

¹ старший учитель, фахівець вищої категорії, учитель фізики, астрономії та інформатики, Миколаївський ЗЗСО I - III ступенів № 3 Миколаївської міської ради Слов'янського району Донецької області

² старший викладач кафедри фізики ДВНЗ «ДДПУ»

e-mail: bytic2010@gmail.com

ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА І ЙОГО ЗАКОНІВ В КУРСІ ФІЗИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

У даній статті розглядається вивчення явища заломлення світла і його законів в курсі фізики у середніх навчальних закладах. Автори пропонують матеріал з даної теми, у якому використовуються нетрадиційні методичні прийоми, що допомагають осмисленому та усвідомленому застосуванню цього явища. Цей матеріал можна використовувати на уроках в 9-х класах, а також при закріпленні й поширенні знань з даної теми для учнів 11-х класів.

Ключові слова: заломлення світла, показник заломлення оптична густина середовища, закони заломлення, оптичні прилади.

Вступ

Вчення про світло є одним з найважливіших у сучасній фізиці. Геометрична оптика — теоретична основа оптотехніки, теорії оптичних наближень і ряду інших дисциплін. Основні поняття геометричної оптики необхідні кожному, незалежно від обраної спеціальності. На основних законах геометричної оптики можна побудувати математичну теорію поширення світла. Область явищ, досліджуваних оптикою велика. Оптичні явища тісно пов'язані з явищами, досліджуваними в інших розділах фізики, а оптичні методи дослідження належать до найбільш тонких і точних.

Але незважаючи на величезне значення оптики і її технічних застосувань, зміст цього розділу фізики в загальноосвітній школі не відбиває належним чином її успіхи. Програма з фізики для загальноосвітньої школи містить достатній обсяг знань з оптики, але значного вдосконалення потребує методика її викладання, зокрема в геометричній оптиці.

У зв'язку із цим метою даної роботи є вдосконалення методики викладання геометричної оптики в 9 і 11 класах загальноосвітньої школи й розробки уроків з даної теми.

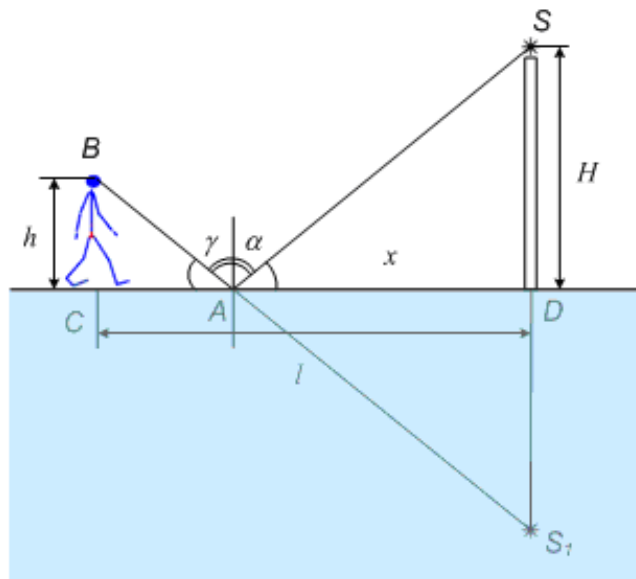
Основна частина

Тема. Явище заломлення світла. Показник заломлення. Закони заломлення та їх застосування.

Мета. Розглянути явище заломлення світла, закони заломлення. Показати особливості їх застосування в різних оптичних системах.

Хід уроку.

1. Для повторення матеріалу та для визначення принципу Ферма розглянемо розв'язання завдання. На одному березі невеликого водоймища знаходиться стовп із ліхтарем вгорі, на іншому перебуває людина. Промінь, що падає від ліхтаря, після відбиття від поверхні води потрапляє в око людини. Знайдіть побудову положення точки на поверхні води, у якій відбивається промінь, що потрапляє в око. Обчисліть відстань цієї точки від стовпа, якщо його висота дорівнює H , висота людини h , а відстань між стовпом і людиною l .



Розв'язання.

Побудуємо зображення S_1 , ліхтаря S , що утворюється поверхнею CD води. Для цього із точки S проведемо перпендикуляр до поверхні CD . Зображення S_1 , належить продовженню цього перпендикуляра симетрично точці S щодо поверхні CD , отже $S_1D = SD$. Відбитий від поверхні води промінь має такий напрямок, що його продовження, проведене в протилежну сторону, проходить через точку S_1 . Тому для визначення напрямку відбитого променя проведемо пряму від точки S , до точки B , яка співпадає з оком людини. Ця пряма перетинає поверхню води в шуканій точці A .

Трикутники ADS і ACB подібні (як прямокутні, що мають по рівному гострому куту). Отже, $S = S_1A$ і $SD = S_1D$. Тому

$$\frac{H}{h} = \frac{x}{l-x} \quad \text{або} \quad H(l-x) = hx,$$

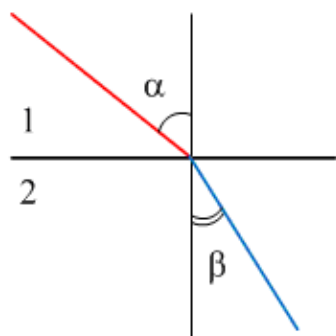
$$Hl - Hx = hx, \quad Hl = Hx + hx, \quad x = \frac{Hl}{H+h}.$$

Одержаний шлях поширення світла — це шлях, для проходження якого світлу потрібний найменший час. У випадку однорідного середовища — це найкоротший шлях вздовж прямої. У нашому випадку, на малюнку довжина ламаної SAB дорівнює довжині відрізка S_1AB . Будь який інший шлях мав би більшу довжину.

На прикладі цієї задачі показано дуже важливий принцип справедливий для світлових хвиль — *принцип Ферма*: «Світло завжди поширюється таким шляхом, на який воно витрачає найменший час».

2. Розглянути явище заломлення світла на прикладі проходження світла крізь різні середовища, спостерігаючи зміну напрямку променів на дослідах за допомогою приладу для вивчення законів оптики та використовуючи напівциліндричну лінзу або плоскопаралельну платівку.

3. На підставі даних досвіду сформулювати закон заломлення світла.



α — кут падіння світлового променя;

β — кут заломлення променя;

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \text{const}.$$

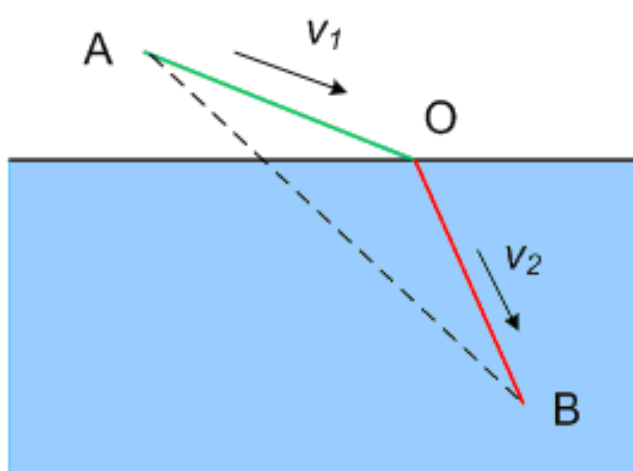
Для двох даних середовищ відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала. Ця стала величина називається відносним показником заломлення середовища або показником заломлення другого середовища відносно першого.

Падаючий промінь, заломлений промінь та перпендикуляр до границі розподілу двох середовищ, встановлений у точці падіння променя належать одній площині.

Цей закон сформульований голландським вченим Віллебрордом Снеллем у 1620 році (закон Снелліуса).

4. Дати пояснення явищу заломлення світла, подати поняття абсолютного показника заломлення середовища, оптичної густини середовища, розглянути закон заломлення світла в іншій формі.

Явище заломлення світла являє собою зміну напрямку поширення світлового променя під час проходження з одного прозорого середовища до іншого. Воно зумовлено зміною швидкості світлових хвиль під час переходу з одного середовища в інше. Закон заломлення витікає з принципу Ферма — він визначає той шлях, яким світло проходить за найкоротший час проміжок між двома точками, що розташовані в різних середовищах. Пояснити це можна наступним прикладом.



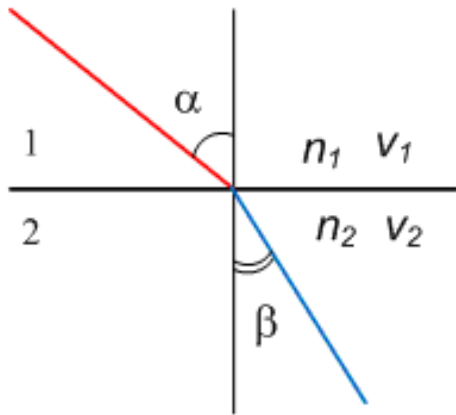
Нехай людина A рухається далеко від берега і бачить у річці потопаючу людину B . Щоб врятувати людину B , пішохід A повинен як найшвидше досягти B . Ясно, що швидкість людини A по суходову v_1 більша, ніж швидкість v_2 , з якої він пливе. Тому найменший час вийде при русі не вздовж AB , а за ламаною AOB , де відрізок AO більше відрізка OB .

Відмінність швидкості світла в речовині від швидкості світла у вакуумі зумовлена взаємодією електромагнітних хвиль з атомами речовини. Характер і ступінь цієї взаємодії залежать як від будови й властивостей речовини, так і від частоти електромагнітних коливань. Це є причиною розходження показників заломлення для світлових хвиль різної довжини, яким відповідає зорове відчуття різного кольору.

Для характеристики швидкості поширення світла в даному середовищі існує поняття оптичної густини середовища. З двох середовищ те називають середовищем з більшою оптичною густиною, в якому швидкість світла буде меншою.

Показник заломлення середовища щодо вакууму називається абсолютним показником заломлення середовища. Він залежить від фізичного стану

середовища, у якому поширюється світло, густини речовини середовища, його температури, наявності пружних напружень і т.д. Абсолютний показник заломлення середовища залежить від швидкості поширення світла у даному середовищі.

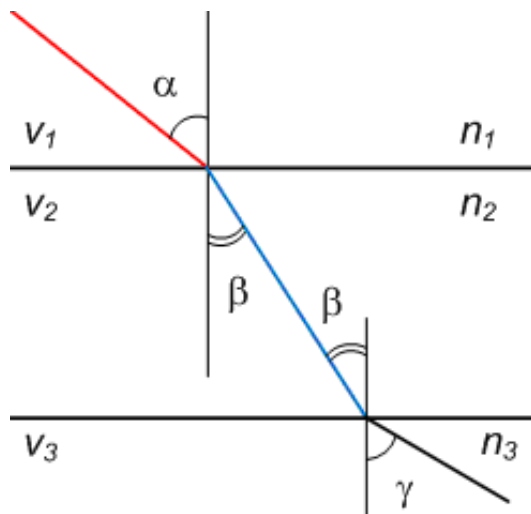


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2};$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta = \dots;$$

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 = \dots$$

Більш зручною формою закону заломлення світла є запис у вигляді добутку показника заломлення середовища на синус кута відхилення променя в цьому середовищі.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2};$$

$$\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{n_3}{n_2}, \quad \frac{n_3}{n_2} = \frac{v_2}{v_3};$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta = n_3 \sin \gamma;$$

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 = n_3 v_3.$$

Із закону заломлення світла витікає оборотність світлових променів. Властивість оборотності характерно для геометрії відбиття та заломлення світла. Воно виражає одиничність шляху, яким поширюється світло.

$$n_1 v_1 = n_2 v_2, \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}, \quad v_1 > v_2, \quad n_1 < n_2.$$

Більшу оптичну густину має те середовище, у якій швидкість поширення світла менша. Таке середовище має більший показник заломлення.

5. Надати фізичний зміст показників заломлення середовищ та сформулювати правило визначення кутів.

$$n_1 v_1 = n_2 v_2, \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n;$$

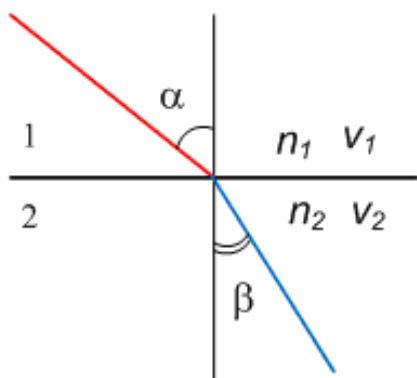
$$c = n_1 v_1, \quad c = n_2 v_2;$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2}.$$

Відносний показник заломлення середовища показує в скільки разів швидкість поширення світла в одному середовищі більше або менше, ніж у другому.

Абсолютний показник заломлення середовища показує в скільки разів швидкість поширення світла в даному середовищі менша, ніж у вакуумі.

Розглянемо процес заломлення світла при переході світлового променя із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною.



$$n_2 > n_1, \quad v_2 < v_1;$$

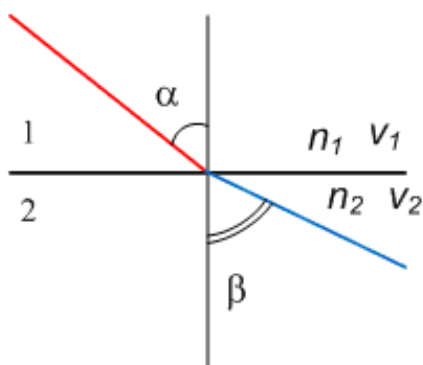
$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta;$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} > 1;$$

$$\sin \alpha > \sin \beta, \quad \alpha > \beta.$$

При переході променя із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною, промінь світла відхиляється до перпендикуляра.

Розглянемо процес заломлення світлового променя при переході світла із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною.



$$n_1 > n_2, \quad v_1 < v_2;$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta;$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} < 1;$$

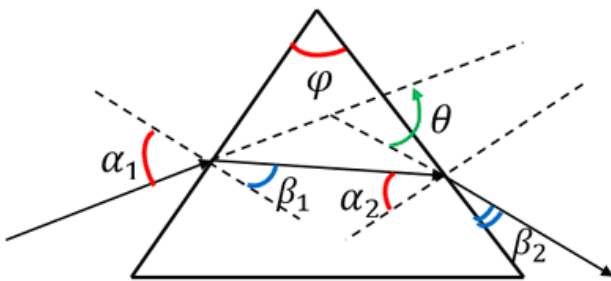
$$\sin \alpha < \sin \beta, \quad \alpha < \beta.$$

При переході світла із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною, промінь світла відхиляється убік від перпендикуляра.

6. Явище заломлення світла лежить в основі принципу дії багатьох оптичних приладів. Закон заломлення світла дозволяє побудувати хід променів у трикутній призмі та плоскопаралельній пластині.

Грані призми, крізь які проходить промінь світла, називаються заломлюючими. Кут φ між заломлюючими гранями призми називається заломлюючим кутом призми.

Світловий промінь після проходження через призму відхиляється; кут між променем, що виходить із призми, і променем, що падає на призму, називається *кутом відхилення променя призмою* θ .

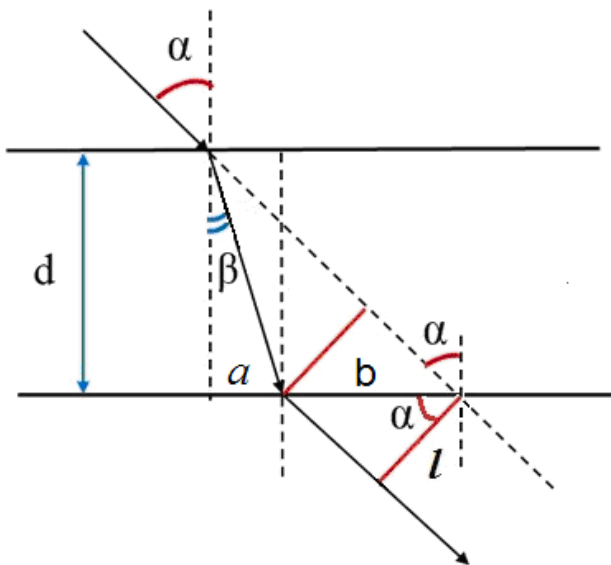


φ — заломлюючий кут призми;

θ — кут відхилення променя призмою;

$$\theta = \alpha_1 + \beta_2 - \varphi.$$

Світловий промінь після проходження крізь плоскопаралельну пластинку виходить із пластинки під кутом, що відрізняється від кута його падіння на границю розділу в середовищі пластинки, і не відрізняється від кута його падіння на пластинку. Доречі він набуває зсув від первісного напрямку. *Зсув променя* — це довжина перпендикуляра між вихідним із пластинки променем і продовженням променя, що падає на плоскопаралельну пластинку.



l — зсув променя при проходженні через пластинку;

$$l = \frac{d \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta};$$

$$a = d \operatorname{tg} \beta, \quad a + b = d \operatorname{tg} \alpha$$

$$b = d \operatorname{tg} \alpha - d \operatorname{tg} \beta;$$

$$l = b \cos \beta$$

Явище заломлення світла пояснює багато незвичайних фактів, які спостерігаються в природі, побуті й техніці.



Відомий приклад заломлення світла, що ми спостерігаємо майже щодня, це ілюзія «зламаної ложки». Внаслідок зміни напрямку поширення променя при переході в прозору речовину з іншим показником заломлення, на границі розділу повітря-вода спостерігається зміна форми предмета.

Заломленням пояснюється уявне зменшення глибини річки.

Світло заломлюється й при поширенні в неоднорідному середовищі. Наприклад, таким неоднорідним середовищем є повітря, різні шари якого нагріті по-різному. Світло в такому повітрі заломлюється. І саме цим пояснюються міражі й інші оптичні ілюзії.

Заломлення світла на границі двох середовищ дає парадоксальний зоровий ефект: перетинаючи границю розділу предмети в середовищі з більшою оптичною густиною виглядають «заломленими нагору»; у той час як промінь, що входить у середовище з більшою оптичною густиною, поширюється в ній під меншим кутом, «заломлюється донизу». Цей оптичний ефект і приводить до помилок у візуальному визначенні глибини водоймища, що здається меншою, ніж є насправді.

Інший приклад — міраж, що часто спостерігають мандрівники на розпечених сонцем дорогах. Вони бачать оазис, але коли приходять туди, навкруги виявляється пісок. Сутність в тім, що ми бачимо в цьому випадку світло, що пройшло над піском. Повітря сильно розпечене над самою дорогою, а у верхніх шарах холодніше. Гаряче повітря, розширюючись, стає більш розрідженим і швидкість світла в ньому більше, ніж у холодному. Тому світло проходить не по прямій, а по траєкторії з найменшим часом, де час проходження менше, повертаючи в теплі шари повітря.

Вивчення законів заломлення має фундаментальне значення для науки й техніки. Їхнє застосування в різних областях знань дозволяє створювати точні оптичні прилади (телескопи, мікроскопи, фотоапарати, кінокамери, окуляри, контактні лінзи й т.п.), досліджувати хімічну структуру сполук і ви-

значати склад хімічних сумішей, одержувати точні геодезичні й астрономічні координати, створювати оптимальні системи зв'язку й багато чого іншого.

Висновки

Вдосконалення методики викладання геометричної оптики сприяє вирішенню ряду завдань, серед яких головними є: поглиблення знань учнів з геометричної оптики, розвиток уявлень про роль оптики в системі знань про природу електромагнітного випромінювання, формування навичок практичного застосування законів оптики й грамотне використання оптичних приладів.

У даному матеріалі докладно розглянуте явище заломлення світла і його закони в тій формі, що дозволяють точно застосовувати їх у практиці розв'язання різних завдань, пов'язаних з переходом світла через кілька оптичних середовищ.

Матеріал цієї теми сприяє активізації пізнавальної і розумової діяльності учнів, підвищує їхній інтерес і успішність у навчанні, сприяє свідомому вибору майбутньої професії.

Матеріал неодноразово використовувався авторами при проведенні уроків фізики зданої теми.

Література

1. *Алешкевич В. А.* Вступительные экзамены по физике. Физика. 1988, №32, С. 5.
2. *Барьяхтар В. Г., Довгий С. А.* Физика 9 класс Харьков: Ранок, 2017. 272 с.
3. *Барьяхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Кирюхин Н. М.* Физика 11 класс. Академический, профильный уровни. Харьков: Ранок, 2017. 320 с.
4. *Василихина Т. В.* Урок с разноуровневым обучением по геометрической оптике. Физика в школе. 1994, С. 35–37.
5. *Ландсберг Г. С.* Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. 6-е изд., стереот. М.: Физматлит, 2003. 848 с.
6. *Линец Ю. А.* Использование принципа Ферма в преподавании геометрической оптики. Физика. 1998, №7, С. 6–8.
7. *Коханов К. Ю.* Оптические иллюзии в школьном курсе физики. Физика. 1999, №11. С. 9–12.
8. *Орлов В. А.* Творческие экспериментальные задания. Физика в школе. 1995, №1. С. 20–23.
9. *Павленко Ю. Г.* Оптика. М.: Издательство МГУ, 1992.

10. Сивухин Д. В. Общий курс физики. М.: Наука, 1980. 752 с.
11. Чернощекова Т. М. Из истории развития взглядов на природу света. Горький, 1982.
12. Фізика. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf>

Voinov Oleg, Beloshapka Alexander

Mykolajiv establishment of general secondary education I-III degrees No. 3 of Mykolajiv city council of Slavic district of Donetsk region, Ukraine;
Donbas State Pedagogical University, Slovians'k, Ukraine.

The study of the phenomenon of the light reflection and its laws in the course of physics in secondary educational institutions

This article discusses the study of the phenomenon of light refraction and its laws on the course of physics in secondary schools. The authors offer material on this topic, which uses unconventional methodological techniques to help understanding and conscious application of this phenomenon. This material can be used when conducting lessons in the 9th grade, as well as in consolidating and expanding knowledge on this topic in students of the 11th grade.

Keywords: *light refraction, refractive index, optical density of a medium, laws of refraction, optical devices.*