

Заломлення світла. Закони заломлення світла

Чому тіло, опущене в склянку з рідиною, здається нам зламаним на межі повітря і рідини?

1. Причини заломлення світла

Якщо пучок світла падає на межу поділу двох прозорих середовищ, то частина світлової енергії повертається в перше середовище, утворюючи відбитий пучок світла, а частина — проходить через межу в друге середовище, утворюючи пучок світла, який, як правило, змінює напрям.

Заломленням світла — це зміна напрямку поширення світла в разі його проходження через межу поділу двох середовищ.

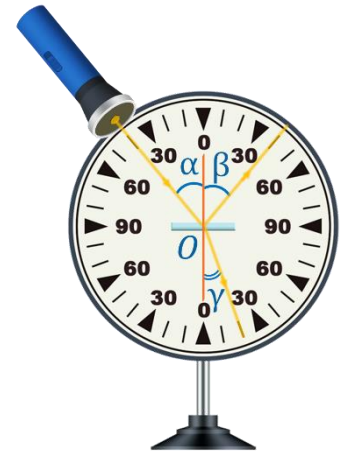
Заломлений промінь — це промінь, що задає напрям заломленого пучка світла.

Заломлення світла в разі його переходу з повітря в скло:

α — кут падіння

β — кут відбивання

γ (гамма) — кут заломлення (кут, утворений заломленим променем і перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, проведеним із точки падіння променя)



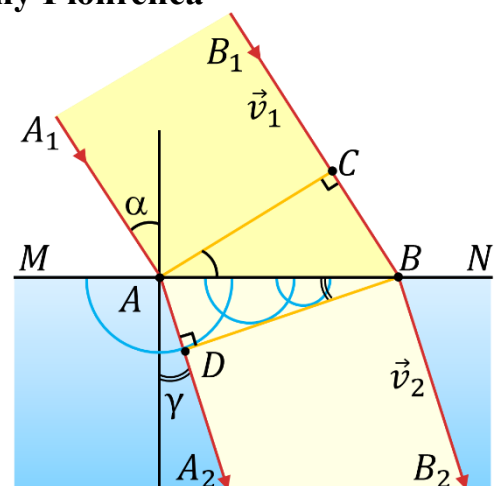
Кількісний закон, що описує заломлення світла, був установлений експериментально в 1621 р. голландським природознавцем *Віллембрордом Снелліусом* (1580-1626) й отримав назву *закон Снелліуса*. Одержимо цей закон за допомогою принципу Гюйгенса.

2. Закон заломлення світла на основі принципу Гюйгенса

Розглянемо плоску хвилю, що падає на межу поділу MN двох середовищ. Напрямок поширення хвилі задамо променями A_1A і B_1B , паралельними один одному та перпендикулярними до хвильової поверхні A_1C .

Спочатку поверхні MN досягне промінь A_1A , а вже після цього її досягне промінь B_1B — через час $\Delta t = \frac{CB}{v_1}$, де v_1 — швидкість світла у першому середовищі.

У момент, коли вторинна хвиля в точці B тільки починає збуджуватися, хвиля від точки A вже пошириться у другому середовищі на відстань $AD = v_2 \Delta t$, де v_2 — швидкість світла у другому середовищі. Провівши площину DB , дотичну до всіх вторинних хвиль, одержимо хвильову поверхню заломленої хвилі.



Розглянемо прямокутні трикутники $\triangle ACB$ і $\triangle ADB$. У трикутнику $\triangle ACB$ кут $\angle CAB$ дорівнює куту падіння α (як кути з відповідно перпендикулярними сторонами), отже, $CB = AB \sin \alpha$. Урахувавши, що $CB = v_1 \Delta t$, знайдемо AB :

$$AB = \frac{v_1}{\sin \alpha} \Delta t \quad (1)$$

Аналогічно в трикутнику $\triangle ADB$ кут $\angle ABD$ дорівнює куту заломлення γ , отже, $AD = AB \sin \gamma$. Урахувавши, що $AD = v_2 \Delta t$, знайдемо AB :

$$AB = \frac{v_2}{\sin \gamma} \Delta t \quad (2)$$

Прирівнявши праві частини рівностей (1) і (2), маємо:

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

n_{21} – відносний показник заломлення (показник заломлення середовища 2 відносно середовища 1) – незмінна для двох даних середовищ величина, яка не залежить від кута падіння світла.

Закони заломлення світла (закони Снелліуса):

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, проведенний із точки падіння променя, лежать в одній площині.

2. Для двох даних середовищ відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення γ є величиною незмінною:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$$

3. Показник заломлення

Проблемне питання

• Що характеризує відносний показник заломлення?

Відносний показник заломлення показує, у скільки разів швидкість поширення світла в середовищі 1 більша (або менша), ніж швидкість поширення світла в середовищі 2:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

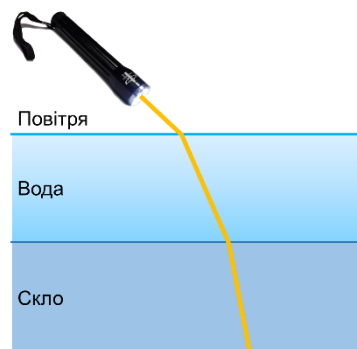
Зміна швидкості поширення світла в разі його переходу з одного прозорого середовища в інше є причиною заломлення світла.

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



- У повітрі швидкість поширення світла в 1,33 разу більша, ніж у воді, оптична густина якого середовища менша – води чи повітря? (повітря)

- Коли світло переходить із води в скло, його швидкість зменшується ще в 1,3 разу, оптична густина якого середовища більша – води чи скла? (скла)



Відносний показник заломлення n_{21} :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

За 2-м законом заломлення світла:

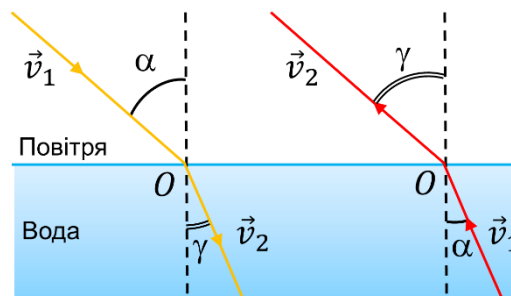
$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Властивості заломлення світла:

1) чим більше змінюється швидкість світла, тим більше світло заломлюється;

2) якщо промінь світла переходить у середовище з більшою оптичною густиною (тобто швидкість світла зменшується: $v_2 < v_1$), то кут заломлення є меншим від кута падіння: $\gamma < \alpha$;

3) якщо промінь світла переходить у середовище з меншою оптичною густиною (тобто швидкість світла збільшується: $v_2 > v_1$), то кут заломлення є більшим за кут падіння: $\gamma > \alpha$.



Зазвичай швидкість поширення світла в середовищі порівнюють зі швидкістю його поширення у вакуумі.

Абсолютний показник заломлення середовища – це фізична величина, яка характеризує оптичну густину середовища і показує, у скільки разів швидкість поширення світла в середовищі менша, ніж у вакуумі.

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

- Чи пов'язані між собою абсолютний та відносний показники заломлення?

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{cv_1}{cv_2} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21} \Rightarrow n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

n_{21} – відносний показник заломлення

n_1, n_2 – абсолютні показники заломлення першого і другого середовищ

Речовина	n
Повітря	1,003
Лід	1,31
Вода	1,33
Етиловий спирт	1,36
Бензин	1,50
Скло	1,52
Алмаз	2,42

Розв'язування вправ

1. Обчисліть швидкість поширення світла в шматку льоду.

Дано:

$$n = 1,31$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$v = ?$

Розв'язання

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}; \quad [v] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{1} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \frac{3 \cdot 10^8}{1,31} = 2,29 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $v = 2,29 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2. Кут падіння променя з повітря на поверхню прозорого пластику дорівнює 50° , кут заломлення – 25° . Який показник заломлення цього пластику відносно повітря?

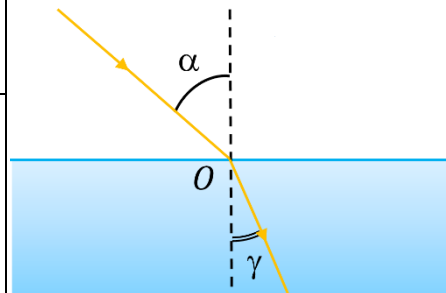
Дано:

$$\alpha = 50^\circ$$

$$\gamma = 25^\circ$$

$n_{21} = ?$

Розв'язання



$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$n_{21} = \frac{\sin 50^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0,766}{0,423} \approx 1,81$$

Відповідь: $n_{21} \approx 1,81$.

3. Промінь світла падає під кутом 60° з повітря на поверхню деякого прозорого середовища. Заломлений промінь змістився на 15° щодо свого початкового напрямку. Визначте швидкість поширення світла в другому середовищі, якщо у повітрі швидкість світла $3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано:

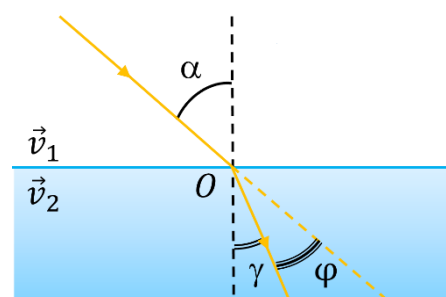
$$\alpha = 60^\circ$$

$$\varphi = 15^\circ$$

$$v_1 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$v_2 = ?$

Розв'язання



Відносний показник заломлення n_{21} :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

За 2-м законом заломлення світла:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\alpha = \gamma + \varphi \Rightarrow \gamma = \alpha - \varphi$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} \quad [v_2] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1}{1} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \sin 45^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$\approx 2,45 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $v_2 = 2,45 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

4. Якщо кут падіння світла становить 60° , кут заломлення дорівнює 45° . Визначте кут заломлення в цьому середовищі при куті падіння 30° .

Дано:

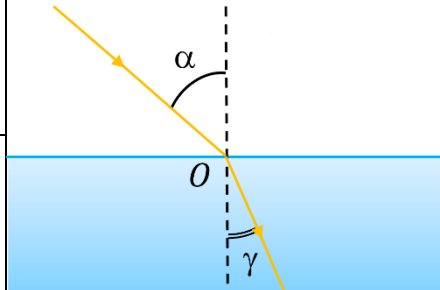
$$\alpha_1 = 60^\circ$$

$$\gamma_1 = 45^\circ$$

$$\alpha_2 = 30^\circ$$

$$\gamma_2 = ?$$

Розв'язання



За 2-м законом заломлення світла:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1}$$

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma_2}$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma_2}$$

$$\sin \gamma_2 = \frac{\sin \gamma_1 \cdot \sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$$

$$\sin \gamma_2 = \frac{\sin 45^\circ \cdot \sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{3}} \approx 0,41$$

$$\gamma_2 = \arcsin 0,41 = 24^\circ$$

Відповідь: $\gamma_2 = 24^\circ$.