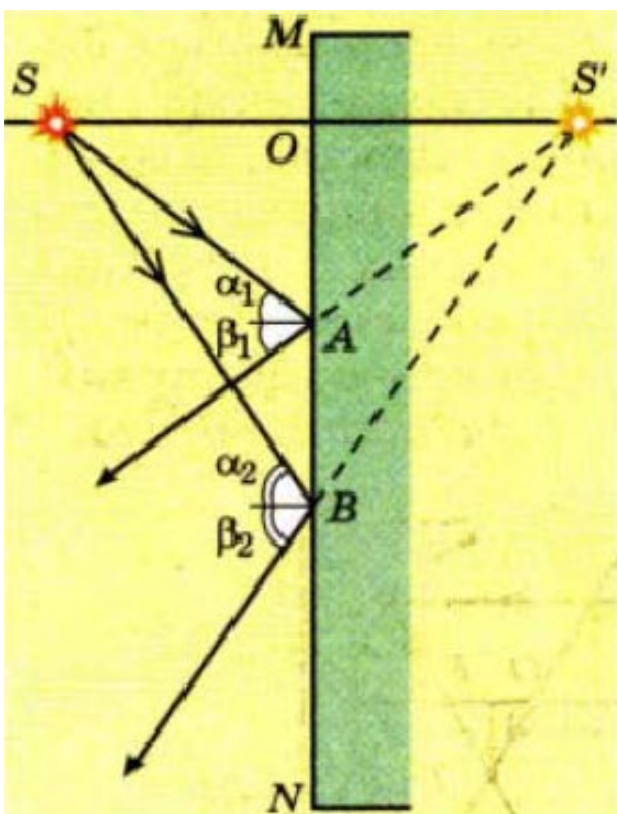


Рис. 2

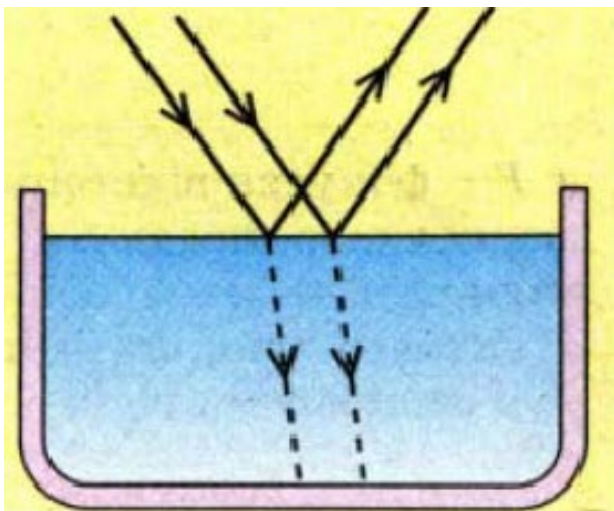
Згідно із законом відбивання, утворюються зображення предметів у *плоскому дзеркалі* (див. рис. 3). Нехай на плоске дзеркало MN падає



пучок променів світла від точки S . Зобразимо два промені, які падають на дзеркало під різними кутами α_1 і α_2 . Куті відбивання β_1 і β_2 за законом відбивання дорівнюватимуть відповідно кутам падіння світлових променів. Унаслідок цього від дзеркала поширюватиметься пучок світла, який розбігається. Якщо тепер ці відбиті промені продовжити за площину дзеркала, то вони перетнуться в точці S' – ця точка і є зображенням точки S у плоскому дзеркалі.

Рис. 3. Побудова зображення точки у плоскому дзеркалі.

Можна зробити висновок, що *предмет і зображення*, одержане в плоскому дзеркалі, є *симетричними* відносно площини дзеркала; **зображення завжди уявне**, оскільки розташоване на *перетині продовження променів*.



На межі двох середовищ світло може зазнавати як відбивання, так і заломлення (див. рис. 4). Один з променів буде відбитий від поверхні води згідно із законом відбивання світла, а другий – пройде у воду, відхилившись при цьому від прямолінійного напрямку свого поширення, тобто зазнавши заломлення.

Рис. 4. Відбивання і заломлення світла на межі двох середовищ.

Це пояснюється тим, що швидкість поширення світла в різних середовищах неоднакова, і вона відрізняється від швидкості світла у вакуумі. Їх співвідношення визначає **показник заломлення речовини n** , який показує, у скільки разів швидкість світла у вакуумі c перевищує швидкість поширення світлових хвиль v у даному середовищі:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Довжина світлової хвилі у середовищі дорівнює:

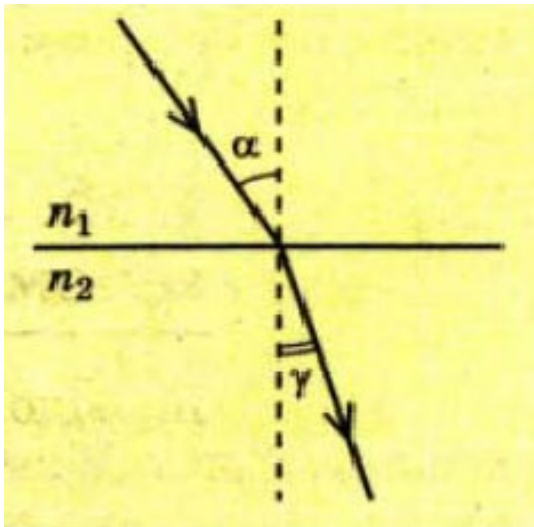
$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n},$$

де λ_0 – довжина хвилі у вакуумі (повітрі), n – показник заломлення.

У XVII ст. голландський фізик В. Снелліус встановив **закони заломлення світла**:

- падаючий і заломлений промені лежать в одній площині з перпендикуляром до межі двох середовищ у точці падіння променя;

- кут падіння α світлового променя на поверхню межі поділу двох середовищ пов'язаний з кутом заломлення γ співвідношенням (див. рис. 5):



$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma,$$

або

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma},$$

де n_1 – показник заломлення середовища, з якого падає світло; n_2 – показник заломлення середовища, в якому світло поширюється після проходження межі поділу.

Рис. 5. Закон заломлення світла.

Часто відношення $\frac{n_2}{n_1}$ називають *відносним показником заломлення* другого середовища відносно першого і позначають n_{21} . Враховуючи означення показника заломлення $n = \frac{c}{v}$, можна сказати, що відносний показник заломлення характеризує відношення швидкостей світла в середовищах, у яких воно поширюється:

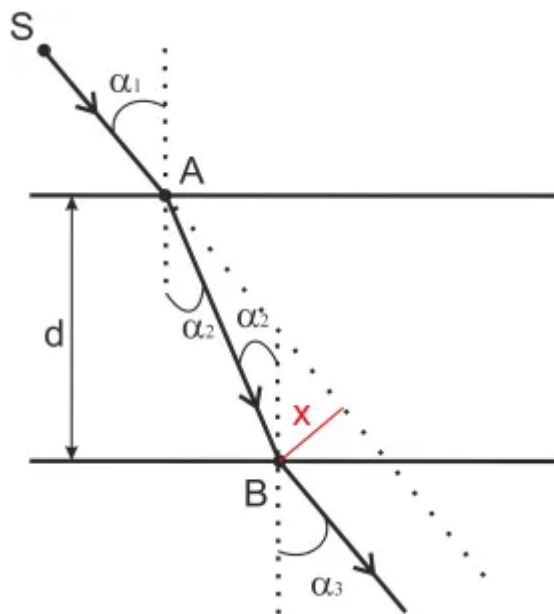
$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Зауваження. Якщо світловий промінь виходить із середовища з більшим показником заломлення в середовище з меншим показником заломлення (наприклад, з води в повітря), то кут заломлення буде більшим за кут падіння.

При переході із середовища з більшим показником заломлення n_1 в середовище з меншим показником заломлення n_2 ($n_1 > n_2$) може спостерігатись **явище повного внутрішнього відбивання**: при куті падіння α , що більший за так званий граничний кут $\alpha_{\text{гр}}$, промінь повністю відбивається, тобто межа двох прозорих середовищ поводить себе як «дзеркальна». При падінні під кутом $\alpha = \alpha_{\text{гр}}$ заломлений промінь ковзає по поверхні поділу середовищ. В цьому випадку кут відбивання $\gamma = 90^\circ$, і відповідно до закону заломлення:

$$\frac{\sin \alpha_{\text{гр}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}, \text{ і } \alpha_{\text{гр}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}.$$

Якщо кут падіння $\alpha < \alpha_{\text{гр}}$, то відбувається звичайне відбивання й заломлення променя.



Хід променя крізь плоскопаралельну пластинку, яка має більший показник заломлення, ніж середовище, показаний на рис. 6. На виході з пластинки промінь, не змінюючи свого початкового напрямку, зміщується на певну відстань x залежно від товщини пластинки.

Рис. 6. Хід променя крізь плоскопаралельну пластинку.

Приклад 1. Сонячне затемнення відбувається внаслідок:

- А) заломлення світла;
- Б) відбиття світла;
- В) прямолінійного поширення світла;
- Г) поглинання світла.

Відповідь: В.

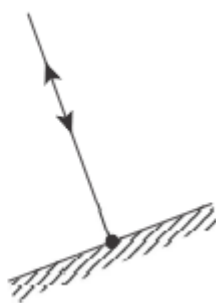
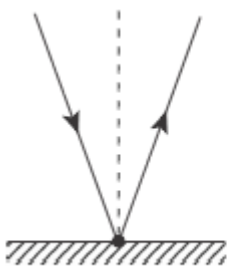
Приклад 2. На відстані 25 см від плоского дзеркала розташована світна точка. Її пересувають на 5 см ближче до дзеркала. Оберіть правильне твердження:

- А) відстань між зображенням точки і дзеркалом скоротилась на 10 см;
- Б) відстань між зображенням точки і самою точкою скоротилась на 10 см;
- В) відстань від зображення точки до дзеркала стала 15 см;
- Г) відстань від зображення точки до самої точки стала 20 см.

Відповідь: Б.



Приклад 3. На поверхню дзеркала падає світловий промінь і відбивається (див. рисунок). Кут між падаючим та відбитим променями становить 40° . Яким стане кут між падаючим та відбитим променями, якщо дзеркало повернути проти руху годинникової стрілки на 20° навколо осі, що перпендикулярна до площини рисунку й проходить через точку падіння?

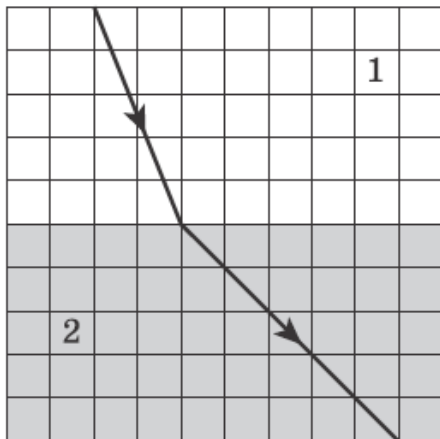


Відповідь: 0° . Перпендикуляр, проведений до поверхні дзеркала в точці падіння повернеться на 20° і збігатиметься з падаючим променем, отже світловий промінь відіб'ється сам у себе.

Приклад 4. Сонячні промені падають на віконне скло й утворюють світловий «зайчик». Сонячне світло при цьому:

- А) повністю відбивається;
- Б) повністю розсіюється;
- В) повністю проходить крізь скло;
- Г) відбивається й заломлюється у склі.

Відповідь: Г.



Приклад 5. Світловий промінь переходить із прозорого середовища 1 до прозорого середовища 2 (див. рисунок). Виберіть всі правильні твердження.

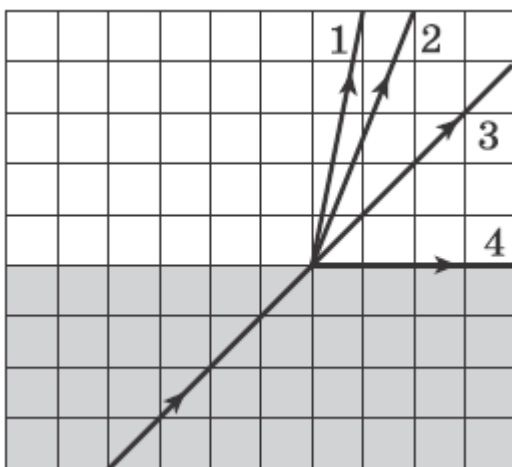
А) середовище 1 має більшу оптичну густину, ніж середовище 2;

Б) на рисунку зображено явище відбивання світла;

В) при переході із середовища 1 до середовища 2 швидкість світла зменшується;

Г) при переході із середовища 1 до середовища 2 частота світла збільшується.

Відповідь: тільки А.

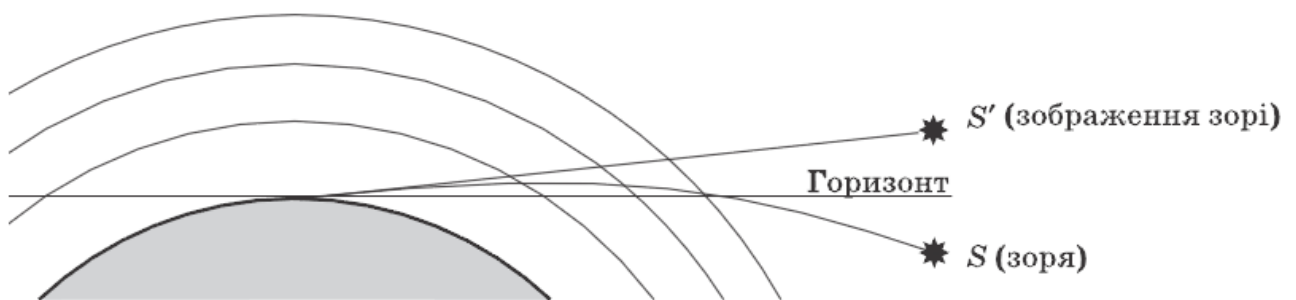


Приклад 6. Промінь світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною до середовища з меншою оптичною густиною, причому межа середовищ розташована горизонтально (див. рисунок). Виберіть можливий подальший напрямок руху світлового променя.

Відповідь: 4.

Приклад 7. Відомо, що світлові промені в атмосфері Землі заломлюються (зазнають рефракції). Астроном за спостереженнями встановив моменти сходу та заходу певної зорі. Якими були б результати спостереження, якби на Землі не було атмосфери? (Схід і захід зорі можуть відбутися раніше, пізніше або їхній час залишиться незмінним).

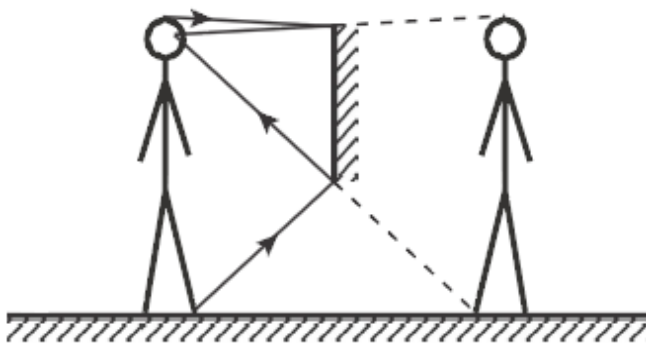
Відповідь: схід відбувся би пізніше, а захід – раніше. За рахунок рефракції світла в атмосфері біля горизонту ми бачимо зорі, які ще не зійшли, а також ті, що вже зійшли.

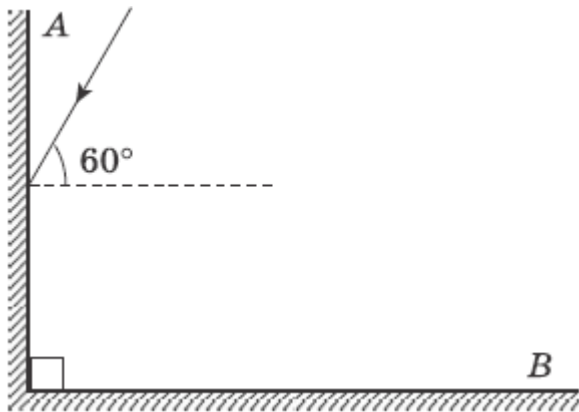


Приклад 8. Якою має бути мінімальна висота вертикального дзеркала, у якому людина зростом 1,9 м може побачити себе у повний зріст?

А) 95 см; Б) 190 см; В) 380 см; Г) 285 см.

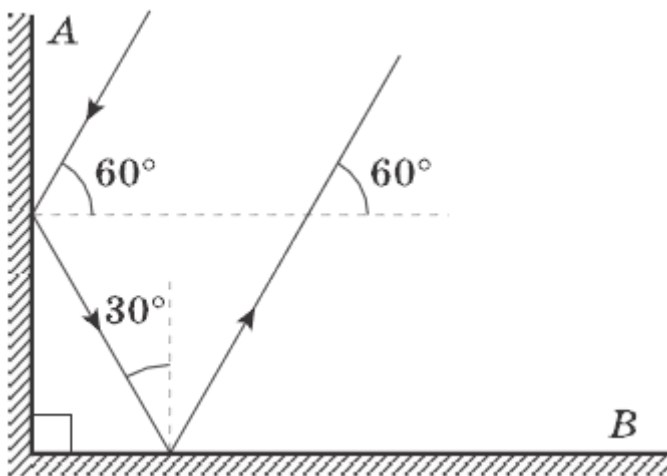
Відповідь: А.





Приклад 9. На дзеркало А падає світловий промінь під кутом 60° до горизонту (див. рисунок). Під яким кутом до горизонту промінь відіб'ється від дзеркала В?

Відповідь: 60° .



Приклад 10. На границю повітря-скло падає світловий промінь. Кут падіння 60° . Яким є кут заломлення? Показник заломлення скла 1,5.

А) 45° ; Б) 35° ; В) 71° ; Г) 90° .

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \frac{1,5}{1} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin \gamma}, \sin \gamma = \frac{\sqrt{3}/2}{1,5} \approx 0,58, \quad \gamma = 35^\circ.$$

Відповідь: Б.

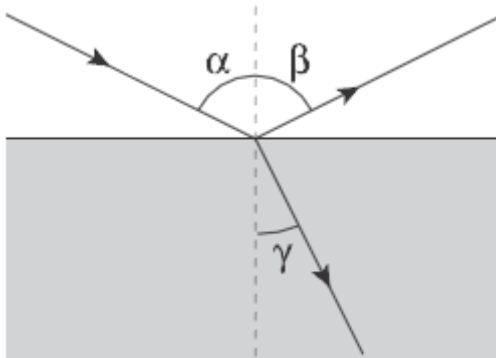
Приклад 11. Промінь світла падає на поверхню води. За якого кута відбитий і заломлений промені перпендикулярні один до одного? Показник заломлення води 1,33.

А) 37°; Б) 41°; В) 53°; Г) 61°.

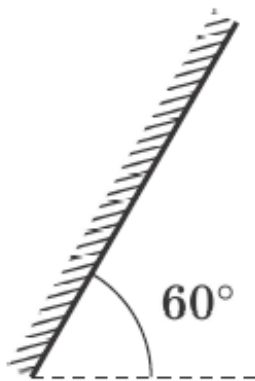
$$\beta + 90^\circ + \gamma = 180^\circ, \quad \gamma = 90^\circ - \beta = 90^\circ - \alpha.$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \quad \frac{1,33}{1} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = 1,33.$$

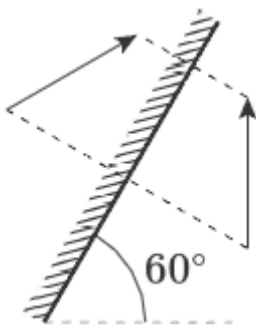
$$\alpha = 53^\circ.$$



Відповідь: В.

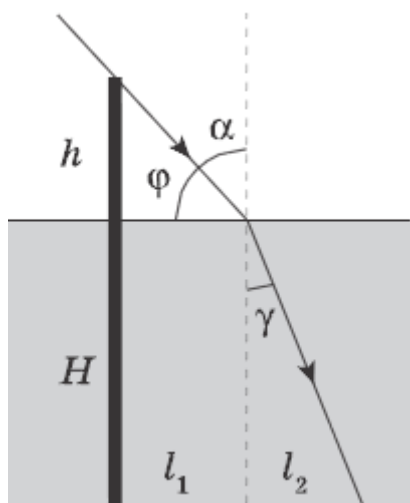


Приклад 12. Визначте кут до горизонту, під яким буде розташоване зображення стрілки в плоскому дзеркалі (див. рисунок).



Відповідь: 30°.

Приклад 13. Визначте довжину тіні на дні озера глибиною 2 м від опори мосту, яка піднімається над водою на 1 м. Висота Сонця над горизонтом – 45° .



$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \quad \frac{1,33}{1} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin \gamma}, \quad \sin \gamma = \frac{0,71}{1,33} = 0,53,$$

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - (0,53)^2} = 0,85, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{0,53}{0,85} = 0,62, \quad l_2 = 1,31$$

Відповідь: 2,3 м.

Домашнє завдання:

основне: 5.1, 5.3, 5.7, 5.11, 5.15, 5.17, 5.19, 5.20, 5.21, 5.29.

додаткове: 5.5, 5.6, 5.12, 5.16, 5.18, 5.25.