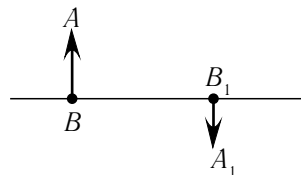


Приклад рашэння задачы

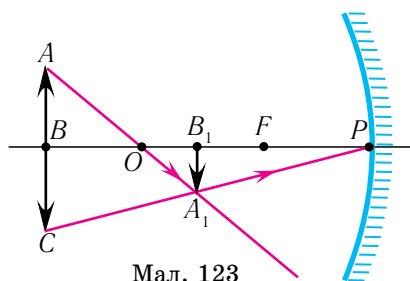
Пры дапамозе сферычнага люстра атрыма-
ны відарыс A_1B_1 прадмета AB (мал. 122). Вы-
значыце пабудовай становішча і фокус люстра.
Устанавіце таксама тып люстра (увагнутае ці выпу-
клае). Вядома, што BB_1 — аптычная вось люстра.



Мал. 122

Рашэнне

Як бачна з малюнка 123, відарыс A_1B_1 прадмета AB з'яўляецца адваротным і сапраўдным. Значыць, люстра з'яўляецца ўвагнутым, паколькі толькі ўвагнутае люстра дае сапраўдны відарыс. Злучым прамой лініяй пункты A і A_1 . Пункт O перасячэння прамых AA_1 і BB_1 з'яўляецца цэнтрам крывізны сферычнага люстра. Адаб'ем пункт A сіметрычна адносна восі AB_1 у пункт C . Правядзём прамую CA_1 да перасячэння з прамой BB_1 . Пункт P перасячэння будзе полюсам увагнутага сферычнага люстра. Падзяліўшы адрэзак OP напалам, знойдзем становішча фокуса F увагнутага люстра.

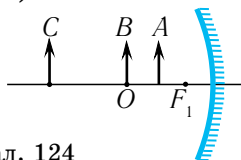


Мал. 123

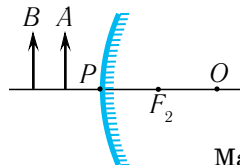
Адказ: люстра з'яўляецца ўвагнутым.

Практыкаванне 14

1. Пабудуйце відарысы прадметаў ва ўвагнутых сферычных люстрах (мал. 124).

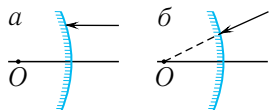


Мал. 124

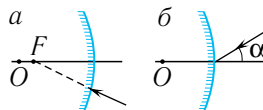


Мал. 125

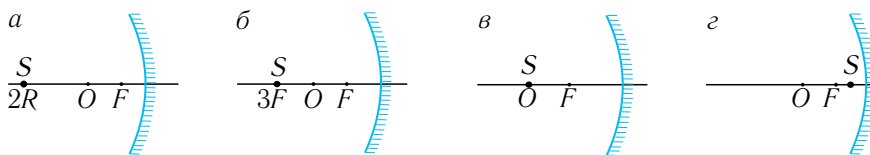
2. Пабудуйце відарысы прадметаў у выпуклых сферычных люстрах (мал. 125).
3. Пабудуйце ход праменяў ва ўвагнутых сферычных люстрах (мал. 126).
4. Пабудуйце ход праменяў у выпуклых сферычных люстрах (мал. 127).



Мал. 126



Мал. 127



Мал. 128



§18-1

5. Пабудуйце відарыс кропкавай крыніцы святла, якая знаходзіцца ў пункце S (мал. 128)

§ 19. Закон праламлення святла. Паказчык праламлення. Поўнае адбіццё

- Што адбываецца са светлавым праменем, які прайшоў у іншае асяроддзе? Як можна кіраваць светлавым праменем?



Змяненне напрамку распаўсюджвання праменя святла пры праходжанні праз мяжу падзелу двух асяроддзяў называецца праламненнем святла (мал. 129).

Вугал паміж перпендыкулярам, узведзеным у пункце падзення да мяжы падзелу двух асяроддзяў, і праломленым праменем называецца вуглом праламлення.

Для вывучэння ўласцівасцей светлавых хваль неабходна ведаць заканамернасці іх распаўсюджвання ў аднародным асяроддзі, а таксама заканамернасці адбіцця і праламлення на мяжы падзелу двух асяроддзяў.

Разгледзім падзенне плоскай светлавой хвалі на плоскую паверхню падзелу аднародных ізатропных і празрыстых асяроддзяў пры ўмове, што памеры паверхні падзелу нашмат большыя за даўжыню хвалі падаючага выпраменьвання.

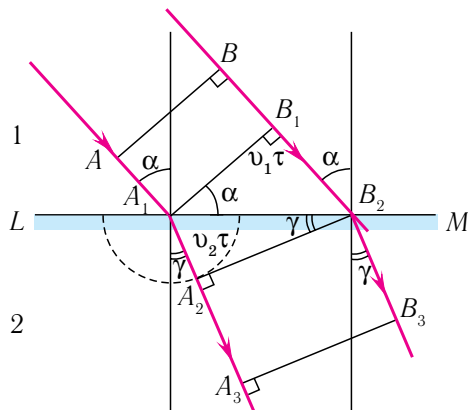
Няхай на плоскую паверхню падзелу LM двух асяроддзяў падае плоская светлавая хваля, фронт якой AB (мал. 130). Калі вугал падзення α адрозны ад нуля, то розныя пункты фронту AB хвалі дасягнуць мяжы падзелу LM не адначасова.

Разгледзім, што адбудзецца ў другім асяроддзі, лічачы, што модуль скорасці v_2 распаўсюджвання святла ў ім меншы, чым у пер-



Мал. 129.

Праламненне святла на мяжы падзелу двух асяроддзяў



Мал. 130. Тлумачэнне праламлення святла ў адпаведнасці з прынцыпам Гюйгенса: AB — фронт падаючай плоскай хвалі; A_3B_3 — фронт хвалі пасля праламлення

З $\triangle A_1B_1B_2$ знаходзім $A_1B_2 = \frac{v_1\tau}{\sin\alpha}$ і з $\triangle A_1A_2B_2$ — $A_1B_2 = \frac{v_2\tau}{\sin\gamma}$.

Адкуль

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

З яго вынікае закон праламлення:

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

Нагадаем, што абсалютным паказчыкам праламлення называецца адносіна модуля скорасці распаўсюджвання светлавой хвалі ў вакууме c да модуля скорасці распаўсюджвання ў дадзеным асяроддзі:

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

З улікам гэтай суадносіны закон праламлення прымае выгляд:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Велічыня

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

шым ($v_2 < v_1$) (гл. мал. 130). Фронт падаючай хвалі AB будзе перамяшчацца са скорасцю, модуль якой v_1 , у напрамку AA_1 . Да моманту часу (за прамежак часу $\tau = \frac{B_2B_1}{v_1}$),

калі пункт B_1 фронту дасягне мяжы падзелу двух асяроддзяў (пункт B_2), другасная хваля з пункта A_1 (згодна з прынцыпам Гюйгенса) пройдзе адлегласць $l_2 = v_2\tau$. Фронт хвалі, якая распаўсюджваецца ў другім асяроддзі, можна атрымаць, правёўшы прамую лінію, якая датыкаецца да паўакружнасці з цэнтрам у пункце A_1 .

З пабудовы бачна, што $\angle B_1A_1B_2 = \alpha$, $\angle A_1B_2A_2 = \gamma$, як вуглы з узаємна перпендыкулярнымі старанамі.

роўная адносіне абсалютных паказчыкаў праламлення n_2 другога і n_1 першага асяроддзяў, называецца **адносным паказчыкам праламлення** другога асяроддзя адносна першага. У адрозненні ад абсалютнага паказчыка праламлення адносны паказчык праламлення можа быць і меншы за адзінку, калі $n_2 < n_1$.

Такім чынам, зыходзячы з хвалевай тэорыі святла, атрыманы **закон праламлення светлавых хваль** (святла):

адносіна сіноса вугла падзення да сіноса вугла праламлення ёсць велічыня пастаянная для двух дадзеных асяроддзяў і роўная адноснаму паказчыку праламлення другога асяроддзя адносна першага;

прамені, падаючы і праломлены, ляжаць у адной плоскасці з перпендыкулярам, праведзеным у пункце падзення праменя да плоскасці мяжы падзелу двух асяроддзяў.

Для назірання з'явы праламлення святла дастаткова змясціць аловак у шклянку з вадой і паглядзець на яго збоку — будзе здавацца, што аловак «надламаны» (праломлены) (гл. мал. 129), хоць ён застаўся пры гэтым цэлым.

► Перапішам закон праламлення ў наступным выглядзе:

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

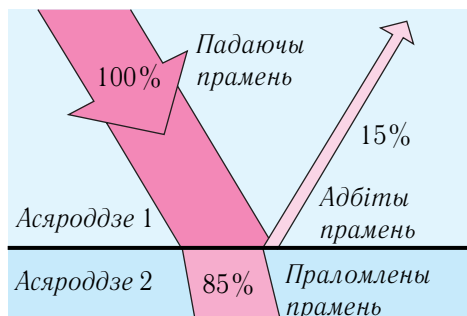
Пры такім запісе закона праламлення (без дробу) неабходна заўсёды памнажаць абсалютны паказчык праламлення на сінус вугла, які адносіцца да аднаго і таго ж асяроддзя.

На мяжы падзелу двух празрыстых асяроддзяў звычайна адначасова з праламленнем назіраецца адбіццё хваль. Згодна з законам захавання энергіі сума энергій адбітай $W_{\text{адб}}$ і праломленай $W_{\text{прал}}$ хваль роўна энергіі падаючай хвалі $W_{\text{пад}}$ (мал. 131):

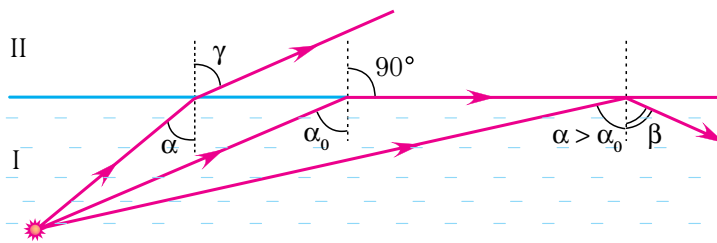
$$W_{\text{пад}} = W_{\text{прал}} + W_{\text{адб}}.$$

Прыкладны баланс энергій паміж адбітай і праломленай хвалямі паказаны на малюнку 131.

Прычынай праламлення хваль, г. зн. змянення напрамку распаўсюджвання хваль на мяжы падзелу двух асяроддзяў, з'яўляецца змяненне мо-



Мал. 131. Баланс энергій пры адбіцці і праламленні святла на мяжы падзелу празрыстых асяроддзяў



Мал. 132. Прапамленне і адбіццё святла на мяжы падзелу асяроддзяў

дуля скорасці распаўсюджвання электрамагнітных хваль пры пераходзе выпраменьвання з аднаго асяроддзя ў іншае.

Як вынікае з закону праламлення, пры пераходзе святла з *аптычна больш шчыльнага* асяроддзя I (з большым абсалютным паказчыкам праламлення n_1) у *аптычна менш шчыльнае* асяроддзе II (з меншым паказчыкам праламлення n_2), вугал праламлення γ становіцца большым за вугал падзення α (мал. 132, 133).

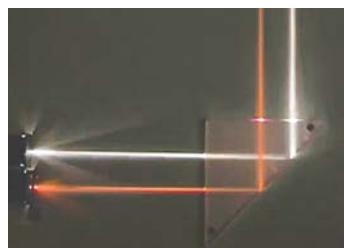
Па меры павелічэння вугла падзення, пры некаторым яго значэнні α_0 , вугал праламлення стане $\gamma = 90^\circ$, г. зн. святло не будзе пападаць у другое асяроддзе.



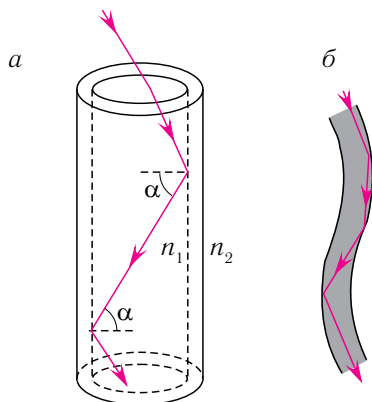
Гэта з'ява называецца **поўным адбіццём святла** (мал. 133). Вугал α_0 , пры якім узнікае поўнае адбіццё, называецца **гранічным вуглом поўнага адбіцця**. Ён вызначаецца з закона праламлення пры ўмове, што вугал праламлення $\gamma = 90^\circ$:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}; \quad (n_2 < n_1).$$

Такім чынам, праламленая хваля адсутнічае пры вуглах падзення, большых за гранічны вугал $\alpha \geq \alpha_0$. Напрыклад, для мяжы вада ($n = 1,33$) — паветра гранічны вугал поўнага адбіцця $\alpha = 49^\circ$, для мяжы алмаз ($n = 2,42$) — паветра — $\alpha_0 = 24^\circ$.



Мал. 133. Поўнае адбіццё святла на мяжы падзелу асяроддзяў



Мал. 134. Ход праменяў у святлаводзе:
а — прамым; б — гнуткім



Мал. 135. Святлаводы

З'яву поўнага адбіцця выкарыстоўваюць у валаконнай аптыцы для перадачы святла і відарысаў па пучках празрыстых гнуткіх святлаводаў (мал. 134, 135), а таксама ў разнастайных адбівальных прызмах розных аптычных прыбораў. У валаконна-аптычных прыладах, у якіх святло распаўсюджваецца па тонкіх святлаводах, шкляная святловядучая жыла пакрыта слоем рэчыва з меншым паказчыкам праламлення.

▶ У 1954 г. беларускім фізікам, акадэмікам Фёдарам Іванавічам Фёдаравым была тэарэтычна прадказана новая фізічная з'ява — папярочны зрух (перпендыкулярна да плоскасці падзення) светлага пучка пры яго поўным адбіцці. Гэты зрух пучка нашмат меншы за даўжыню хвалі і для яго назірання светлавы пучок павінен быць абмежаваным у папярочным напрамку. У 1969 г. французскім фізікам К. Эмберам яна была пацверджана эксперыментальна і атрымала назву «зрух Фёдарова».



У 2009 г. кітайскі вучоны Чарльз Као ўзнагароджаны Нобелеўскай прэміяй па фізіцы за выдатны ўклад у даследаванне святлаводаў для аптычнай сувязі.



1. Якая з'ява называецца праламненнем святла?
2. Што з'яўляецца прычынай праламлення святла на мяжы падзелу асяроддзяў?
3. Растлумачце, чаму аловак, апушчаны ў ваду, здаецца паламаным (гл. мал. 129).
4. Сфармулюйце закон праламлення святла.
5. Што называецца поўным адбіццём святла? Пры якой умове яно назіраецца?

6. Па якой формуле разлічваецца гранічны вугал поўнага адбіцця святла?
7. Чаму роўны вугал праламлення пры нармальным падзенні святла на мяжу падзелу двух асяроддзяў?
8. Чаму ўяўная глыбіня вадаёма меншая за сапраўдную?
9. Чаму аквалангісты апранаюць маскі на вочы для апускання ў ваду?

Прыклад рашэння задачы

Вызначыце вугал падзення α праменя з паветра на шкляную пласцінку з паказчыкам праламлення $n = 1,5$, калі вугал паміж адбітым і праломленым прамянямі роўны $\varphi = 90^\circ$.

Дадзена:

$$n = 1,5$$

$$n_{\text{в}} = 1,0$$

$$\varphi = 90^\circ$$

α — ?

Рашэнне

З закону праламлення святла знаходзім:

$$\sin \alpha = n \sin \gamma.$$

З геаметрычнай пабудовы (мал. 136) вынікае, што вугал адбіцця і праламлення звязаны суадносінай:

$$\beta + \gamma = 90^\circ.$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta.$$

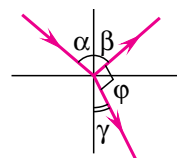
Падстаўляем знойдзены вугал γ у закон праламлення і з улікам закона адбіцця ($\beta = \alpha$) вызначаем шуканы вугал падзення:

$$\sin \alpha = n \sin(90^\circ - \beta) = n \sin(90^\circ - \alpha) = n \cos \alpha.$$

Адкуль

$$\operatorname{tg} \alpha = n, \quad \operatorname{tg} \alpha = 1,5, \quad \alpha = 56^\circ.$$

Адказ: $\alpha = 56^\circ$.



Мал. 136

Практыкаванне 15

1. Вызначыце глыбіню ракі H , калі чалавеку, які глядзіць нармальна да яе паверхні, яна здаецца роўнай $h = 4,0$ м. Паказчык праламлення вады адносна паветра лічыць $n = \frac{4}{3}$.
2. Знайдзіце адносны паказчык праламлення n_{21} другога асяроддзя адносна першага, калі вугал адбіцця праменя на мяжы падзелу двух асяроддзяў $\alpha = 4,0^\circ$, а вугал яго праламлення — $\gamma = 46^\circ$.
3. Вызначыце вугал падзення α праменя святла на паверхню шкла з паветра, калі вугал праламлення ў $k = 2,0$ раза меншы за вугал падзення. Паказчык праламлення шкла $n = 1,5$.

4. Вызначыце гранічны вугал поўнага адбіцця α_2 на мяжы рэчыва са шклом (паказчык праламлення шкла $n = 1,42$), калі на мяжы гэтага рэчыва з паветрам ($n_{\text{п}} = 1,0$) гранічны вугал поўнага адбіцця $\alpha_1 = 45^\circ$.
5. Вызначыце вугал падзення α праменя святла з паветра на паверхню шкла з паказчыкам праламлення $n = 1,6$, калі вугал праламлення гэтага праменя $\gamma = 29^\circ$.
6. Вызначыце вугал падзення α на плоскую мяжу падзелу двух асяроддзяў з паказчыкамі праламлення $n_1 = 1,5$ і $n_2 = 1,7$, калі прамень адбіты перпендыкулярны да праменя праломленага.
7. Святло распаўсюджваецца ўздоўж аптычнага валакна з паказчыкам праламлення $n_1 = 1,60$. Вызначыце паказчык праламлення n_2 абалонкі, калі гранічны вугал поўнага адбіцця роўны $\alpha_{\text{гр}} = 85,0^\circ$.



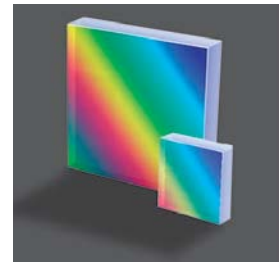
§ 20. Праходжанне святла праз аптычныя элементы

- Законы адбіцця і праламлення святла шырока выкарыстоўваюцца для кіравання ходам светлавых пучкоў. Для адбіцця святла ў прыборах прымяняюцца люстры і прызмы, для праламлення — прызмы, плоскапаралельныя пласцінкі (мал. 137), лінзы. Люстры, прызмы, пласцінкі і лінзы з'яўляюцца элементамі, камбінуючы якія ствараюць розныя аптычныя прыборы. Як яны працуюць?

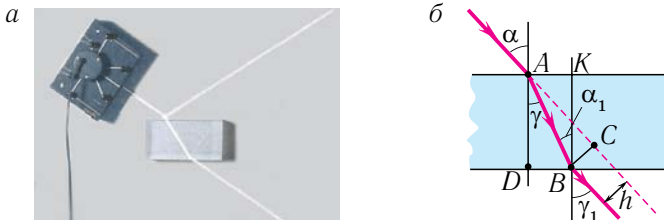
Разгледзім асобныя элементы аптычных прыбораў.

Плоскапаралельная пласцінка

Разгледзім ход светлага праменя ад крыніцы ў плоскапаралельнай пласцінцы таўшчынёй d , якая знаходзіцца ў паветры (мал. 138, а). Згодна з законам праламлення, на першай і другой межах



Мал. 137. Плоскапаралельныя пласцінкі



Мал. 138. а — светлавы прамень, які праходзіць праз плоскапаралельную пласцінку; б — ход праменя ў пласцінцы