



§ 36.

Праламленне святла



Мал. 250

Чаму ногі чалавека, які зайшоў у ваду, здаюцца карацейшымі (мал. 250)? Дно басейна мы бачым бліжэй да паверхні, чым ёсць насамерч. Лыжка ў шклянцы на ўзроўні паверхні вады (мал. 251) здаецца пераламанай. Як растлумачыць гэтыя з'явы?

Калі пучок святла падае на мяжу падзелу двух празрыстых асяроддзяў, частка яго адбіваецца, а частка пераходзіць у другое асяроддзе, змяняючы свой напрамак (мал. 252).

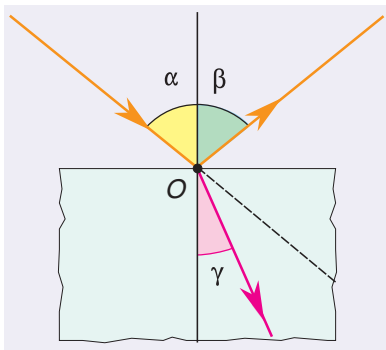
Змяненне напрамку распаўсюджвання святла пры пераходзе яго праз мяжу падзелу двух асяроддзяў называецца праламленнем.

Якім законам падпарадкоўваецца праламленне святла?

Разгледзім дослед. У цэнтры аптычнага дыска замацуем шклянны паўдыск (мал. 253), накіруем на яго вузкі пучок святла (прамень 1). Прамень 3 — праломлены прамень.

Вугал γ паміж перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення да мяжы падзелу двух асяроддзяў, і праломленым праменем называецца вуглом праламлення.

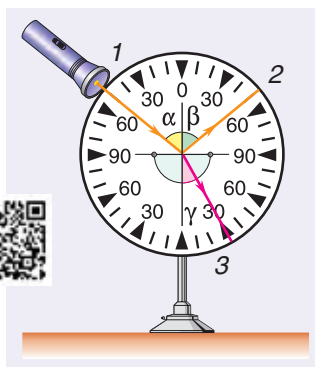
Параўнаўшы вуглы α і γ (мал. 253), мы бачым, што вугал праламлення γ меншы за вугал падзення α .



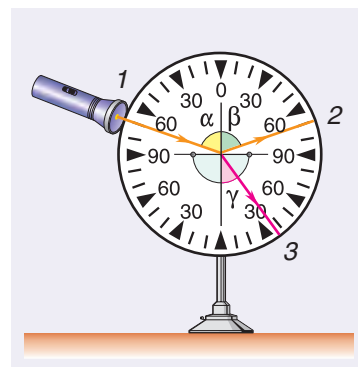
Мал. 252



Мал. 251



Мал. 253



Мал. 254

Павялічым вугал падзення α (мал. 254). Вугал праламлення γ таксама павялічыцца, але ён па-ранейшаму меншы за вугал падзення ($\gamma < \alpha$).

Калі шкло замяніць вадой і пусціць светлавую прамень пад тым жа вуглом α (мал. 255, а), што і на шкляны паўдыск, то вугал праламлення γ у вадзе будзе некалькі большы, чым у шкле, але меншы за вугал падзення: $\gamma < \alpha$. Параўнаем скорасці святла ў паветры, вадзе і шкле: $v_{\text{пав}} > v_{\text{в}} > v_{\text{шкл}}$, г. зн. шкло аптычна больш шчыльнае асяроддзе, чым вада, а вада — чым паветра. Такім чынам, пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага ў аптычна больш шчыльнае асяроддзе вугал праламлення меншы за вугал падзення.

А калі прамень пераходзіць з вады ў паветра?

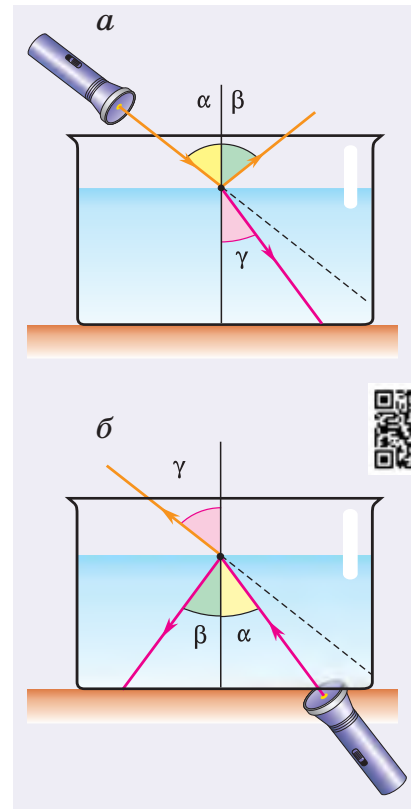
З доследу (мал. 255, б) бачна, што вугал γ большы за вугал α . Значыць, калі святло пераходзіць з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў аптычна менш шчыльнае, то вугал праламлення большы за вугал падзення. Гэты вывад лагічна вынікае з уласцівасці абарачальнасці, якая характэрна не толькі для падаючага і адбітага праменяў, але і для падаючага і праломленага праменяў.

З рэзультатаў праведзеных доследаў вынікае.

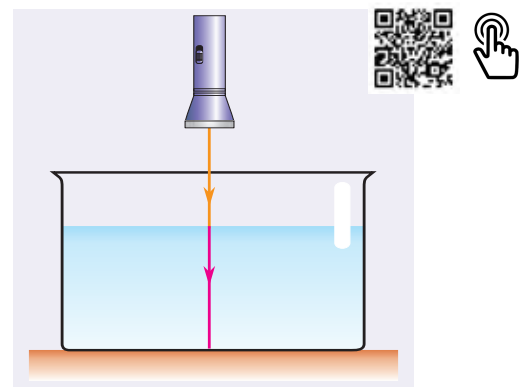
1. Прамень падаючы і прамень праломлены ляжаць у адной плоскасці з перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення праменя да мяжы падзелу двух асяроддзяў.

2. Вугал праламлення меншы за вугал падзення пры пераходзе праменя з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае. Вугал праламлення большы за вугал падзення, калі прамень пераходзіць з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў аптычна менш шчыльнае.

Гэтыя два галоўныя палажэнні выражаюць сутнасць з'явы праламлення святла. Аднак, калі прамень падае перпендыкулярна да мяжы падзелу двух асяроддзяў ($\alpha = 0^\circ$), ён не зведае праламлення, што пацвярджаецца доследам (мал. 256).



Мал. 255



Мал. 256

■ Галоўныя вывады

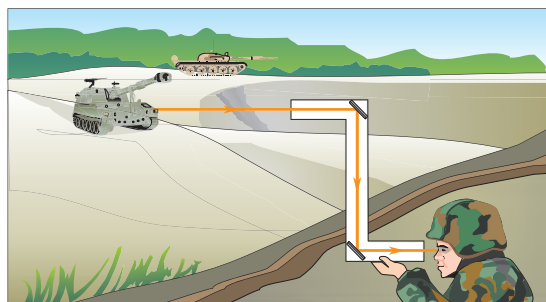
1. Пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое светлавя прамень на мяжы падзелу асяроддзяў у большасці выпадкаў зведвае праламленне (змяняе напрамак).
2. Прамень, які падае перпендыкулярна да мяжы падзелу двух асяроддзяў ($\alpha = 0^\circ$), не зведвае праламлення.
3. Калі прамень пераходзіць з аптычна менш шчыльнага асяроддзя ў аптычна больш шчыльнае, вугал праламлення меншы за вугал падзення ($\beta < \alpha$). Пры пераходзе праменя з аптычна больш шчыльнага асяроддзя ў менш шчыльнае вугал праламлення большы за вугал падзення ($\gamma > \alpha$).

? Кантрольныя пытанні

1. Якія з'явы адбываюцца са светлавым праменем на мяжы падзелу двух асяроддзяў?
2. Як залежыць вугал праламлення праменя пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў другое ад скорасці распаўсюджвання святла ў іх?
3. Ці можа вугал праламлення быць большым за вугал падзення? У якіх выпадках?
4. Ці магчымы пераход праменя святла з аднаго асяроддзя ў другое без праламлення? Адказ пракаментуйце.
5. У якіх межах можа змяняцца вугал праламлення пры пераходзе праменя з вады ў паветра? Чаму?

➔ Дамашняе заданне

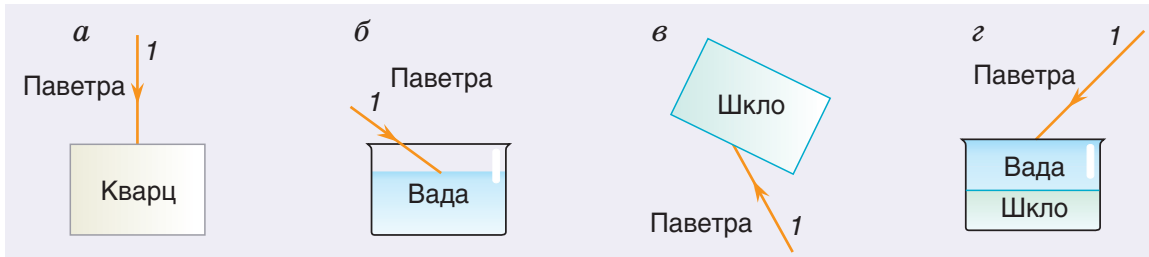
Для назірання з акапа за падзеямі, якія адбываюцца на паверхні зямлі, выкарыстоўваюць перыскоп (ад грэч. *periskopéō* — гляджу навокал). Найпрасцейшая схема люстранага перыскопа паказана на малюнку 257. Раствлумачце дзеянне перыскопа. Сканструйце дома перыскоп і паназірайце, седзячы на падлозе, за тым, што адбываецца за акном.



Мал. 257

Практыкаванне 24

1. Пакажыце прыкладны ход праломленага праменя ў дадзеных асяроддзях (мал. 258), прамень 1 — падаючы.




Мал. 258


2. Прамень святла падае з паветра пад адным і тым жа вуглом на паверхні вады, шкла і алмазу. Для якога з асяроддзяў вугал праламлення будзе найбольшым? Найменшым? Пакажыце гэта на чарцяжы.

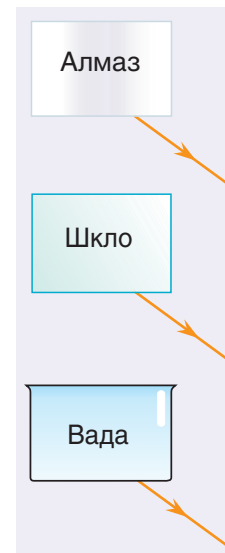
3. Па якіх напрамках трэба пусціць прамені ў алмазе, шкле і вадзе, каб прамені, якія выйшлі з іх у паветра (мал. 259), аказаліся паралельнымі? Пакажыце на чарцяжы ў сшытку.

4. Як зменіцца шырыня пучка паралельных праменяў пасля праламлення яго на мяжы асяроддзяў паветра — вада? Зрабіце чарцёж, які тлумачыць адказ.

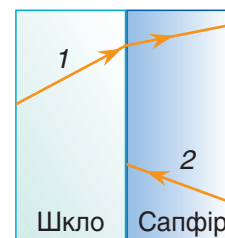
5. Пласцінка са шкла прыціснута да пласцінкі з сапфіру. На мяжу іх падзелу падаюць прамені 1 і 2. Напрамак распаўсюджвання праменя 1 у шкле і сапфіры паказаны на малюнку 260. Пакажыце прыкладны напрамак распаўсюджвання ў шкле пераломленага праменя 2. Адказ патлумачце.

 6. Чалавеку, які стаіць на беразе, здаецца, што ногі чалавека, які зайшоў у ваду, сталі карацейшымі. Раствлумачце з дапамогай чарцяжа гэты аптычны падман.

 7. Два хлопчыкі, адзін з якіх знаходзіцца пад вадой, а другі — на беразе, ацэньваюць «на вока» вышыню Сонца над гарызонтам. Якому з іх Сонца будзе здавацца размешчаным ніжэй?



Мал. 259



Мал. 260



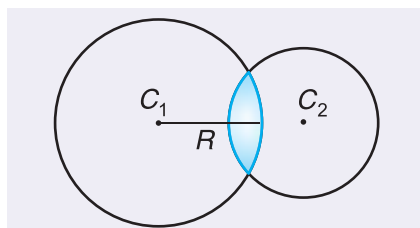
§ 37.

Лінзы. Аптычная сіла лінзы

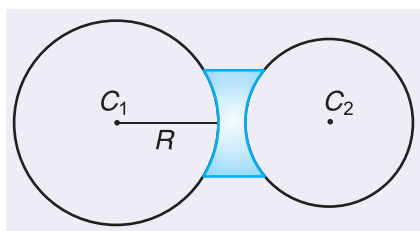
Многія людзі носяць акулераў. А ці задумваліся вы над пытаннямі: што ўяўляе сабой шкло акулераў і якая яго роля? Шкло акулераў ёсць не што іншае, як лінза. Ні адзін аптычны прыбор (ад простаў лупы да складаных тэлескопаў) не абыходзіцца без лінзаў. Што ж такое лінза?

Лінза ўяўляе сабой празрыстае цела, абмежаванае крывалінейнымі (сферычнымі) або крывалінейнай і плоскай паверхнямі. Матэрыялам для лінзаў звычайна служыць аптычнае або арганічнае шкло.

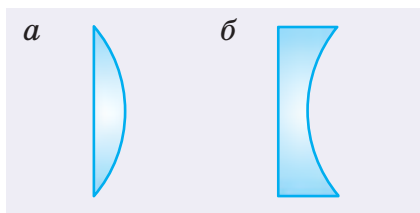
На малюнках 261, 262 паказаны сячэнні лінзаў двух тыпаў: *дваякавыпуклай* (мал. 261) і *дваякаўвагнутай* (мал. 262). Адна з паверхняў лінзы можа быць плоскай, як, напрыклад, на малюнку 263. Такія лінзы называюцца *плоскавыпуклымі* (мал. 263, а) і *плоскаўвагнутымі* (мал. 263, б). Прамая, якая праходзіць праз цэнтры C_1 і C_2 сферычных паверхняў (мал. 264), называецца *галоўнай аптычнай воссю лінзы*. радыусы R_1 і R_2 ёсць радыусы крывізны паверхняў лінзы (мал. 264).



Мал. 261



Мал. 262

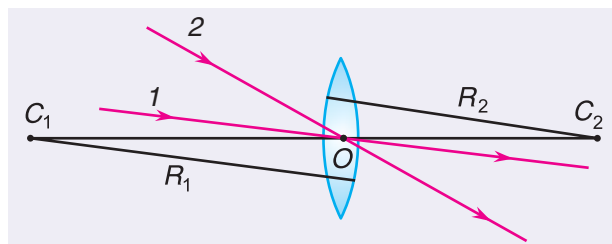


Мал. 263

Калі таўшчыня лінзы малая ў параўнанні з радыусамі R_1 і R_2 крывізны яе паверхняў (мал. 264), то лінза называецца *тонкай*. Яе часта абазначаюць \downarrow або λ . Усякая тонкая лінза мае пункт, пры праходжанні праз які прамень не змяняе свайго напрамку (прамені 1 і 2 на малюнку 264). Гэты пункт O называецца *аптычным цэнтрам лінзы*. У далейшым мы будзем разглядаць толькі тонкія лінзы, вырабленыя з рэчыва, аптычна больш шчыльнага, чым асяроддзе (паветра), у якім яны знаходзяцца.

Як лінзы змяняюць напрамак падаючых на іх праменяў пасля праламлення? Адказ атрымаем пры дапамозе доследу.

Накіруем на дваякавыпуклую лінзу паралельна галоўнай аптычнай восі прамені святла (мал. 265, а). Пасля праламлення ў лінзе яны перасякаюць галоўную аптычную вось у адным



Мал. 264

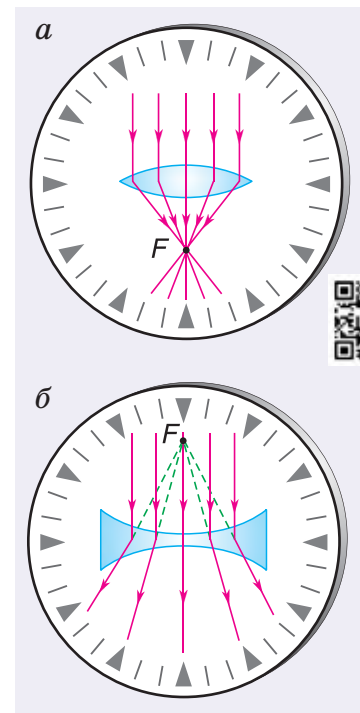
пункце F . Значыць, дваякавыпуклая лінза збірае праломленыя прамені, таму такая лінза называецца **збіральнай**. Таксама ператвараюць паралельны пучок у сыходны лінзы 2, 3, паказаныя на малюнку 270 (с. 147). Пры замене лінзы на дваякаўвагнутую (мал. 265, б) прамені пасля праламлення ў лінзе разыходзяцца, а цэнтральны прамень, як і ў першым выпадку, не зведвае праламлення. Такім чынам, дваякаўвагнутая лінза расейвае паралельны пучок падаючых праменяў, таму такая лінза называецца **расейвальнай**. Расейваюць паралельны пучок і лінзы 5, 6 (гл. мал. 270).

Пункт F (мал. 265, а, мал. 266, а), у якім перасякаюцца праломленыя лінзай прамені, падаючыя паралельна галоўнай аптычнай восі, або іх прадаўжэнні (мал. 265, б, мал. 266, б), называецца **галоўным фокусам лінзы**. Паколькі паралельныя прамені можна пусціць як з аднаго, так і з другога боку лінзы, то ў лінзы два галоўныя фокусы. Абодва фокусы ляжаць на галоўнай аптычнай восі сіметрычна адносна аптычнага цэнтра лінзы (мал. 266). А ў якім пункце лінза збірае прамені, што ідуць пад вуглом да галоўнай аптычнай восі? Аказваецца, у пункце F_1 , які знаходзіцца ў плоскасці $A-A_1$ (мал. 266, а), што праходзіць праз галоўны фокус перпендыкулярна да галоўнай аптычнай восі. Гэта плоскасць называецца **факальнай плоскасцю**, а пункт F_1 , у адрозненне ад галоўнага фокуса, называецца **фокусам**.

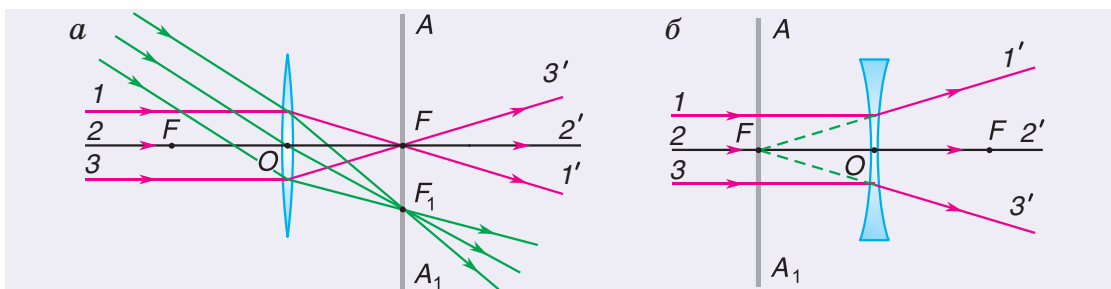
Звярніце ўвагу, што ў фокусе збіральнай лінзы перасякаюцца самі *праломленыя прамені*, якія нясуць энергію, таму фокус называецца **сапраўдным**. У фокусе расейвальнай лінзы перасякаюцца *прадаўжэнні праломленых праменяў*. Такі фокус называюць **уяўным**.

Адлегласць ад аптычнага цэнтра да галоўнага фокуса называецца **фокуснай адлегласцю**. Яе таксама абазначаюць літарай F .

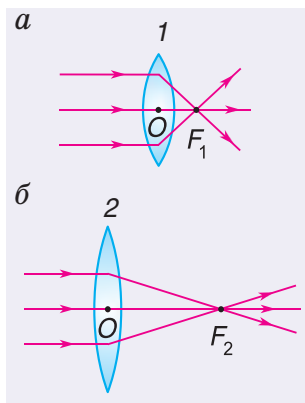
Лінза, якая мае больш выпуклыя паверхні, праламляе прамені мацней. Лінза 1 (мал. 267, а) пралам-



Мал. 265



Мал. 266



Мал. 267

ляе прамені мацней, чым лінза 2 (мал. 267, б). Фокусная адлегласць F_1 у лінзы 1 меншая, чым F_2 у лінзы 2.

Каб колькасна ацаніць праламляльную здольнасць лінзы, увядзём велічыню, адваротную фокуснай адлегласці, і назавём яе **аптычнай сілай лінзы** (абазначаецца літарай D):

$$D = \frac{1}{F}.$$

Асноўнай адзінкай вымярэння аптычнай сілы лінзы ў СІ з'яўляецца **дыяптрыя** (скарочана **дптр**). Відавочна, што $D = 1$ дптр, калі фокусная адлегласць лінзы $F = 1$ м.

А як ацэньваецца аптычная сіла рассеивальнай лінзы, у якой фокус уяўны? У гэтым выпадку фокусная адлегласць лічыцца адмоўнай, а значыць, і аптычная сіла — адмоўная велічыня.

Напрыклад, калі $F = -0,5$ м, то аптычная сіла

$$D = \frac{1}{-0,5 \text{ м}} = -2 \text{ дптр}.$$

Цяпер для вас не будзе загадкай рэкамендацыя ўрача-акуліста: «Вам патрэбны акуляры са шклом $+1,5$ дыяптрыі (або -2 дыяптрыі)».

▼ Для дапытлівых

Не варта думаць, што любая лінза з выпуклай паверхняй будзе абавязкова збіральной, а з увагнутай — рассеивальнай. Збіральной з'яўляецца ўсякая лінза, у якой сярэдзіна таўсцейшая за краі (напрыклад, лінзы 1, 2, 3 на малюнку 270), а рассеивальнай — лінза, у якой сярэдзіна танчэйшая за краі (мал. 270, лінзы 4, 5, 6). І не забывайце, што ўсе нашы разважанні справядлівыя, калі рэчыва лінзы (шкло) мае большую аптычную шчыльнасць, чым навакольнае асяроддзе (паветра).

У прыродзе збіральнымі лінзамі з'яўляюцца кропелькі расы, у побыце — напоўненыя вадой празрыстыя пасудзіны — ваза, пластыкавая бутэлька. Падумайце і адкажыце, якія гэта лінзы.

▼ Для дапытлівых

У Беларусі прадпрыемствы, якія ўваходзяць у холдынг «БелОМА», спецыялізуюцца на распрацоўцы і выпуску аптычных дэталей для шырокага профілю ўстройстваў: назіральных прыбораў (бінокляў, прыцэлаў), медыцынскага абсталявання, касмічнай тэхнікі. Інавацыйная прадукцыя холдынга экспартуецца больш як у 30 краін свету.

Галоўныя вывады

1. Лінзы змяняюць напрамак падаючых на іх праменяў пасля праламлення, за выключэннем тых, якія праходзяць праз аптычны цэнтр лінзы.
2. Збіральная лінза пасля праламлення робіць паралельны пучок праменяў сыходным, рассеивальная лінза — разыходным.
3. Прамені, якія ідуць паралельна галоўнай аптычнай восі, пасля праламлення ў збіральнай лінзе перасякаюцца ў галоўным фокусе. У рассеивальной лінзе ў галоўным фокусе перасякаюцца прадаўжэнні праломленых праменяў.
4. Велічыня, адваротная фокуснай адлегласці, вызначае аптычную сілу лінзы.

Кантрольныя пытанні

1. Якую лінзу называюць тонкай?
2. Якой асаблівай уласцівасцю валодае аптычны цэнтр тонкай лінзы?
3. Як паводзіць сябе паралельны пучок праменяў, які прайшоў праз: а) збіральную лінзу; б) рассеивальную лінзу?
4. Чаму фокус збіральнай лінзы называюць сапраўдным, а рассеивальной — уяўным?
5. Як залежыць аптычная сіла лінзы ад фокуснай адлегласці?

Практыкаванне 25

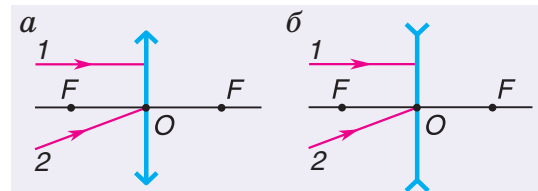
1. Вызначыце аптычную сілу лінзы, фокусная адлегласць якой:

а) $F = 20$ см; б) $F = -0,25$ м.

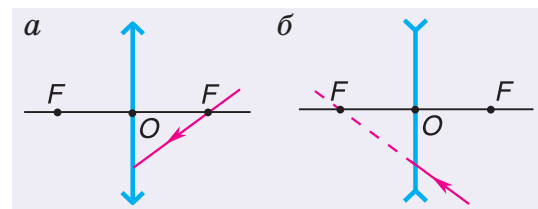
2. Для дадзеных лінзаў (мал. 268, а, б) пакажыце ход праменяў 1, 2 пасля праламлення лінзамі.

3. Пакажыце ход праменяў, падаючых на тонкія збіральную і рассеивальную лінзы (мал. 269, а, б).

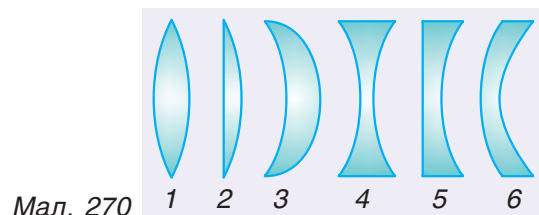
4. Па форме абмежавальных паверхняў сферычных лінзы можна падзяліць на 6 тыпаў (мал. 270). З лінзамі 1, 2, 4, 5 вы ўжо знаёмы. Лінза 3 — увагнута-выпуклая, лінза 6 — выпукла-ўвагнутая. Якія з лінзаў маюць дадатную аптычную сілу? Якія адмоўную? Пры якіх умовах?



Мал. 268



Мал. 269



Мал. 270