

4. Визначьте найбільшй парадок $m_{\max}$ спектра, назіраемаго пры нармальным падзенні монахраматычнага святла на дыфракцыйную рашотку, якая мае $N = 500 \frac{\text{рыс}}{\text{мм}}$, калі даўжыня хвалі святла $\lambda = 520 \text{ нм}$.
5. Монахраматычнае святло падае нармальна на дыфракцыйную рашотку. Дыфракцыйны максімум першага парадку назіраецца пад вуглом $\theta = 12^\circ$. Колькі іншых парадкаў m можа назірацца і пад якімі вугламі?
6. Святло з даўжынямі хваль ад $\lambda_1 = 400 \text{ нм}$ да $\lambda_2 = 780 \text{ нм}$ падае нармальна на дыфракцыйную рашотку. У якіх парадках можа адбыцца перакрыццё максімумаў і мінімумаў? Ці залежыць адказ ад шырыні шчыліны?



§16-1

§ 17. Прамалінейнае распаўсюджванне і адбіццё святла. Люстры

■ Якія з'явы назіраюцца пры адбіцці святла ад мяжы падзелу двух асяроддзяў? Як адбываецца адбіццё святла (мал. 101)? Як можна кіраваць светлавым праменем?



Закон прамалінейнага распаўсюджвання святла: у аднародным празрыстым асяроддзі святло распаўсюджваецца прамалінейна.

Закон незалежнасці светлавых праменяў: распаўсюджванне светлавых праменяў у рэчыве адбываецца незалежна адзін ад аднаго.

Вугал паміж падаючым праменем і перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення праменя, называецца вуглом падзення.

Вугал, утвораны адбітым праменем і перпендыкулярам, праведзеным у пункт падзення праменя, называецца вуглом адбіцця.

Закон адбіцця святла: прамені, падаючы і адбіты, а таксама перпендыкуляр да адбіваючай паверхні, праведзены ў пункт падзення, ляжаць у адной плоскасці; вугал адбіцця роўны вуглу падзення.



Мал. 101. Відарыс у плоскім люстры

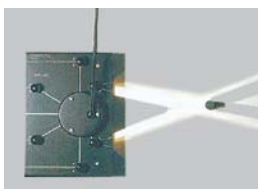
Для вывучэння ўласцівасцей электрамагнітных хваль неабходна ведаць заканамернасці як іх распаўсюджвання ў аднародным асяроддзі, так і адбіцця і праламлення на мяжы падзелу двух асяроддзяў.

Геаметрычнай оптыкай называюць раздзел оптыкі, у якім вывучаюцца законы распаўсюджвання аптычнага выпраменьвання на падставе ўяўлення аб светлавых праменях. У геаметрычнай оптыцы хвалевае прырода святла не ўлічваецца. Дамоўімся паказваць светлавыя прамені

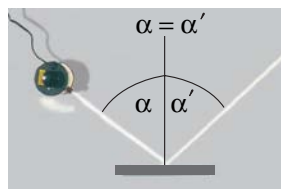




Мал. 102. Светлавы пучок



Мал. 103. Прамалінейнае распаўсюджванне святла



Мал. 104. Адбіццё святла

графічна з дапамогай геаметрычных праменяў. Геаметрычнаму праменю на практыцы адпавядае тонкі *светлавы пучок*, які атрымліваецца пры прапусканні светлагага выпраменьвання, што ідзе ад аддаленай крыніцы, праз адтуліну (дыяфрагму) у экране (мал. 102).

Такім чынам, трэба адрозніваць геаметрычны прамень (матэматычнае паняцце) і светлавы пучок (матэрыяльны аб'ект), атрыманы ад крыніцы святла.

Ужо ў пачатковыя перыяды аптычных даследаванняў былі эксперыментальна вызначаны чатыры асноўныя законы геаметрычнай аптыкі:

закон прамалінейнага распаўсюджвання святла (мал. 102, 103);

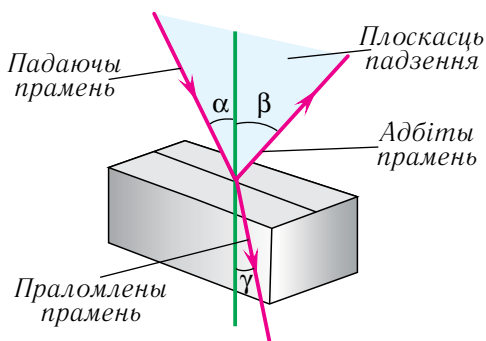
закон незалежнасці светлавых праменяў;

закон адбіцця светлавых праменяў (мал. 104);

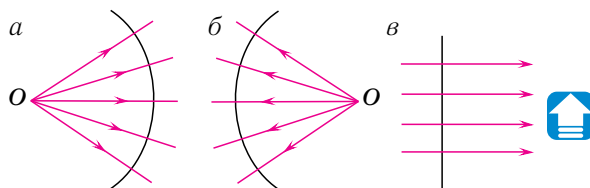
закон праламлення светлавых праменяў (мал. 105).

У законе прамалінейнага распаўсюджвання святла, законах адбіцця і праламлення святла выкарыстоўваліся паняцці «светлавы пучок» і «светлавы прамень», прычым апошні разглядаўся як бясконца тонкі пучок. Светлавы паток можна падзяліць на асобныя светлавыя пучкі пры дапамозе дыяфрагм (гл. мал. 103).

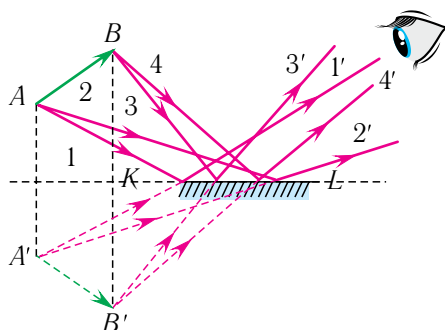
Прамені, якія выходзяць з аднаго пункта, называюць **разыходнымі**, а прамені, якія збіраюцца ў адным пункце, — **сыходнымі** (мал. 106).



Мал. 105. Прапамленне і адбіццё святла на мяжы падзелу асяроддзяў



Мал. 106. Пучкі святла: а) разыходны; б) сыходны; в) паралельны



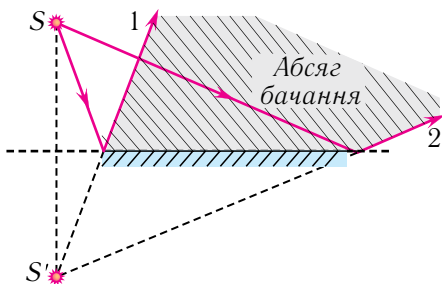
Мал. 107. Пабудова відарыса прадмета ў плоскім люстры

зробім для пункта B . Воку назіральніка будзе здавацца, што прамені выйшлі з пунктаў A' і B' , г. зн. з крайніх пунктаў відарыса $A'B'$ прадмета AB .

У оптыцы відарыс называецца **сапраўдным**, калі ён утвораны самімі прамянямі (г. зн. у дадзены пункт паступае светлавая энергія). Калі ж відарыс утвораны не самімі прамянямі, а іх прадаўжэннямі, то кажуць, што відарыс **уяўны** (светлавая энергія не паступае ў дадзены пункт).

Відарыс называецца **прамым**, калі ён арыентаваны таксама, як прадмет. Калі ж відарыс перавернуты, то яго называюць **адваротным** або **перавернутым**.

Такім чынам, відарыс прадмета ў плоскім люстры — уяўны прамы, у натуральную велічыню. Ён сіметрычны прадмету адносна плоскасці люстра і знаходзіцца на такой жа адлегласці за плоскасцю люстра, як і сам прадмет (гл. мал. 107).



Мал. 108. Пабудова відарыса крыніцы і абсягу бачання ў плоскім люстры

Як бачна з малюнка 106, сферычнай хвалі адпавядае разыходны пучок светлавых праменяў, а плоскай — паралельны пучок.

Выкарыстаўшы закон адбіцця, можна пабудаваць відарыс прадмета AB у **плоскім люстры** (мал. 107), што ўяўляе сабой плоскую адбіваючую паверхню. Пабудаваўшы ход праменяў 1 і 2 ад пункта A пасля адбіцця ад люстра KL , прадоўжым іх да скрыжавання ў пункце A' . Аналагічныя пабудовы

На малюнку 108 паказаны прыклад пабудовы абсягу бачання крыніцы S у плоскім люстры. Для яго атрымання неабходна пабудаваць ход праменяў 1 і 2, накіраваных на краі люстра. Абсяг (заштрыхаваны) паміж адбітымі прамянямі і дае абсяг, знаходзячыся ў якім можна ўбачыць крыніцу.

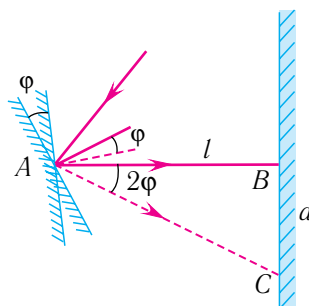


1. Што называюць праменем? Ці можна лічыць праменем вельмі вузкі пучок святла?
2. Якому закону падпарадкоўваецца распаўсюджванне святла ў аднародным празрыстым асяроддзі?
3. Як трэба размясціць кропкавую крыніцу святла, плоскі прадмет і экран, каб контур ценю на экране быў геаметрычна падобны контуру прадмета?
4. Якімі стануць паралельны, сыходны і разыходны пучкі святла пасля адбіцця ад плоскага люстра?
5. Які відарыс называецца: а) сапраўдным; б) уяўным; в) прамым; г) адваротным? Назавіце характарыстыкі відарысаў у плоскім люстры.
6. Як размяшчаны відарыс у плоскім люстры?



Прыклад рашэння задачы

Прамень святла, адбіты ад плоскага люстра, падае перпендыкулярна на плоскі экран, усталяваны на адлегласці $l = 5,0$ м ад люстра (мал. 109). На якую адлегласць d змесціцца светлавая зайчык на экране, калі люстра павярнуць на вугал $\varphi = 15^\circ$ вакол восі, якая ляжыць у плоскасці люстра і перпендыкулярна да плоскасці, у якой знаходзяцца падаючы і адбітыя прамені?



Мал. 109

Дадзена:

$$l = 5,0 \text{ м}$$

$$\varphi = 15^\circ$$

$$d = ?$$

Рашэнне

Пры павароце люстра на вугал φ перпендыкуляр да люстра таксама павернецца на вугал φ . Значыць, вугал падзення праменяў павялічыцца таксама на вугал φ (гл. мал. 109). У адпаведнасці з законам адбіцця на такую ж велічыню павялічыцца і вугал адбіцця.

Такім чынам, сумарны паварот адбітага праменя складзе 2φ .

Значыць, зрух светлагага зайчыка на экране роўны даўжыні катэта BC прававугольнага трохвугольніка ABC :

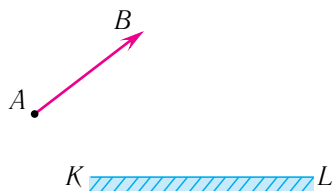
$$d = l \cdot \operatorname{tg}(2\varphi),$$

$$d = 5,0 \text{ м} \cdot \operatorname{tg}(2 \cdot 15^\circ) = 2,9 \text{ м}.$$

Адказ: $d = 1,9$ м.

Практыкаванне 13

1. Вызначыце вугал падзення α сонечных праменяў, калі слуп вышынёй $H = 5,0$ м адкідвае цень даўжынёй $l = 2,5$ м.
2. Вызначыце вышыню H дрэва, калі цень ад яго мае даўжыню $l_1 = 3,5$ м, а пастаўленая вертыкальна лінейка даўжынёй $l = 30$ см адкідвае цень даўжынёй $l_2 = 20$ см.
3. Вы жадаеце сфатаграфавать сябе ў люстры з адлегласці $l = 2,2$ м. Ці можна гэта зрабіць? Калі можна, то на якую адлегласць x павінен быць сфакусіраваны аб'ектыў фотаапарата?
4. Чалавек, вочы якога знаходзяцца на вышыні $h = 1,48$ м ад падлогі, стаіць перад плоскім вертыкальным люстрам на адлегласці $l = 2,70$ м ад яго. Ніжні край люстра размешчаны на вышыні $a = 40$ см над падлогай. На якой адлегласці b ад люстра знаходзіцца бліжэйшы пункт, бачны ў ім?
5. Пабудуйце відарыс прадмета AB у плоскім люстры KL (мал. 110). Вызначыце графічна абсяг яго бачання.
6. Калі хлопчык набліжаецца да плоскага люстра са скорасцю $v = 0,60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, то з якой скорасцю неабходна аддаляць люстра ад яго, каб адлегласць паміж хлопчыкам і яго відарысам не змянялася?



Мал. 110



§ 18. Увагнутыя і выпуклыя сферычныя люстры. Пабудова відарысаў

- Штораніцы, мыючыся, вы глядзіце ў плоскае люстра і бачыце свой выразны адбітак у ім. Але паверхня люстра можа быць не толькі плоскай, але і скрыўленай. Паралельныя прамені святла, адбіваючыся ад скрыўленай паверхні, не застаюцца паралельнымі. Але адбіваюцца яны ўпарадкавана і могуць як сыходзіцца, так і разыходзіцца (мал. 111).

Самы просты прыклад скрыўленай адбіваючай паверхні — сферычная паверхня. Люстра з такой паверхняй называюць **сферычным**.



Мал. 111. Адбіцці ад скрыўленай люстраной паверхні



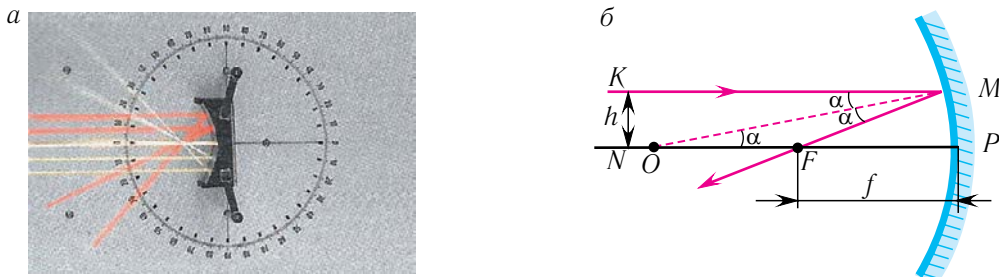
Мал. 112. Сфэрычныя люстры: *а* — увагнутае; *б* — выпуклае

Адрозніваюць два тыпы сфэрычных люстр: *увагнутыя*, калі люстраной з’яўляецца ўнутраная паверхня сферы (мал. 112, *а*), і *выпуклыя*, калі — знешняя (мал. 112, *б*).

Асноўныя характарыстыкі сфэрычных люстр

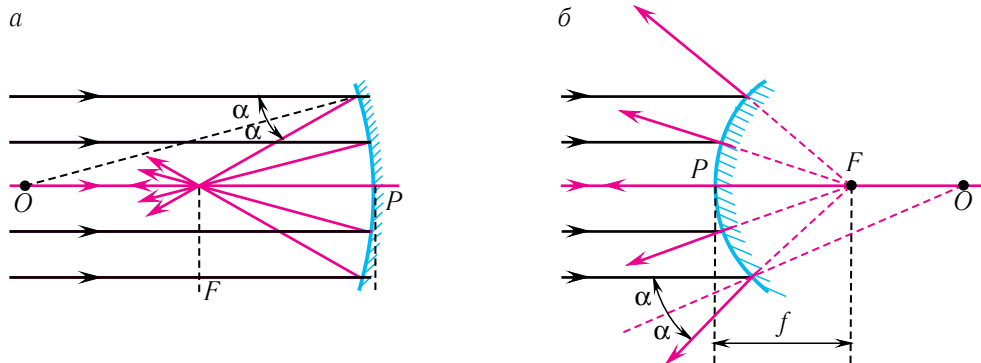
Разгледзім асноўныя характарыстыкі сфэрычных люстр на прыкладзе увагнутага люстра (мал. 113). Цэнтр сферы O называецца **аптычным цэнтрам** люстра, яго радыус R — **радыусам** люстра. Вяршыня шаравога сегмента P называецца **полюсам** люстра. Прамая лінія OP , якая праходзіць праз аптычны цэнтр і полюс люстра, называецца **галоўнай аптычнай воссю**. Любая прамая, напрыклад прамая OM , якая праходзіць праз аптычны цэнтр O і паверхню люстра (за выключэннем яго галоўнай аптычнай восі), называецца **пабочнай аптычнай воссю**.

Паколькі паверхня люстра сфэрычная, то з яе геаметрычных уласцівасцей вынікае, што любая аптычная вось перпендыкулярна да паверхні люстра. Таму прамень, што ідзе ў напрамку да люстра па якой-небудзь з аптычных восей, адбіўшыся ад люстра, пойдзе па той жа аптычнай восі, але ўжо ў адваротным напрамку.



Мал. 113. Увагнутае сфэрычнае люстра:

а — ход праменяў, паралельных галоўнай аптычнай восі; *б* — асноўныя элементы



Мал. 114. Побудова ходу променяў, паралельных галоўнай аптычнай восі, у люстрах: *a* — увагнутым; *б* — выпуклым

У плоскіх люстрах відарыс кропкавай крыніцы заўсёды з’яўляецца кропковым. Сферычныя люстры даюць нескажоныя відарысы толькі ў тым выпадку, калі прадмет досыць малы і прамені распаўсюджваюцца паблізу ад галоўнай аптычнай восі.



Калі накіраваць пучок променяў паралельна галоўнай аптычнай восі ўвагнутага сферычнага люстра, то ўсе яны перасякуць галоўную аптычную вось у адным і тым жа пункце на адлегласці $F = \frac{R}{2}$ (мал. 113, 114, *a*). Аналагічныя пабудовы можна выканаць і для выпуклага люстра (мал. 114, *б*). Толькі ў адрозненні ад увагнутага люстра перасякацца ў фокусе будуць не прамені, а іх прадаўжэнні. Гэты пункт знаходзіцца на галоўнай аптычнай восі на адлегласці $F = \frac{R}{2}$ ад полюса люстра — ва ўяўным фокусе.

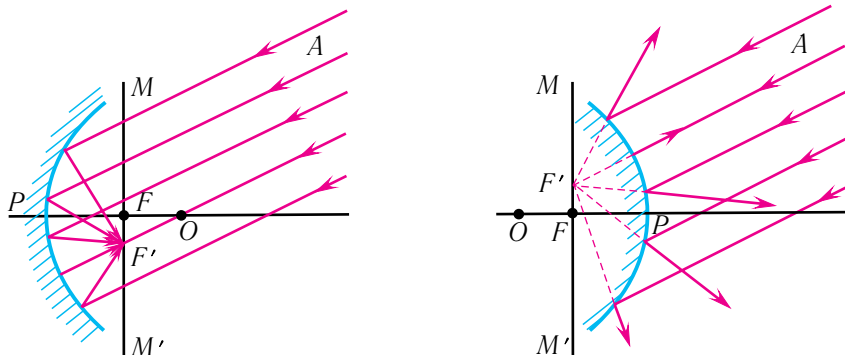
Пункт F (гл. мал. 113, 114) называецца **галоўным фокусам люстра**. Адлегласць $PF = F$ ад вяршыні люстра да фокуса называецца **фокуснай адлегласцю**. Фокусная адлегласць люстра роўна палове радыуса яго крывізны. Плоскасць, якая праходзіць праз галоўны фокус F лінзы перпендыкулярна да галоўнай аптычнай восі, называецца **факальным**.

З уласцівасці абарачальнасці аптычных променяў вынікае, што прамень, які ідзе ад крыніцы і праходзіць праз фокус F , пасля адбіцця пойдзе паралельна галоўнай аптычнай восі.

Пры падзенні пучка паралельных променяў пад вуглом да галоўнай аптычнай восі прамені пасля адбіцця перасякуць пабочную аптычную вось у пункце, які называецца **пабочным фокусам F'** (мал. 115).

Пабудова відарысаў у сферычных люстрах

Для пабудовы відарыса любога пункта ў сферычным люстры дастаткова пабудаваць ход двух любых променяў у люстры і знайсці пункт іх



Мал. 115. Адбіццё пучка праменяў, паралельных пабочнай аптычнай восі

перасячэння. Вядома, для гэтага трэба выбраць прамені, пабудаваль ход якіх у люстры прасцей за ўсё.

Як правіла, для пабудовы выбіраюць адзін з чатырох стандартных (характэрных) праменяў (мал. 116):

прамень (1) — праз цэнтр люстра — адбіты прамень пойдзе па тым жа напрамку ў адваротны бок;

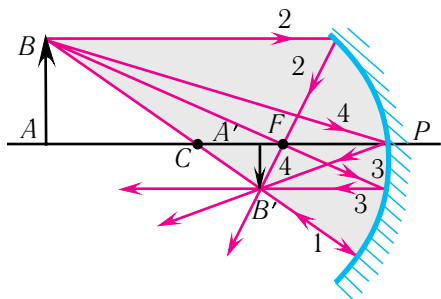
прамень (2) — паралельны галоўнай аптычнай восі — адбіты прамень
праходзіць праз галоўны фокус;

прамень (3) — **праз галоўны фокус** — адбіты прамень праходзіць паралельна галоўнай аптычнай восі;

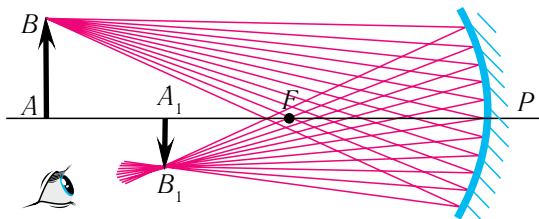
прамень (4) — падаючы на люстра ў яго полкусе — адбіты прамень ідзе сіметрычна галоўнай аптычнай восі.

Характерыстыкі відарысаў

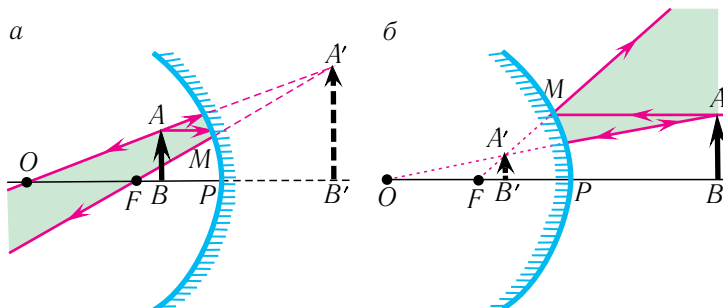
Калі прадмет AB (гл. мал. 116, 117) перпендыкулярны да галоўнай аптычнай восі ва ўвагнутым сферычным люстры, то яго відарыс будзе



Мал. 116. Стандартныя прамені
ў сферычным люстры



Мал. 117. Фарміраванне сапраўднага відарыса
ва ўвагнутым сферычным люстры



Мал. 118. Пабудова відарыса ў люстрах: *а* — увагнутым; *б* — выпуклым

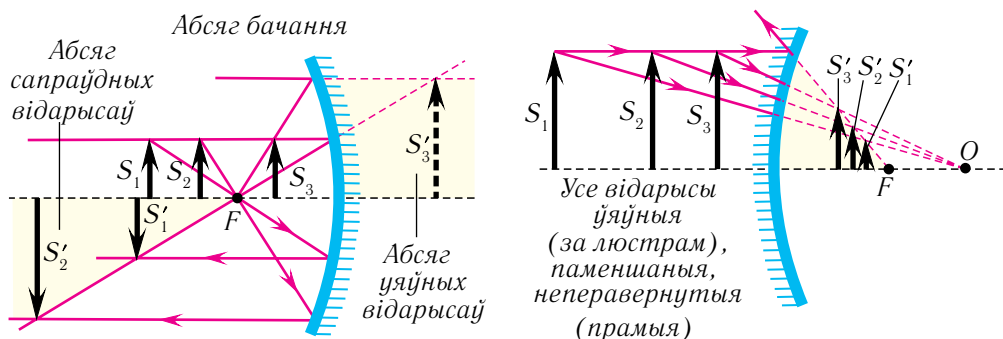
таксама перпендыкулярны да гэтай восі. Таму дастаткова пабудаваць відарыс толькі пункта *В*. З уласцівасцей зваротнасці светлагага праменя вынікае, што прадмет *AB* і яго відарыс A_1B_1 можна памяняць месцамі. Калі прадмет знаходзіцца за аптычным цэнтрам люстра, то відарыс A_1B_1 прадмета — **сапраўдны, адваротны і паменшаны** — знаходзіцца паміж галоўным фокусам і цэнтрам люстра (мал. 117).

Калі прадмет знаходзіцца паміж фокусам і аптычным цэнтрам люстра (гл. мал. 117), то відарыс A_1B_1 прадмета — **сапраўдны, адваротны і павялічаны** — знаходзіцца за цэнтрам люстра.

Калі прадмет знаходзіцца паміж полюсам люстра і яго фокусам, то відарыс A_1B_1 прадмета — **уяўны, прамы і павялічаны** — знаходзіцца за люстрам (мал. 118, *а*).

Пабудуем відарыс прадмета *AB* у выпуклым люстры (мал. 118, *б*). Відарыс у такім люстры **заўсёды атрымліваецца прамым, уяўным, паменшаным**.

Усе магчымыя відарысы прадметаў у сферычных люстрах пабудаваны на малюнку 119.



Мал. 119. Відарысы прадметаў ва ўвагнутым і выпуклым люстрах

Паколькі ўвагнутыя люстры факусіруюць любое электрамагнітнае выпраменьванне, то яны знаходзяць шырокае выкарыстанне ў радыёлакацыі, радыёсувязі, радыёастраноміі, тэлебачанні. У прыватнасці, увагнутыя люстры прымяняюць у тэлескопах — прыборах для назірання зорак, галактык.

► Чарцёж першага пражэктара быў зроблены Леанарда да Вінчы ў Атлантычным кодэксе.

Першы пражэктар быў пабудаваны ў 1779 г. рускім механікам І. П. Кулібіным.

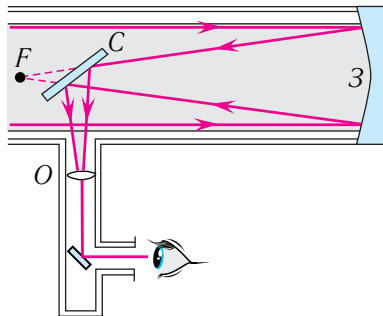
У наш час шырока выкарыстоўваюцца святлодыёдныя пражэктары (мал. 120). Яны маюць рэкордна нізкае спажыванне электраэнергіі, вялікі рэсурс працы, невялікую масу, высокую кампактнасць і могуць працаваць у шырокім тэмпературным дыяпазоне.

Першыя люстры тэлескоп-рэфлектар быў пабудаваны ў 1668 г. І. Ньютанам (мал. 121).

Сучасныя тэлескопы-рэфлектары маюць люстры вялікага дыяметра. Так, дыяметр галоўнага люстра тэлескопа Маунт-Паламарскай абсерваторыі ў ЗША — 5 м, а дыяметр тэлескопа спецыяльнай абсерваторыі на Паўночным Каўказе ў Расіі — 6 м.



Мал. 120. Святлодыёдныя пражэктары



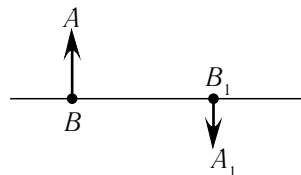
Мал. 121. Тэлескоп-рэфлектар Ньютана і ход прамяняў у ім



1. Дайце азначэнне сферычных люстр і іх класіфікацыю.
2. Дайце азначэнні асноўных элементаў сферычных люстраў.
3. Што называецца галоўным фокусам люстра? Факальнай плоскасцю?
4. Якія прамені выкарыстоўваюцца для пабудовы ў сферычных люстрах?
5. Што такое пабочная аптычная вось і пабочны фокус?
6. Якія відарысы атрымліваюцца ў сферычных люстрах: а) увагнутых; б) выпуклых?

Приклад рашэння задачы

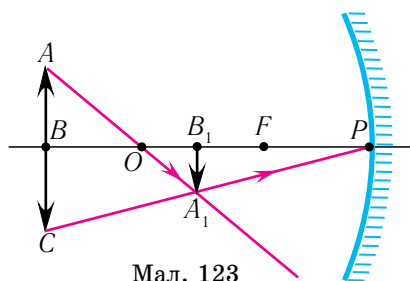
Пры дапамозе сферычнага люстра атрыма-
ны відарыс A_1B_1 прадмета AB (мал. 122). Вы-
значыце пабудовай становішча і фокус люстра.
Устанавіце таксама тып люстра (увагнутае ці выпу-
клае). Вядома, што BB_1 — аптычная вось люстра.



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.

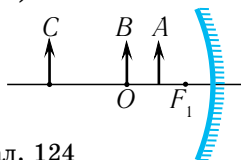


Мал. 123

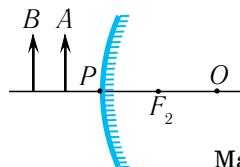
Адказ: люстра з'яўляецца ўвагнутым.

Практыкаванне 14

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

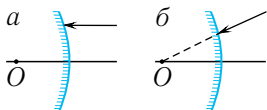


Мал. 124

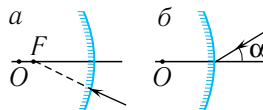


Мал. 125

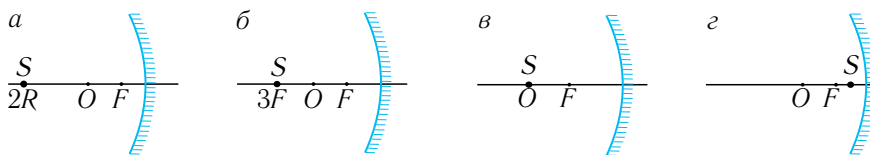
2. Пабудуйце відарысы прадметаў у выпуклых сферычных люстрах (мал. 125).
3. Пабудуйце ход праменяў ва ўвагнутых сферычных люстрах (мал. 126).
4. Пабудуйце ход праменяў у выпуклых сферычных люстрах (мал. 127).



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 да-сягнуць 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