

таъриф дода шуда буд: қонуни рафти ростхатта (ё густариши
ростхатта)-и рӯшной ва қонуни инъикоси он. Дар бораи
шикасти рӯшной бошад, он ҷо танҳо мулоҳизаҳои сифатӣ
оварда шудааст. Он ҷо қонуни шикасти рӯшной таъриф ҳам
дода нашудааст. Ҳоло мо қонунҳои инъикос ва шикасти
рӯшноиро дар доираи тасаввуроте ҳосил хоҳем кард, ки
мувофиқи он рӯшной чун рӯйдоди мавҷӣ муойина мешавад.

§40. Суръати нур (суръати рӯшноӣ)

Дар оптикаи геометрӣ танҳо самти рафти шуоъҳои рӯшноӣ таҳқиқ мешавад. Масъалаи ин ки чараёни густариши рӯшноӣ дар тӯри вақт (яъне дар тайи замон) чӣ тавр сурат мегирад, аз дойираи оптикаи геометрӣ берун аст. Хосиятҳои рӯшноӣ ва таъсири мутақобили он бо моддаҳо дар дараҷаи амиқтар дар оптикаи мавҷӣ (ё худ оптикаи физикӣ) муоина мешавад.

Омузиши ин бобро бо он оғоз мекунем, ки суръати рӯшноӣ ба чӣ тарзҳо чен карда шудааст.

Вақте ки мо калиди чароғи хонаро мепайвандем, хона ҳамон дам мунаввар мешавад, пури нур мешавад. Чунин ба назар мерасад, ки барои то ба деворҳо расидани рӯшноӣ ҳеҷ гуна вақт лозим нест.

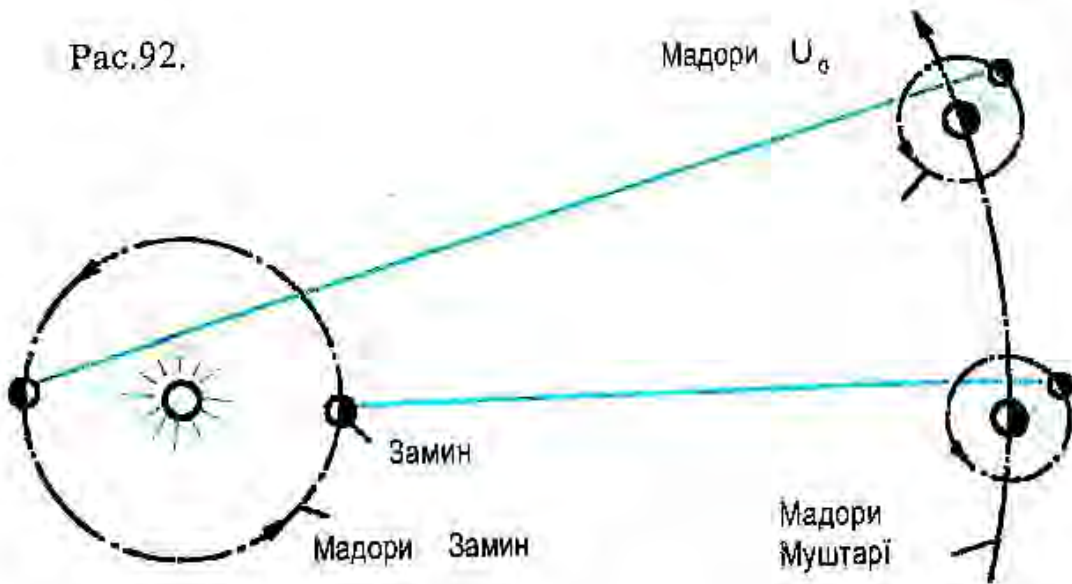
Ба мақсади чен кардани суръати рӯшноӣ кӯшишҳои зиёде ба харҷ дода шудааст. Чандин кас кӯшидааст, ки муддати ба масофаҳои дур (чанд км) паҳн гардидани сигнали рӯшноиро бо соъатҳои дақиқ чен кунад. Вале ин кӯшишҳо натиҷае надод. Он гоҳ ақидае ба миён омад, ки гӯё барои паҳн гардидани рӯшноӣ ҳеҷ гуна вақт лозим нест ва рӯшноӣ ҳама гуна масофаро дар як он мепаймояд.

Баъд рӯшан гашт, ки суръати рафти мавҷҳои рӯшноӣ беинтиҳо нест. Ва оқибат ин суръат чен карда шуд.

Усули нучумии чен кардани суръати рӯшноӣ. Чен кардани суръати рӯшноӣ нахустин бор с.1676 олими данмаркӣ (даниягӣ) О. Рёмерро муяссар гардидааст. Ӯ ситорашинос буд ва сирри муваффақияти ӯ маҳз дар он буд, ки масофаҳои барои чен кардани суръати рӯшноӣ истифода кардааш хеле зиёд (масофаҳои кайхонӣ) буданд.

Рёмер гирифти радиҳои бузургтарин сайёраи Манзумаи

Рас.92.



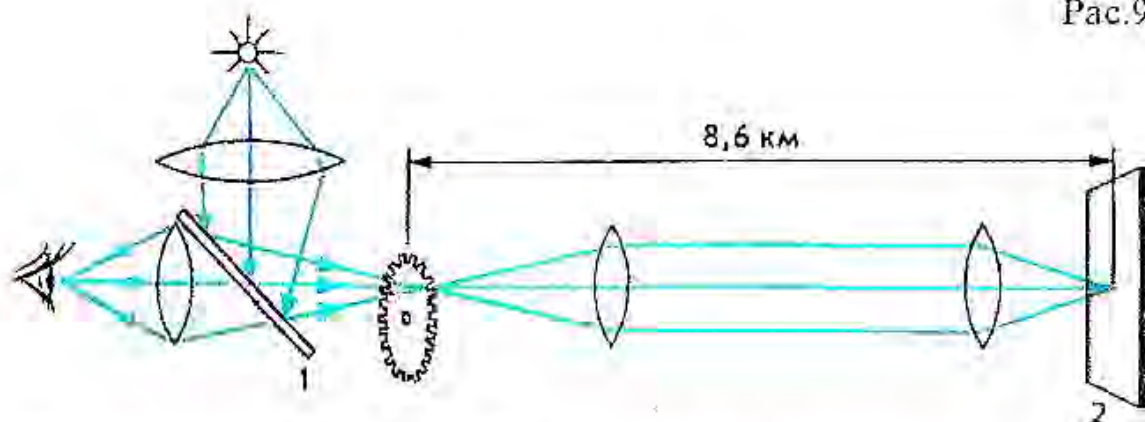
Офтоб – Муштариро мушоҳида кардааст. Муштарӣ 16 радиф дорад. Ва радифи наздиктарини он – Ио мавриди мушоҳидаи Рёмер қарор гирифт. Ӯ дид, ки Ио чӣ тавр аз пеши сайёра гузашта, ба сояи он медарояд ва аз назар ғойб мешавад. Баъд Ио боз чун чароғи якбора фурузоншуда пайдо мешуд. Фосилаи байни ду афрӯзиши Ио 42 ст 28 дақ буд. Ҳамин тариқ, ин «моҳ» соъати азими осмоние буд, ки баъди фосилаҳои баробари вақт аз буди худ ба мо хабар ё, чӣ хеле ки мегӯянд, сигнал «медод».

Фосилаи вақти байни ду сигнали Ио аввал ҳангоми дар нуқтаи ба Муштарӣ наздиктарини мадори худ воқеъ гардидани Замин (рас.92) чен карда шуд. Сипас ин таҷриба пас аз чанд моҳ, яъне баъди аз Муштарӣ дур будани Замин такрор карда шуд ва нишон дод, ки Ио аз паси Муштарӣ (назар ба фосилаи вақте ки онро аз рӯйи даври гардиши Ио ёфта мумкин буд) ба қадри 22 дақ дер мебарояд.

Ин рӯйдодро Рёмер шарҳи зайл дод:

«Агар ман дар он сӯйи мадори Замин буда метавонистам, Ио ҳар дафъа пас аз ҳамон муддати муъайян (42 ст 28 дақ) пайдо мешуд, яъне мушоҳидаи онҷойӣ Иоро 22 дақ пештар меидид. Сабаби таъхир дар ин маврид он аст, ки нури Ио муддати баробар ба 22 дақ-ро барои аз ҷойи мушоҳидаи аввалаи ман то мавқеи ҳозираам расидан сарф мекунад».

Муддати таъхири пайдоиши U_0 ва масофаеро, ки сабабгори ин таъхир аст, доништа, аз рӯйи ҳосили тақсими ин масофа (кутри мадори Замин) бар муддати таъхир суръати омади



нурро ёфтан мумкин аст. Ин суръат фавқулода зиёд – тақрибан 300 000 км/с будааст¹.

Ҳамин аст, ки муддати дар байни ду нуктаи аз якдигар дури рӯйи замин паҳн шудани рӯшноиро дарк кардан осон нест, зеро рӯшноӣ дар як сония масофаи ҳафтунимчандаи дарозии хатти истиқво (экватор)-и Заминро мепаймояд.

Усулҳои лаборатории чен кардани суръати нур. Суръати нур (рӯшноӣ)-ро бо усули лабораторӣ бори аввал с.1849 физикдони фаронсавӣ И.Физо чен кард. Физо тораи нурро аз манбаъ ба воситаи линза (олати наскшакл, наскӣ) ба лавҳаи нимшаффофи 1 равона сохт (рас.93). Баъд ӯ рӯшноии аз лавҳа инъикосшударо дар шакли дастаи конунӣшуда, яъне дар шакли тораи нур ба канори чархи дандонадори гардон равона кард. Тораи нур аз фосилаи байни дандонаҳои чарх гузашта, ба воситаи ду линзаи дигар сӯйи ойинаи 2 мерафт (ки он аз чарх чанд км дур воқеъ гардида буд) ва аз он инъикос шуда, боз сӯйи чарх меомад ва бори дигар аз байни дандонаҳои он гузашта, баъд ба чашми мушоҳид мерасид. Ҳангоми паст будани суръати гардиши чарх тораи аз ойина инъикосшуда дар чашми мушоҳид намоён мешуд. Дар сурати афзудани суръати гардиши чарх рӯшноӣ оҳиста-оҳиста ғоиб мегашт. Сабаби ин дар чӣ буд? То лаҳзаи аз байни ду дандона (чок)-и чарх то ба ойина рафтани аз он акс шуда, бозгаштани тораи нур чарх он кадр тоб хӯрда метавонист, ки ҷойи чокро дандона мегирифт ва рӯшноӣ ба чашми мушоҳид наменамуд.

¹Худи Рёмер ба иллати носаҳеҳ будани таҷрибаҳоиаш ва надонистани қимати дақиқи кутри мадори Замин барои суръати рӯшноӣ қимати 215000 км/с ҳосил кардааст.

дангоми минбаъд зиёд кардани суръати гардиши чарх рӯшноӣ боз пайдо мегашт. Яқин буд, ки то лахзаи ба ойна расидану аз он баргаштани рӯшноӣ ҷойи як чокро чоки дигар мегирифт. Ин фосилаи вақт ва масофаи байни чарху ойинаро (ки 8,6 км буд) доништа, суръати нурро муъайян кардан осон буд. Дар ин таҷриба барои суръати рӯшноӣ қимати 313 000 км ҳосил шуд.

Баъдҳо усулҳои лаборатории дақиқтари чен кардани суръати нур кашф шуд. Аз ҷумла, олими амрикоӣ А. Майкелсон усули хубе пешниҳод кард, ки дар он ба ҷойи чархи дандонадор ойинаҳои гардон истифода мешуд.

Суръати дар моддаҳои шаффофи гуногун паҳн гаштани нур низ чен карда шудааст. Ин суръат дар об, ки ҳанӯз с. 1856 чен карда шудааст, назар ба суръати вакуумии нур $4/3$ бор кам баромад. Суръати нур дар ҳама моддаҳои дигар низ назар ба вакуум (хало) кам аст.

Мувофиқи маълумоти имрӯза суръати нур дар хало (вакуум) $299\,792\,458,2 \pm 1,2$ м/с мебошад¹. Аз ин рӯ ин суръатро тақрибан баробари 300 000 000 м/с гирифтани ҷоиш аст. Ин қиматро дар хотир нигоҳ доштан мебоянд.



Муъайян кардани суръати нур бисёр судманд омад. Ин қимат дар роҳи дарк карда тавонистани табиъати рӯшноӣ меъёри раҳнамое буд. Рақами мазкур хусусан аз он рӯ муҳим аст, ки ягон ҷисми дигари олами моддӣ бо суръати назар ба суръати нур баландтар ҳаракат карда наметавонад. Ин ҳақиқат баъди ба арсаи вучуд омадани назарияи нисбият дарк гардид.

Боби оянда ба муойинаи ҳамин назария бахшида мешавад.



Қимати тақрибии суръати вакуумии рӯшноӣ (суръати нур) чӣ қадр аст?

¹Моҳи окт. 1983 Конфронси байнамиллалӣ метрологҳо таърифи зайли метрро пазируфт: «1м масофаест, ки опро нури лазерӣ дар хало (вакуум) дар муддати $1/299\,792\,458$ ҳиссаи сония мепаймояд» (ниг. китоби С. Қодирӣ «Луғати русӣ-тоҷикӣ истилоҳоти физика», «Маориф», 1985 ва мачаллаи «Квант», 1986, №2, с.28 – С. Қ.). Аз ин таъриф бармеояд, ки акнун қимати саҳеҳи суръати нур $c = 299\,792\,458$ м/с пазируфта шудааст.

§41. Қоидаи (буилолии) Хйуйгенс. Қонуни инъикоси рӯшноӣ

Қонунҳои инъикос ва шикасти рӯшноиро аз як қоидаи умумие баровардан мумкин аст, ки он рафтори мавҷҳоро таъхис медиҳад. Ин қоидаро ҳамзамони Нйутон Кристиан Хйуйгенс пеш ниҳодааст.

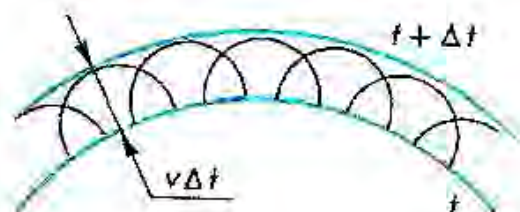
Қоидаи буилолии Хйуйгенс: ҳар як нуқтае (нуқтаи муҳит), ки то он мавҷ мерасад, худ манбаи мавҷ (манбаи мавҷҳои сонавӣ, манбаи мавҷҳои дуҷумӣ) мегардад. Аз рӯи мавҷеи дар лаҳзаи t ишғолкардаи сатҳи мавҷӣ мавҷеи онро барои лаҳзаи ояндаи $t + \Delta t$ дар сурате ёфтани осон аст, ки ҳар як нуқтаи сатҳи мавҷӣ чун манбаи мавҷҳои сонавӣ пиндошта шавад. Сатҳе, ки дар ин ё он лаҳзаи вақт ба ҳама мавҷҳои сонавӣ расанда мебошад, сатҳи мавҷӣ аст мутобиқ ба ҳамон лаҳзаи вақт (рас.94). Ин қоида барои тавсифи густариши ҳар гуна мавҷ – мавҷҳои садо, мавҷҳои механикӣ, мавҷҳои рӯшноӣ ва ғ. қобили истифода мебошад.

Қоидаи Хйуйгенс барои мавҷҳои механикӣ таъбири аёнӣ дорад: зарраҳое дар муҳит, ки ларзиш (мавҷ) то ба онҳо мерасад, дар навбати худ ларзиш хӯрда, бо зарраҳои ҳамсоя таъсири мутақобил карда, онҳоро ба ҳаракат медароранд.

Қонуни инъикос. Дар заминаи қоидаи Хйуйгенс қонуни аз сатҳи сарҳадии ду муҳит инъикоси гаштани мавҷро муқаррар кардан имконпазир аст.

Биёед инъикоси шудани мавҷи ҳамворро муойина кунем. Мавҷеро мавҷи ҳамвор мегӯянд, ки барои он сатҳҳои ҳамфаз (сатҳҳои мавҷӣ) ҳамворанд. Дар рас. 95 MN сатҳи инъикоскунанда асту хатҳои рости A_1A ва B_1B – шуоъҳои мавҷи ҳамвори ба сатҳи MN зананда.

Кунҷи байни шуоъи афтон ва хатти амуд (перпендикуляр)-и дар нуқтаи афтиш ба сатҳи инъикоскунанда кишидашуда α -ро кунҷи афтиш меноманд.



Рас.94.

Барои ёфтани сатҳи мавҷии мавҷи инъикосшуда рӯрӯи мавҷҳои сонавӣ (ки марказҳои онҳо дар сарҳадди муҳитҳо мебошанд) хатти фарогир (хатти ҳовӣ) кашидан мебошад.

Қитъаҳои гуногуни сатҳи мавҷии AC ба сарҳадди инъикоскунанда на дар як вақт мерасанд. Пас, мавҷҳо дар

нуқтаи A назар ба нуқтаи B ба қадри $\Delta t = \frac{CB}{u}$ (u – суръати мавҷ) пештар анҷоми мешаванд.

Дар лаҳзае, ки мавҷ ба нуқтаи B мерасад ва дар ин нуқта анҷоми мавҷҳо сар мешавад, мавҷи сонавии дар нуқтаи A пайдошуда аллакай нимкурае мекашад бо радиус (тоҷикиаш: *шӯъ*)-и

$$r = AD = u \cdot \Delta t = CB$$

Тағйироти радиусҳои мавҷҳои сонавии зодаи манбаъҳои байни нуқтаҳои A ва B дар рас.95 тасвир ёфтааст. Хатти фарогيري мавҷҳои сонавӣ ҳамвории DB аст, ки расандаи сатҳҳои кӯравӣ мебошад. Ин фарогир сатҳи мавҷии мавҷи инъикосгаштаро ифода мекунад. Шӯъҳои инъикосгаштаи AA_2 ва BB_2 нисбат ба сатҳи мавҷии DB мавқеи амудӣ доранд. Кунҷи байни хатти амудӣ ба сатҳи инъикоскунанда кашидашуда ва шӯъи инъикосгашта γ -ро кунҷи инъикос меноманд.

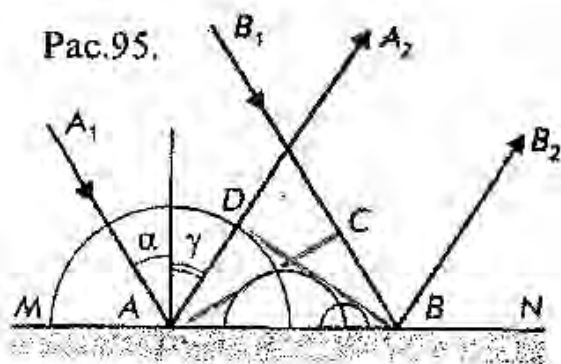
Азбаски $AD=CB$ асту ADB ва ACB секунҷаҳои росткунҷаанд, пас, $\angle DBA = \angle CAB$ мебошад. Аммо $\alpha = \angle CAB$ ва $\gamma = \angle DBA$ мебошанд (чун кунҷҳои дӯрои тарафи амудӣ).

Пас, кунҷи инъикос ба кунҷи афтиш баробар аст:

$$\alpha = \gamma. \quad (5.1)$$

Ғайр аз ин, чунон ки аз тасвирҳои сохтаи Хйуйгенс бармеояд, *шӯъи афтишда, шӯъи инъикосгашта ва хатти амуде, ки ба нуқтаи афтиши шӯъ кашида шудааст, дар як ҳамворӣ мебошанд.* Ва ҳамин аст қонуни инъикоси рӯшноӣ.

Агар самти рафти шӯъҳоро чаппа гардонем, он гоҳ шӯъи



Рас.95.



Кристиан Хйуйгенс (1629–95) – физикдон ва риёзидони барҷастаи ҳуландӣ, эҷодкунандаи нахустин назарияи мавҷии рӯшноӣ. Ӯ бунёди назарияи худро дар китоби «Рисолаи рӯшноӣ» (с.1690) баён кардааст. Хйуйгенс барои мурағатгардондани гашти соҳат ованг ё худ раққосакро ба кор бурд, барои ёфтани даври ҷунбиши овангҳои физикӣ ва риёзӣ формулаи муносиб эҷод кард. Ҷӯишҳои ӯ дар риёзиёт ба буришҳои маҳрутӣ (конусӣ), сиклоидҳо ва хатҳои қачи навъи дигар дахл дошт. Яке аз асарҳои нахустин дар назарияи эҳтимолот маҳсули қалами Хйуйгенс аст. Ӯ бо ёрии лӯлаи нучумии такмилдодаи худ Титан ном радифи Зуҳапро кашф кардааст.

инъикосгашта шуоъи афтанда мешаваду шуоъи афтанда ба шуоъи инъикосшуда табдил меёбад. Баргаштпазир будани шуоъҳо хосияти муҳими онҳост.

Қоидаҳои тасвирсозӣ дар ойинаи ҳамвор, ки бар қонуни инъикоси шуоъҳо бунёд ёфтааст, дар китоби «Физика, 8» баён шудааст.



Қоидаи умумии густариши мавҷҳои гуногунтабиъат, ки мо муойина кардем, қоидаи бунлодии Хйуйгенс мебошад. Ин қоида имкон медиҳад, ки сатҳи мавҷӣ барои ин ё он лаҳзаи вақт аз рӯйи сатҳи мавҷии мутобиқ ба лаҳзаи пешинаи вақт ба воситаи сохтмони содаи геометрӣ (сохтмони хандасӣ) ёфта шавад. Қонуни инъикоси мавҷҳои рӯшноӣ аз ҳамин қоида баромадааст.



1. Тасвири маибаъи нуқтагиро дар ойинаи ҳамвор дар асоси қонуни инъикос чӣ тавр сохтан мумкин аст?
2. Сабаб ҷист, ки ойинаи ҳамворро ба сифати экрани кино истифода кардан номумкин аст?

§12. Қонуни шикасти рӯшноӣ (нур)

Биёед ба ёд биёрем, ки падидаи шикасти рӯшноӣ (нур) чӣ маънӣ дошт. Қонуни шикасти рӯшноиро дар заминаи қоидаи бунлодии Хйуйгенс ҳосил мекунем.

Мушоҳидаи шикасти рӯшноӣ (нур). Нур дар сарҳадди ду муҳит самти рафти худро тағйир медиҳад. Қисми энергияи он

ба мухити якум бармегардад, яъне дар ин маврид инъикоси рӯшноӣ рӯй медиҳад. Агар мухити дуюм шаффоф бошад қисми дастаи ба сарҳадди мухитҳо афтидаи рӯшноӣ аз сарҳад гузашта метавонад ва он ҳам дар ин сурат самти худро тағйир медиҳад. Ин рӯйдод *шикасти рӯшноӣ (шикасти нур)* ном гирифтааст.

Шикасти рӯшноӣ боиси тағйир ёфтани зоҳири андозаҳо, шакл ва мавқеъи ашё мегардад. Ин аз мушоҳидаҳои одӣ бармеояд. Дар таҳи истакони холӣ як танга ё ягон чизи дигар бигзоред. Истаконро чунон ҷой диҳед, ки миёнаҷойи танга, лаби истакон ва чашми шумо дар як хатти рост воқеъ шаванд. Сипас мавқеъи чашмро тағйир нодода, дар истакон об резед. Он гоҳ мебинед, ки ҳангоми баланд шудани сатҳи об таҳи истакон ва танга гӯё боло мебароянд. Танга, ки аввал танҳо қисман менамуд, акнун пурра намудор мегардад.

Дар худӣ ҳамин истакони обдор қаламро моил мегузорем. Агар ба ин зарф аз паҳлӯ нигарем, мебинем, ки қисми дар об гӯтидаи қалам сӯйе гечида менамояд. Шарҳи ин падидаҳо он аст, ки шуоъҳои рӯшноӣ дар сарҳадди ду мухит мешикананд.

Қонуни шикасти нур мавқеъи нисбии шуоъи афтон AB (рас.96), шуоъи шикаста DB ва хатти амуди CE -ро, ки ба сатҳи ҷудои мухитҳо то нуқтаи афтиш кашида шудааст, муъайян мекунад. Кунҷи α – кунҷи афтиш ном дораду, кунҷи β – кунҷи шикаст.

Шуоъҳои афтида, инъикосшуда ва шикастаро мушоҳида кардан дар сурате осон аст, ки дастаи борики рӯшноӣ дар назар намоён бошад. Рафти ин гуна даста дар ҳаво он гоҳ ба хубӣ намоён мешавад, ки ҳаворо қадре дудолуд кунем ё он дастаро сӯйи экран таҳти кунҷе равона созем. Чунончи, шуоъи шикаста дар оби флуорессеиндор бараъло менамояд (рас.97).

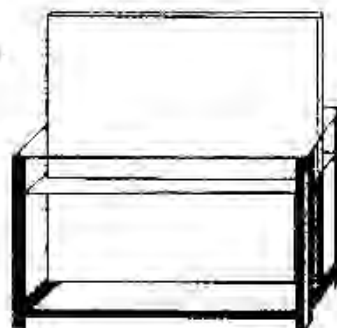
Бароварди қонуни шикаст. Қонуни шикаст ба роҳи таҷриба ханӯз а.ХVII муқаррар шудааст. Мо онро дар заминаи коиди бунлодии Хйуйгенс ҳосил мекунем.

Шикасти шуоъҳои рӯшноӣ дар мавриди аз як мухит ба мухити дигар гузаштани он бо ин алоқамандӣ дорад, ки суръати рафти рӯшноӣ дар ҳар мухит ҳар хел аст. Суръати рафти рӯшноиро барои мухити якум бо u_1 ишорат мекунему барои мухити дуюм – бо u_2 .

Рас.96.



Рас.97.



Бигзор, ба сарҳадди ду мухит, масалан, аз ҳаво ба об мавҷи ҳамвори рӯшноӣ бизанад. Сатҳи мавҷии AC нисбат ба шуоъҳои A_1A ва B_1B мавҷеъи амудӣ дорад. Ба сатҳи MN аввал шуоъи A_1A мерасад. Шуоъи B_1B ба сатҳи MN пас аз муддати

$$\Delta t = \frac{CB}{u_1}$$

меояд. Бино бар ин дар лаҳзаи дар нуктаи B сар шудани ангехти мавҷи сонавӣ (мавҷи дуҷум) мавҷи нуктаи A аллақай шакли курае мегирад бо радиуси

$$AD = u_2 \Delta t$$

Барои ёфтани сатҳи мавҷии мавҷи шикаста сатҳе мекашем, ки ба ҳама мавҷҳои сонавӣ дар муҳити дуҷум расида ояд (ва фаромӯш накунем, ки марказҳои мавҷҳои сонавӣ дар сарҳадди муҳитҳо воқеъанд). Дар ин маврид сатҳи мазкур BD аст. Ин сатҳ сатҳи фарогир (сатҳи ҳовӣ)-и мавҷҳои сонавӣ мебошад.

Кунҷи афтиши шуоъ α ба кунҷи CAB -и секунҷаи ABC баробар аст (тарафҳои якеи ин кунҷҳо ба тарафҳои кунҷи дигар амудианд). Пас,

$$CB = u_1 \Delta t = AB \sin \alpha \quad (5.2)$$

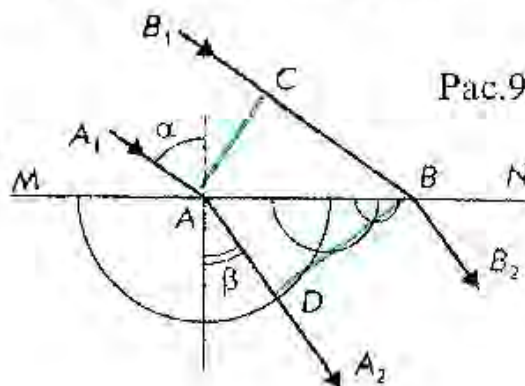
Кунҷи шикаст β ба кунҷи ABD -и секунҷаи ABD баробар аст. Бино бар ин

$$AD = u_2 \Delta t = AB \sin \beta \quad (5.3)$$

Ифодаи (5.2)-ро узв ба узв ба (5.3) тақсим мекунем. Он гоҳ

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{u_1}{u_2} = n \quad (5.4)$$

Рас.98.



мешавад, ки ин ҷо n бузургии собит (дойимӣ) аст ва ба кунҷи афтиш бастагӣ надорад.

Аз сохтмони рас.98 аён аст, ки *шуоъи афтида, шуоъи шикаста ва хатти амуди то нуқтаи афтиш кашидашуда дар ҳамон як ҳамворӣ меҳобанд.*

Ин нуқта ҳамроҳи муъодилаи (5.4), ки мувофиқи *он нисбати синуси кунҷи афтиш бар синуси кунҷи шикаст барои ду муҳит бузургии собит (дойимӣ) мебошад*, қонуни шикасти рӯшноиро ифода мекунад.

Дурустии қонуни шикастро дар таҷриба санҷидан мушқил нест. Барои ин кунҷҳои афтиш ва шикастро чен кардан ва нисбати синусҳои онҳоро барои қиматҳои гуногуни кунҷҳои афтиш ёфтани кофист. Ин нисбат қимати дойимӣ дорад.

Қобилияти шуоъшиканӣ (аслаш: *таволи шуоъшиканандагӣ, қобилияти шуоъшиканандагӣ*). Бузургии собите, ки дар ифодаи қонуни шикасти рӯшноӣ омадааст, маънии *қобилияти шуоъшикании нисбӣ* ё худ қобилияти шуоъшикании муҳити дуҷум бар муҳити яқум дорад.

Аз қоидаи Хйуйгенс на танҳо қонуни шикаст бармеояд, балки бо ёрии он маънии физикии қобилияти шуоъшикании нисбиро низ шарҳ додан мумкин аст. Ин бузургӣ ба нисбати суръатҳои рӯшноӣ дар муҳитҳое баробар мебошад, ки рӯшноӣ дар сарҳадди онҳо мешиканад:

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad (5.5)$$

Зимнан, агар кунҷи шикаст β назар ба кунҷи афтиш α хурд бошад, мувофиқи (5.4) суръати рӯшноӣ дар муҳити дуҷум назар ба муҳити яқум кам хоҳад буд.

Қобилияти шуоъшикании муҳит нисбат ба хало (вакуум) *қобилияти шуоъшикании мутлақи (ҳамин) муҳит* ном гирифтааст. Ин бузургӣ дар мавриди аз хало ба муҳит задани рӯшноӣ ба нисбати синуси кунҷи афтиш бар синуси кунҷи шикаст баробар мебошад.

Бо ёрии формулаи (5.5) қобилияти шуоъшикании нисбиро ба воситаи қобилияти шуоъшикании мутлақи муҳити яқум n_1 ва муҳити дуҷум n_2 ифода кардан осон аст. Дар ҳақиқат, азбаски

$$n_1 = \frac{c}{u_1} \text{ ва } n_2 = \frac{c}{u_2}$$

мебошанд (c - суръати вакуумии рӯшноӣ), пас, рӯшан аст, ки таносуби зайл ҷой дорад:

$$n = \frac{u_1}{u_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.6)$$

Мухити қобилияти мутлақи шуоъшиканиаш хурдтар муҳити оптикан тунуктар ном дорад.

Қобилияти мутлақи шуоъшикани муҳит ба суръати дар ҳамин муҳит густариш ёфтани рӯшноӣ вобастагӣ дорад ва суръати ин густариш, дар навбати худ, ба ҳолати физикии муҳит, яъне ба ҳарорати модда, зичии он, шиддатҳои ҷандир ва ғ. вобаста мебошад. Қобилияти шуоъшикани ба мушаххасоти ҳуди рӯшноӣ низ вобаста аст. Вай барои нури сурх назар ба сабз ва барои нури сабз назар ба бунафш камтар аст.

Бино бар ин дар ҷадвали қиматҳои қобилияти шуоъшикани моддаҳои гуногун одатан ранги нури рӯшноӣ ва ҳолати муҳит нишон дода мешавад. Агар ҷадвал ин гуна нишондод надошта бошад, ин он гуна маънӣ дорад, ки ба омилҳои номбурда вобаста будани қобилияти шуоъшиканиро ба назар нагирифтани мумкин аст.

Аксаран моро лозим меояд, ки на аз сарҳадди хало (вакуум) –муҳит, балки аз сарҳадди ҳаво–ҷисми сахт ё ҳаво–моеъ гузаштани рӯшноиро муойина кунем. Аммо қобилияти мутлақи шуоъшикани моддаи сахт ё моеъ n_2 аз қобилияти шуоъшикани ҳамин модда нисбат ба ҳаво кам фарқ мекунад. Чунончи, қобилияти мутлақи шуоъшикани ҳаво n_1 дар шароити муътадил барои нури зард тақрибан 1,000292 аст. Пас,

$$n = \frac{n_2}{n_1} \approx n_2 \quad (5.7)$$

Қиматҳои қобилияти шуоъшикани баъзе моддаҳо нисбат ба ҳаво дар ҷадв. 2 (барои нури зард) оварда шудааст.

Рафти шуоъҳо дар манишури секунҷа. Қо-нуни шикасти рӯш-

ной имкон медиҳад, ки рафти шуоъҳо дар олатҳои гуногуни оптикӣ, чунончи, дар маншур (призма)-и шишагии секунҷа баҳодод карда шавад.

Дар рас.99 як маншури шишагин дар бӯрише тасвир шудааст, ки он нисбат ба тегаҳои паҳлуи маншур мавқеи амудӣ (перпендикулярон) дорад. Шуоъ дар рӯяҳои OA ва OB сӯйи асоси маншур мешиканад. Кунҷи байни ин рӯяҳо φ кунҷи шуоъшикании маншур ном

гирифтааст. Кунҷи майли шуоъ θ ба кунҷи шуоъшикании маншур φ қобилияти шуоъшикании моддаи маншур n ва кунҷи афтиши шуоъ α бастагӣ дорад. Онро ба васлаи қонуни шикасти рӯшноӣ (5.4) ёфтан мумкин аст.

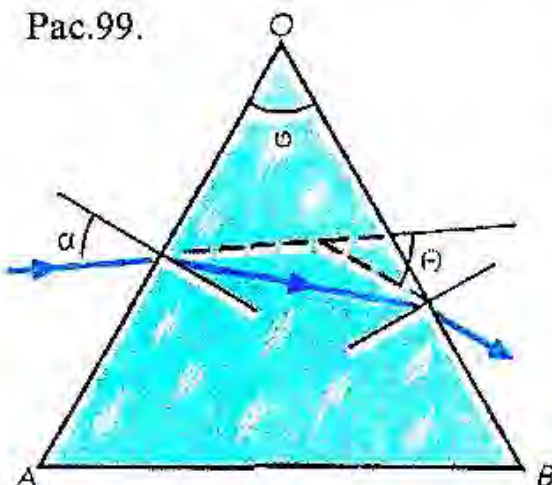
Ҷадв. 2

Модда	n (нисбат ба ҳаво)
Об (дар 20°C)	1,33
Равғани чалғӯза (дар 20°C)	1,52
Сулфиди карбон (дар 20°C)	1,63
Ях	1,31
Намаксанг	1,54
Кварс	1,54
Лаъл	1,76
Алмос	2,42
Шишаҳои гуногун	1,47÷2,04

* * * * *

Қонуни шикастро хотирнишон мекунем. Ин қонун чӣ аҳамият дорад? Формулаи (5.4) дар таҳлили мавридҳои сершумори шикасти шуоъҳо қор меояд. Вай моро аз зарурате озод мегардонад, ки дар ҳар мавриди алоҳида барои ҳар як қимати кунҷи афтиши шуоъ ва қимати ба он мутобиқи кунҷи шикаст таҷриба карда, натиҷа бардорем ва онро дар ёд бигирем ё дар ҷадвалҳо сабт гардонем.

Рас.99.





1. Қобилияти шуъъшикании муҳит чӣ маънии физикиро ифода мекунад?
2. Қобилияти нисбии шуъъшиканӣ аз қобилияти мутлақи шуъъшиканӣ чӣ фарқ дорад?

§43. Инъикоси пурра

Қонуни шикасти рӯшноӣ имкон медиҳад, ки рӯйдоди бисе аҷиб ва амали муҳим – падидаи инъикоси пурраи рӯшноӣ ба хубӣ маънидор карда шавад.

Дар сурати аз ин ё он муҳити оптикан тунук, чунончи, аз ҳаво ба муҳити оптикан зичтар, масалан, ба шиша ё об гузаштани рӯшноӣ $u_1 > u_2$ мебошад ва он гоҳ мувофиқи қонуни шикасти (5.4) $n > 1$ хоҳад буд. Бино бар ин $\alpha > \beta$ мешавад (рас. 100): шуъъи шикаста сӯйи ҳатти амуди дар сарҳадди ҳарду муҳит кашидашуда майл мекунад. Агар шуъъро самти чаппа диҳем, яъне онро ба роҳи рафти шуъъи шикастаи собиқ аз муҳити оптикан зичтар ба муҳити оптикан тунуктар равона созем (рас.101) он гоҳ қонуни шикастро чинин навиштан мумкин аст:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{1}{n} \quad (5.8)$$

Шуъъи шикаста баъди аз муҳити оптикан зичтар баромадан бо роҳи рафти шуъъи афтидаи собиқ равона мешавад. Бино бар ин дар ин маврид $\alpha < \beta$ хоҳад буд, яъне шуъъи шикаста ба самте равона мегардад, ки он аз ҳатти амуд дуртар аст.

Ба қадри зиёд шудани кунҷи афтиш α кунҷи шикаст β низ меафзояд (вале ҳамеша $\alpha < \beta$ мемонад). Ва ниҳоят, барои қимати муъайяни кунҷи афтиш кунҷи шикаст ба 90° наздик мешавад ва он гоҳ шуъъи шикаста қариб рӯрӯйи сарҳадди ҷудоии ҳарду муҳит равона мегардад (рас.101, хати канда-канда). Ба зиёдтарин қимати имконпазири кунҷи шикаст $\beta = 90^\circ$ кунҷи афтиши α_0 мувофиқ меояд.

Биёед мулоҳиза қунем, ки дар сурати $\alpha < \alpha_0$ будан чӣ падида мушоҳида мешавад. Ҳангоми ба сарҳадди ҷудоии ду муҳит

он зоҳир мешаванду дар сурати бо моддаҳо таъсири мутақобил кардан (яъне ҳангоми афканда шудан ва фуру рафтани рӯшноӣ) – ҳосиятҳои заррагии он.

Ин ғайриодӣ ва таъачҷубангез аст. Бо вучуде ки мо инро ба таври аёнӣ тасаввур карда наметавонем, вале ин далел аст, далели қотеъ аст. Мо имкон надорем, ки рӯйдодҳои микрооламро ба таври аёнӣ ва мукамал тасаввур кунем, зеро онҳо аз рӯйдодҳои ҳоси макроолам, падидаҳои, ки инсон дар тӯли асрҳо мушоҳида кардааст (ва қонунҳои асосии онҳо дар охири а. XIX шакл гирифтаанд), ба кулӣ фарқ доранд.

Бо мурури замон ошкор гашт, ки электрон ва дигар зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) низ ҳосияти дугунагӣ доранд. Аз ҷумла электрон дар баробари ҳосиятҳои заррагии худ ҳосиятҳои мавҷӣ низ зоҳир мекунад. Чунончи, дастаи электронҳо интерференс ва дифраксия ба вучуд оварда метавонад.

Ин ҳосиятҳои ғайриодии микрозарраҳо ба воситаи назарияи ҳаракати ин навъ зарраҳо, ба воситаи *механикаи квантӣ* шарҳ дода мешавад. Рӯшан гашт, ки дар ин гуна мавридҳо механикаи Нютон қобили истифода нест. Аммо омӯзиши механикаи квантӣ аз доираи физикаи мактабӣ берун аст.

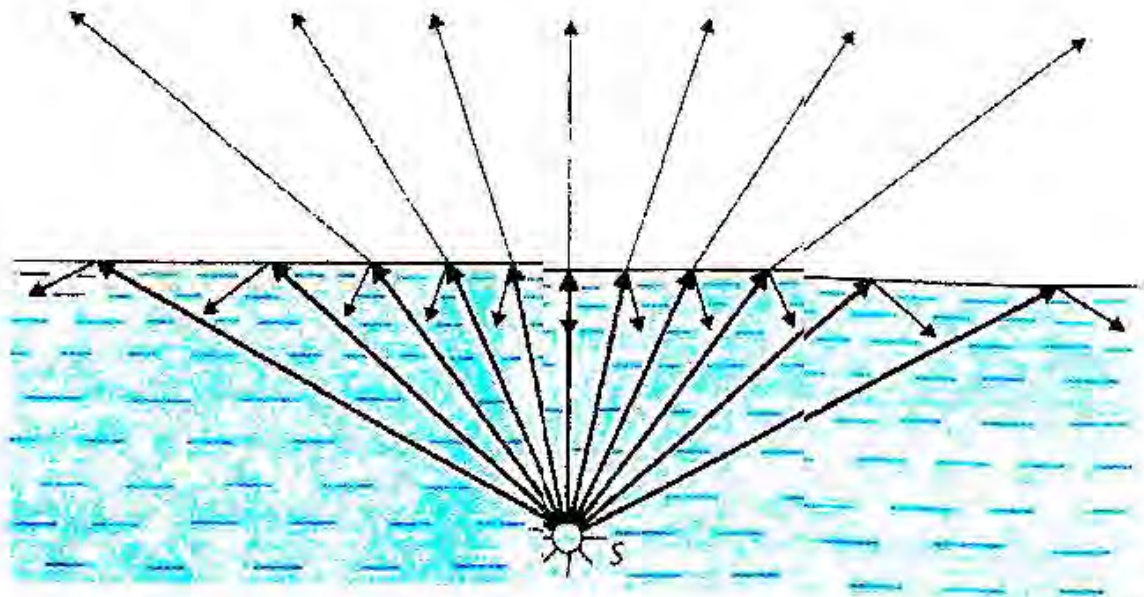
* * * * *

Фотон зарраи бунёдиест, ки аз массаи оромиш ва барқа (заряди электрикӣ) маҳрум мебошад, вале энергияву импульс дорад. Фотон кванти майдони электромагнитӣ ё, чӣ навъе ки мегӯянд, *пайки* майдони электромагнитӣ мебошад ва таъсири мутақобили байни зарраҳои барқамандро воқеъӣ мегардонад. Ҳисса-ҳисса ё квант-квант афканда ва фуру бурда шудани мавҷҳои электромагнитӣ зухуроти хусусиятҳои заррагии майдони электромагнитӣ мебошад.

Дугунагии «зарра–мавҷ» хусусияти умумии модда аст, ки дар дараҷаи микроскопӣ зоҳир мегардад.



1. *Аз рӯйи қимати маълуми басомади (ларзиши) мавҷи рӯшноӣ энергияи фотон ва массаю импульси онро чӣ тавр ёфтан мумкин аст?*
2. *Мафҳуми дугунагии зарра–мавҷ чӣ маъниро ифода мекунад?*



Рас. 104

дода, то мавқеъе расидан мумкин аст, ки кунчи афтиш α назар ба α_0 зиёд ($\alpha > \alpha_0$) шавад. Он гоҳ мебинем, ки дастаи шикаста гум мешавад ва тамоми рӯшноӣ аз сарҳадди ҷудой инъикос мегардад, яъне дар ин маврид инъикоси пурра рӯй медихад.

Дар рас. 104 дастаи шуоъҳои манбаъе тасвир шудааст, ки он дар даруни об дар наздикии сатҳ воқеъ аст. Шуоъҳои пурнур бо хатти гафс тасвир шудаанду шуоъҳои камнур – бо хатҳои борику бориктар.

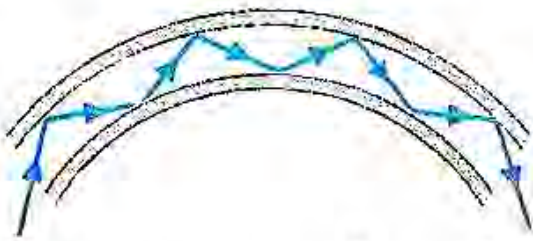
Кунчи афтиш α_0 -и мутобиқ ба кунчи шикасти 90° кунчи ҳудудии инъикоси пурра ном гирифтааст. Барои қимати $\sin \beta = 1$ формулаи (5.8) шакли зайл мегирад:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \quad (5.9)$$

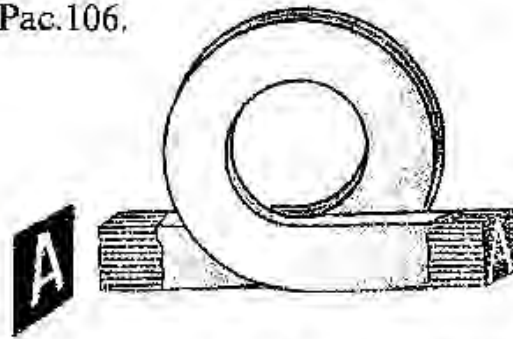
Қимати кунчи ҳудудии инъикоси пурра α_0 маҳз аз ҳамин баробарӣ ёфта мешавад. Ин кунҷ барои об ($n=1,33$) $48^\circ 35'$, барои шиша ($n=1,5$) $41^\circ 51'$..., барои алмос ($n=2,42$) $24^\circ 40'$ аст. (Дар ҳамаи ин мавридҳо ба сифати мухити дуюм ҳаво гирифта шудааст).

Инъикоси пурраи рӯшноӣро дар таҷрибаи содае мушоҳида кардан мумкин аст. Дар истакон об рехта, онро то ҷойе боло мебардорем, ки болотар аз ҷашми мо воқеъ шавад. Сатҳи об дар сурати ба он аз поён, аз бари истакон нигаристан дар натиҷаи инъикоси пурра нуқрагун метобад.

Рас.105.



Рас.106.



Инъикоси пурра барои ба воситаи найчаҳои борики нарми шаффоф – *шуоълӯла* нақл кардани рӯшноӣ ва тасвирҳо истифода мешавад. Шуоълӯла найчаи шишагини бисёр борики цилиндршаклест, ки бо моддаи шаффофе рӯйдавон, яъне пардапӯш карда шудааст ва қобилияти шуоъшикании парда назар ба ҳамини найча камтар мебошад. Шуоъро ба воситаи ин гуна шуоълӯла (дар натиҷаи инъикоси пурраи чандинкарата) бо ҳар гуна роҳи рост ё қач равона кардан мумкин аст (рас.105). Найчаҳо маъмулан дар шакли бандча истифода мешаванд. Ҳар як найча (нах)-и бандча яке аз чузъҳои тасвирро нақл мекунад (рас.106). Ин гуна бандчаҳо, масалан, дар тиб барои таҳқиқи узвҳои дарунӣ истифода мешаванд.

Такмили технологияи тайёр кардани бандчаҳои оптикӣ – шуоълӯлаҳо имкон фароҳам оварда истодааст, ки *алоқаи шуоълӯлагӣ*, аз ҷумла, алоқаи шуоълӯлагии телевизионӣ роҳандозӣ шавад.

Инъикоси пурраи рӯшноӣ далели он буда метавонад, ки қонуни шикаст барои маънидод кардани падидаҳои оптикӣ хангоми густариши рӯшноӣ мушоҳидашаванда чӣ дараҷа имконотро дар худ ниҳон дорад. Падидаи инъикоси пурра дар ибтидои кашф як падидаи аҷиби оптикӣ менамуду бас. Вале ҳоло ин падида дар ҷабҳаи нақли ахбор оҳиста-оҳиста як инқилоби замонавиро ба бор оварда истодааст.



1. Қунҷи ҳудудии инъикоси пурра барои сарҳадди алмос – ҳаво чӣ гуна қимат дорад?

2. Аз мушоҳидаи инъикоси пурраи рӯшноӣ мисолҳое биёред, ки берун аз матн монданд.

Намунаи ҳалли масъалаҳо

Биёед дар мавзӯи густариши ростхаттаи рӯшноӣ ва конунҳои инъикосу шикаст ҳалли чанд масъаларо бинем.

1. Бинои дар рас.107 тасвируда дар партави Офтоб сояе меафканад, ки он $L=36$ м дарозӣ дорад. Дар ҳамон шароит қуби дарознаш $h=2,5$ м сояи дарознаш $l=3$ м меафканад. Баландии иморатро ёбед.

Ҳал. Шуоъҳои Офтоб ба сатҳи уфуқии Замин таҳти кунҷи α мезананд. Аз расм аён аст, ки

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{L}{H} \quad \text{ва} \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{l}{h}$$

мебошад. Пас,

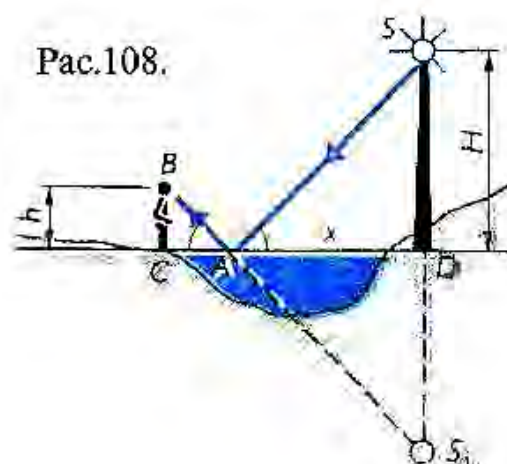
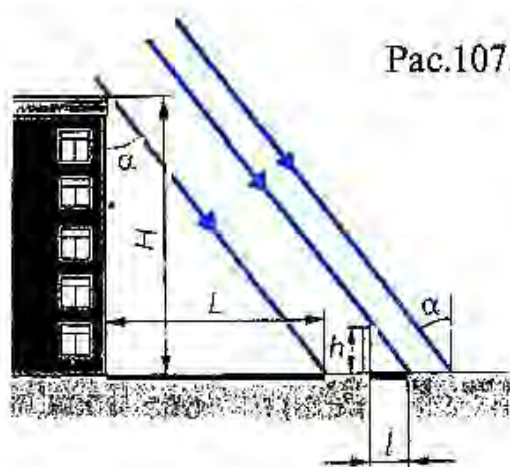
$$\frac{L}{H} = \frac{l}{h}$$

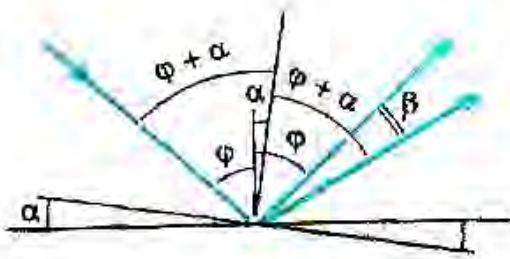
аст ва барои баландии бино ин гуна натиҷа ҳосил мешавад:

$$H = \frac{L}{l} \cdot h = 30 \text{ м.}$$

2. Дар канори ҳавз чарогнояе истодааст, ки дар нуқтаи фокуси тобон дорад. Мушоҳида аз канори дигари ҳавз тасвири фокусро дар об наззора мекунад. Шуоъҳои афкандаи фокус аз сатҳи об инъикос мешавад, ба чашми мушоҳид мерасанд. Бо усули сохтмони геометрии мавқеи нуқтаеро дар сатҳи об ёбед, ки шуоъ аз он инъикос мешавад ба чашми мушоҳид мерасад. Баландии чарогнояро бо H , қадди мушоҳидро бо h ва масофаи байни чарогнояву мушоҳидро бо l ишорат карда, масофаи нуқтаеро то чарогноя ёбед.

Ҳал. Аввал тасвири фокус S_1 -ро (дар об) месозем (рас.108). Барои ин аз нуқтаи S ба сатҳи об CD хатти амуд мекашем.





Рас.109.

Тасвири S_1 дар идомаи хатти амуд дар масофаи ҳамчени CD меҳобад, яъне $S_1D=SD$ аст. Шуоъи аз сатҳи об инъикосшуда тавре равона аст, ки идомаи он агар сӯйи муқобил давом дода шавад, аз нуқтаи S_1 мегузарад. Бино бар ин барои

ёфтани самти рафти шуоъи инъикосшуда аз нуқтаи S_1 то нуқтаи B (яъне то чашми мушоҳид) хатти рост мекашем – ин хат маҳз аз ҳамон нуқтае (дар сатҳи об) мегузарад, ки мо онро ҷӯеём.

Секунҷаҳои ADS ва ACB секунҷаҳои монанданд, зеро кунҷи тези якеаш ҳамчени ҳамон гуна кунҷи секунҷаи дигар аст. Пас,

$$\frac{DA}{AC} = \frac{SD}{BC}$$

ё ки

$$\frac{x}{l-x} = \frac{H}{h},$$

яъне нуқтаи матлуб аз ҷароғпоя ин қадр дурӣ дорад:

$$x = \frac{lH}{H+h}$$

3. Ойинаи ҳамворро дар гирди меҳваре, ки дар ҳамвории ойина меҳобад, ба кунҷи $\alpha=17^\circ$ гардиш медиҳем. Дар сурати дойимӣ (бетағйир) мондани самти шуоъи афтон шуоъи инъикосшаванда чӣ дараҷа гардиш меҳӯрад?

Ҳал. Бигзор, φ кунҷи ибтидоии афтиши шуоъ бошад (рас. 109). Мувофиқи қонуни инъикос кунҷи инъикос низ ба ҳамин φ баробар аст, яъне кунҷи байни шуоъи афтон ва шуоъи инъикосшуда 2φ мебошад. Ҳангоми ба кунҷи α гардиш додани ойина хатти амуди то нуқтаи афтиш кашидашуда низ ба ҳамин дараҷа гардиш меҳӯрад. Бино бар ин кунҷи умумии гардиш дар ин маврид $\varphi+\alpha$ хоҳад буд. Аз ин рӯ кунҷи байни шуоъи афтон ва шуоъи инъикосшуда ба $2(\varphi+\alpha)$ баробар меояд, яъне назар ба кунҷи аввала ба қадри 2α тағйир меёбад, яъне шуоъи инъикосшуда ба қадри $\beta = 2\alpha = 34^\circ$ гардиш меҳӯрад.

4. Шуоъи рӯшноӣ ҳангоми аз ҳаво ба об задан аз самти аввалии рафти худ

чӣ дараҷа майл меҳӯрад? (Кунҷи майлро бо θ ишорат мекунем). Кунҷи афтиширо $\alpha=75^\circ$ гуред.

Ҳал. Аз рас.110 аён аст, ки $\theta=\alpha-\beta$ мебошад. Мувофиқи қонуни шикаст

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

(n – қобилияти шуоъшикании об) аст. Пас,

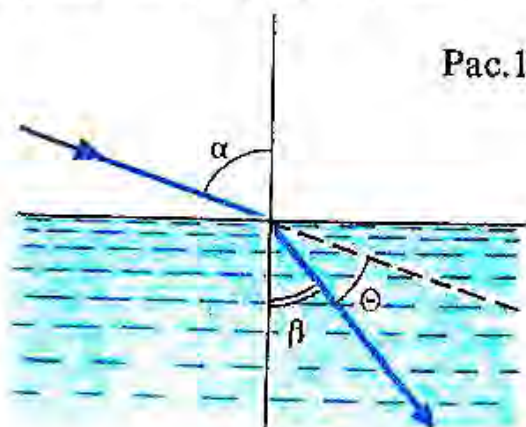
$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \approx 0,727$$

мебошад, ки ин ба қимати $\beta = 46^\circ 33'$ мувофиқ меояд. Модом ки чунин бошад, пас, кунҷи θ ин гуна қимат дорад:

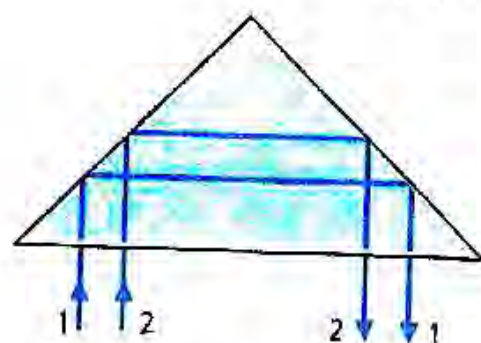
$$\theta \approx 75^\circ - 46^\circ 33' = 28^\circ 27'$$

5.Рафти шуоъҳои рӯшноиро дар манишур (призма)-и шишагини секунҷае нишон диҳед, ки асосии он секунҷаи росткунҷаи баробарпахлӯст. Шуоъҳои рӯшноӣ ба рӯйи васеъи манишур (амудан ба ҳамин рӯй) мезананд.

Ҳал. Шуоъҳо ҳангоми ба рӯйи васеъи манишур зада, аз сарҳадди ҳаво–шиша гузаштан самти худро тағйир намедиханд, зеро дар ин маврид кунҷи афтиш сифрӣ мебошад (рас.111). Ин шуоъҳо аз рӯйи оянда пурра инъикос мешаванд, зеро дар ин маврид кунҷи афтиш 45° , яъне назар ба кунҷи ҳудудии инъикоси пурра барои шиша ($\alpha_c = 41^\circ 51'$) зиёд аст. Сипас шуоъҳо ба рӯйи тарафи рост зада, боз пурра инъикос мегарданд ва аз он ҷо амудан сӯйи рӯйи васеъ равона мешаванд. Азбаски дар ин маврид низ кунҷи афтиш сифрӣ мебошад, шуоъҳо аз рӯйи васеъ бе тағйири самти худ берун меоянд. Ҳамин тариқ, дар ин маврид самти рафти дастаи шуоъҳо 180° тағйир меёбад. Ин



Рас.110.



Рас.111.

хусусияти самттағйирдиҳандагии маншури росткунча татбиқи бисёр дорад ва масалан, дар дурбинҳои маншури истифода мешавад.

6. Муъайянкунед, ки чуқурии аслии ҳавз назар ба чуқурии зоҳирии он (дар мавриди аз боло амудан сӯйи поён нигаристан) чанд бор фарқ мекунад.

Ҳал. Аввал рафти шуоъҳоеро тасвир месозем, ки аз нуқтаи S-и қаъри ҳавз берун омада, ба чашми мушоҳид мезананд (рас.112). Азбаски самти назар (мушоҳида) амудӣ аст, яке аз шуоъҳо – SA-ро амудан ба сатҳи об ва шуоъи дигар – SB-ро таҳти ягон кунҷи хурди α (нисбат ба хатти амуд) равона мекунем. (Дар сурати калон будани кунҷи α на ҳама шуоъҳо ба чашм мерасанд). Шуоъҳо баъди он ки дар сатҳи об мешикананд, ба шакли дастаи васеъшаванда хориҷ мегарданд. Нӯки ин даста тасвири мавҳуми S_1 -и нуқтаи S мебошад.

Кунҷи ASB ба кунҷи афтиш α баробар аст, зеро шуоъи SA ба хатти амуд мувозӣ (параллел) мебошад. Мисли ҳамин, кунҷи AS_1B ба кунҷи шикаст β баробар аст. Секунҷаҳои росткунҷаи ASB ва AS_1B як тарафи умумӣ доранд – AB. Онро ба воситаи чуқурии аслии ҳавз $SA=H$ ё ба воситаи чуқурии зоҳирии он $S_1A=h$ ифода кардан мумкин аст:

$$AB = H \operatorname{tg} \alpha = h \operatorname{tg} \beta$$

Аз ин ҷо:

$$\frac{H}{h} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$$

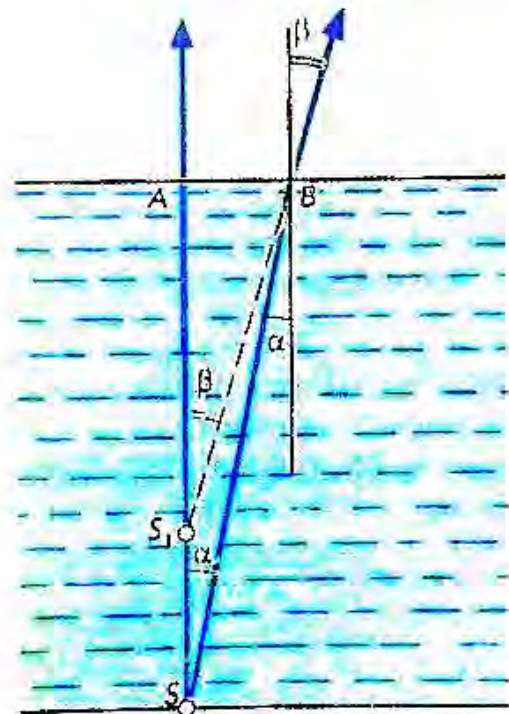
Азбаски кунҷҳои α ва β кунҷҳои хурданд, пас, чунин навиштан ҷоиш аст:

$$\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = n$$

ё худ

$$\frac{H}{h} = n,$$

яъне чуқурии зоҳирии ҳавз назар ба чуқурии аслии он тақрибан 1,3 бор кам будааст.



Рас.112.

Машқи 5

1. Дастаи рӯшноӣ ба куттиа аз сӯрохи девори паҳлу даромада, аз сӯрохи девори муқобили он мебарояд. Агар ҳавои даруни куттиа соф бошад ва шумо ба даруни куттиа аз сӯрохи девори пеш нигаред, дастаи рӯшноиро дида метавонед ё не?

2. «Хонае, ки Иван Иванович ба он ворид гашт, тамоман торик буд, зеро бодғона (табақаҳои тахтагӣ ё оҳанин барои маҳкам кардани тиреза ё ба гуфти Муҳаммадҷон Раҳимӣ – роға) маҳкам буд ва шуоъи Офтоб аз сӯрохи он гузашта, ранги тирӯкамрон мегирифт ва ба девори муқобил зада, дар он манзараи рангобаранги бомҳо, дарахтҳо ва либосҳои овозони рӯйи ҳавлиро ба вучуд меовард, вале онҳо ҳама вожгун менамуданд» (Н.В.Гогол, «Қиссае дар боби он ки Иван Иванович ва Иван Никифорович чӣ тавр муноқиша карданд»). Ин падидаро шарҳ диҳед.

3. Сабаб чист, ки дар партави фонуи сояи одам возеҳ меояду сояи сари ӯ – не?

4. Дар рас.113 речаи яке аз таҷрибаҳои муъайян кардани суръати нур (суръати рӯшноӣ) – таҷрибаи Майкелсон омадааст. Маншур (призма)-и ҳаштрӯяи ойинавино бо чӣ гуна басомад гардиш додан меояд, ки манбаъи нур дар лӯлаи дид намояд? Дарозии роҳи нурдастаро 71 км гиред.

5. Дастаи шуоъҳои мувозии фонуи аксандоз (фонуи проексионӣ) ба самти уфуқӣ раван аст. Ойнаи ҳамворро нисбат ба ҳамвории уфуқӣ тахти кадом кунҷ устувор кардан меояд, ки дастаи рӯшноӣ баъди аз он инъикос гаштан амудан боло равона шавад? Оё он гоҳ шуоъҳои он даста байни худ мувозӣ мемонанд?

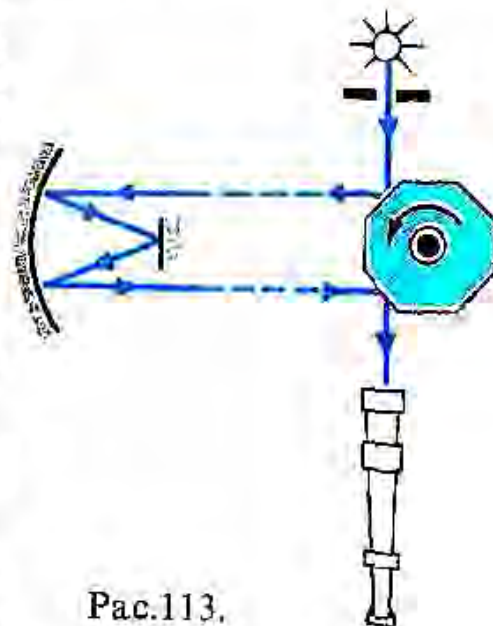
6. Ду ойнаи ҳамвор бо якдигар тахти кунҷи $\alpha=30^\circ$ расонда шудаанд. Дар байни онҳо дар як ҳел дурӣ аз сатҳи ҳарду ойна дар масофаи $l=10$ см аз ҳатти расиши ойнаҳо ҷисми хурде воқеъ аст. Тасвирҳои мавҳуми ин ҷисм дар ойнаҳо аз якдигар чӣ қадр дурӣ хоҳанд дошт?

7. Шуоъи афкандаи нуқтаманбаъи S дар нуқтаи A ба ойнаи ҳамвор мезанад ва баъди инъикос шудан аз нуқтаи B мегузарад (рас.114). Иҷбот кунед, ки агар шуоъи афкандаи ҳамон манбаъ аз нуқтаи D -и ойна инъикос ёфта, баъд аз нуқтаи B мегузашт, он гоҳ

- 1) қонуни инъикос риёба намешуд;
- 2) шуоъ барои паймудани роҳи SDB назар ба роҳи SAB вақти бештар сарф мекард.

8. Баландии ойнаи ҳамвори амудан овехташуда бояд чӣ қадар бошад, ки одами қадаш H дар он сартопи худро бубинад?

9. Қобилияти шуоъшикании обро дар нисбат ба алмос ва қобилияти шуоъшикании

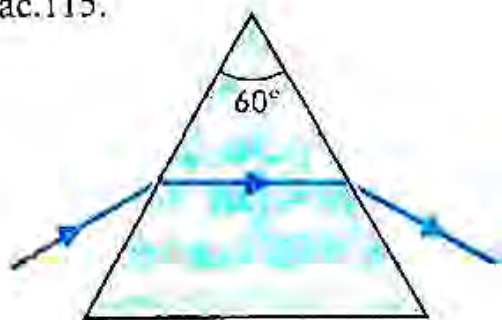


Рас.113.



Рас.114.

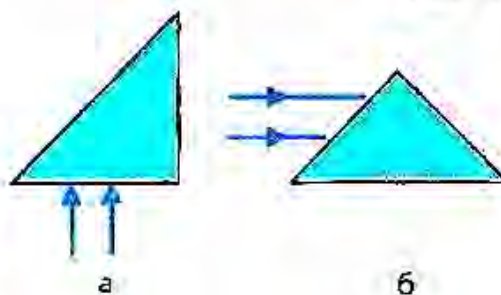
Рас.115.



Рас. 116.

карбони сулфуриро дар нисбат бо ях баҳодод кунед.

10. Кунчи ба сафҳачаи ҳамвори мувозирӯя (параллелрӯя) афтидани шуоъҳои мувозӣ $\alpha = 60^\circ$ ва масофаи байни шуоъҳои аз тариқи сафҳача гузаштаи рӯшноӣ $l = 0,7$ см аст. Масофаи байни нуқтаҳоеро ёбед, ки дар онҳо шуоъҳои мувозӣ аз сафҳача берун меоянд.



11. Ягон чизро ба воситаи маншур (призма)-и секунча муойина карда, мебинем, ки тасвир як сӯ кӯчида менамояд. Кадом сӯ мекӯчад он тасвир?

12. Шуоъи аз қабати ғафси об бароянда дар сатҳи он пурра инъикос мешавад. Агар дар рӯи об як қабат рағғани чалғӯза резем, он шуоъ боло (ба ҳаво) мебарояд ё не?

13. Бӯриши маншур шакли секунҷаи баробар тараф дорад. Шуоъи рӯшноӣ дар мавриди аз маншур гузаштан дар нуқтаҳое мешиканад, ки онҳо аз куллаи секунҷа як хел дуранд (рас.115). Зиедтарин қимати имконпазири қобилияти шуоъшикании моддаи маншур n чӣ қимат дорад?

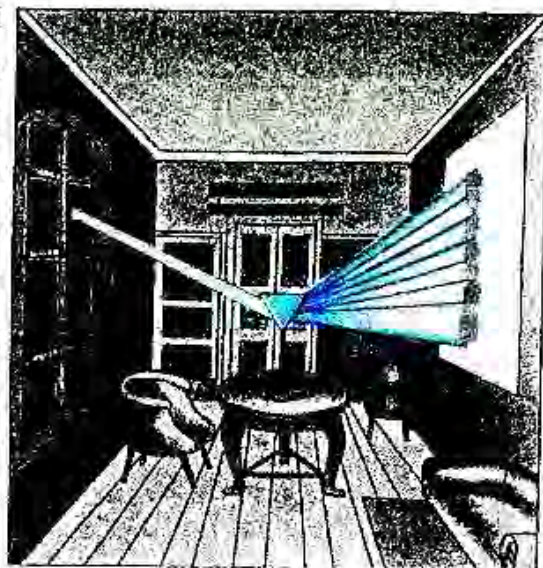
14. Рафти шуоъҳоро дар маншури шишагини секунҷае тасвир созед, ки асоси он секунҷаи росткунҷаи баробар паҳлӯст. Шуоъ ба маншур он тавр мезананд, ки дар рас.116 тасвир ёфтааст. Агар маншурро дар об ғӯтонем, магар рафти шуоъҳо тағйир меёбад?

§44. Дисперсия (парош)-и рӯшноӣ

Қобилияти шуоъшикании модда ба кунҷи афтиши дастаи рӯшноӣ бастагӣ надорад, аммо ба ранги рӯшноӣ вобаста мебошад¹. Ин кашфи Нютон аст.

¹Ҳамаи шумо дар бораи ранг камобеш тасаввурот доред. Ранг хосияти эҳсосоти муъайяни бинобавучудоварандагии чисмҳоест, ки худ рӯшноӣ меафкананд ё рӯшноии ба сатҳашон расидаро инъикос мекунанд. Ин ё он рангро одам аз рӯи эҳсосоти бинии худ «ба ашё мебахшад».

Нйутон дар мавриди такмили телескоп (дурбини нучумӣ) ошкор сохт, ки канорҳои объективи асбоб¹ ба рангҳои бисе гуногун метобанд. Ин падида майли Нйутонро ба пажӯҳиши табиати он рангҳо зиёд кард ва ӯ нахустин шуда «гуногунии шуоъҳои рӯшноӣ ва хусусиятҳои аз ин ҷо сарзанадаи рангҳо, ки онҳо то он дам қатто гумон намебуд, таҳқиқ кард» (аз навиштаҷоти рӯйи оромгоҳи Нйутон). Падидаи гуногу-



Рас.117.

нии рангҳои тасвири ҳосилкардаи линза пеш аз Нйутон низ мушоҳида шудааст, албатта. Пеш аз Нйутон инчунин ошкор гашта буд, ки канорҳои ҷисмҳои ба воситаи линза (наскӣ) мушоҳидашаванда ранга менамоянд. Канорҳои дастаи аз маншур (призма) гузаштаи рӯшноӣ низ рангоранг меоянд.

Таҷрибаи асосии Нйутон хеле сода буд. Ӯ фаҳмид, ки ба маншур дастаи бориқи рӯшноиро равона кардан мебоянд. Дар таҷрибаи ӯ дастаи рӯшноии Офтоб ба хонаи торик аз сӯрохи танги бодгонаи тиреза медаромад. Шуоъ ба маншури шишагин зада, мешикаст ва дар девори муқобил тасвири дарозрӯи рангоранг (ба тартиби рангҳои тирукамон) ба вучуд меовард.

Тасвири шаклии таҷрибаи Нйутон дар рас.117 омадааст. Аз рӯйи расму одати дерине, ки тирукамонро аз ҳафт ранг иборат медонистанд, Нйутон низ шуоъи аз маншур гузаштаро ба ҳафт ранг ҷудо кард: бунафш, нилобӣ, кабуд, сабз, зард, норинҷӣ ва сурх. Худи навори рангинкамонро Нйутон *спектр* (яъне *тайф*) номид.

Нйутон сӯрохи бодгоноро бо шишаи сурх пӯшида, дид ки дар девор танҳо доғи сурх пайдо мешаваду ҳангоми бо шишаи нилобӣ пӯшидан – танҳо доғи нилобӣ ва ғ. Аз ин ҷо Нйутон хулоса гирифт, ки сабабгори пайдоиши рангҳо на маншур аст,

¹Объектив – линзаи дутарафабарчаганаи наскшакл, линзаи дуқуҷ, ки онро бар қиёси вожаи «чинӣ» *наскӣ* ном додан мумкин аст. (С.Қ.).

чунонки то он дам мепиндоштан. Маншур рӯшноиро тағйир намедихад, балки онро ба чузъҳои таркибӣ чудо мекунад (ниг. варакаи ранга, расми 1).

Рӯшноии сафед мураккаб аст. Аз ин рӯшноӣ дастаҳои гуногунранг ҳосил кардан мумкин аст ва эҳсосоти ранги сафедро дар чашми мо танҳо таъсири якҷояи онҳо ба вучуд меоварад. Дар воқеъ агар бо ёрии маншури дигаре, ки нисбат ба маншури якум 180° гардонда шудааст, ҳама дастаҳои тайфро ҳамчун биёрем, мебинем, ки боз рӯшноии сафед ҳосил мешавад (ниг. варакаи ранга, рас. II). Вале агар мо ягон қисми тайф, чунончи, сабзашро чудо кунему қисми боқимондашро аз маншури дигар гузаронем, ранги он дигар тағйир намепазирад.

Хулосаи муҳими дигаре, ки Нютон аз таҷрибаи худ гирифт, дар «Оптика» ном рисолаи ӯ ба ин ранг омадааст: «Шуоъҳои гуногунранги рӯшноӣ аз рӯйи дараҷаи шикасташавандагии худ фарқ мекунанд» (барои онҳо шиша қобилияти шуоъшиканандагии гуногун дорад). Сахттар аз ҳама шуоъҳои бунафш мешикананду аз ҳама камтар – шуоъҳои сурх. Нютон вобастагии дараҷаи шикасти рӯшноиро ба ранги он *dispersion* номидааст¹, ки ин дар забони русӣ ба шакли *дисперсия* пазируфта шуда аст.

Қобилияти шуоъшиканӣ ба суръати рафти рӯшноӣ дар модда v вобаста мебошад (ниг. §42). Қобилияти мутлақи

шуоъшиканӣ $n = \frac{c}{v}$ аст. Шуоъи сурх аз он сабаб кам

мешиканад, ки нури сурх дар модда суръати зиёдтарин дорад; ва шуоъи бунафш аз он сабаб саҳт мешиканад, ки рӯшноии бунафш дар модда бо суръати камтарин паҳн мешавад. Маҳз ҳамин аст, ки маншур рӯшноии сафедро таҷзия (чузъ-чузъ) мекунад. Дар ҷойи холӣ (хало, вакуум) суръати шуоъҳои гуногунранг ҳамон як қимат дорад. Агар чунин намебуд, он гоҳ, масалан, ҳамон радифи Муштарӣ – Ио (он ки Рёмер мушоҳида карда буд – ниг. §40) дар лаҳзаи аз паси сайёра баромадан сурх метофт. Аммо воқеъият на чунин аст.

¹*dispersion* (аз калимаи латинии *dispersio* – мепароканам).

Баъдҳо вобастагии ранг ба мушаххасоти физикии мавҷи рӯшноӣ – ба басомади ларзиш ё дарозии мавҷ таҳқиқ шуд. Дар заминаи ин гуна тадқиқот дисперсияро таърифи амиқтар додан мумкин аст (назар ба он ки Нйутон додааст). *Дисперсия* гуфта вобастагии қобилияти шуоъшиканиро ба басомади ларзиш (ё ба дарозии мавҷ) мефаҳманд.

Мураккаб будани рӯшноии сафедро дар мадди назар оварда, гуногунии ҳайратангези рангҳои табиъатро шарҳ додан осон аст. Ин ё он чиз, масалан, вараки коғаз агар ҳама рангҳои ба рӯйи он занандаро инъикос кунад, сафед менамояд. Агар рӯйи ҳамон вараки коғазро як қабати тунуки ранги сурх давонем, мо бо ин кор рӯшноии соҳиби ранги нав ба вучуд намеорем, лекин як қисми рӯшноии аз сатҳи коғаз инъикосшавандаро нигоҳ дошта метавонем: дар ин таҷриба танҳо шуоъи сурх инъикос мешавад (шуоъҳои дигарро пардаи ранг фуру мебарад). Алаф ва барги дарахт дар назари мо аз он сабаб сабз метобанд, ки аз ҳама шуоъҳои ба рӯйи онҳо афтидаи Офтоб танҳо шуоъҳои сабзро инъикос мекунанд ва ҳама шуоъҳои дигарро фуру мебаранд. Агар ба алаф аз тариқи шишаи сурх, ки танҳо шуоъҳои сурхро мегузаронад, назар андозем, алаф қариб сиёҳ менамояд.



Падидаи дисперсия (ки кошифаш Нйутон мебошад) нахустин қадам буд дар роҳи дарки табиъати рангҳо. Ва моҳияти амики дисперсияро танҳо он гоҳ фаҳмидан муяссар гардид, ки вобастагии ранг ба басомад (ё дарозии мавҷ)-и рӯшноӣ дарк шуд.



1. Дар рӯйи коғаз баҳои «аъло» бо ранги сурх навишта шудаасту баҳои «хуб» – бо ранги сабз. Ва ду шиша дорем – яке сурху дигаре – сабз. Аз тариқи кадом ишша мебояд ба коғаз нигарист, ки танҳо баҳои «аъло» намояд?
2. Чаро танҳо дастаи би қадри кофӣ борики рӯшноӣ баъди аз машур (призма) гузаистан тайф (спектр) медиҳаду (яъне ба рангҳо ҷудо мешаваду) дар сурати истифода шудани дастаи висеъ танҳо қанорҳои даста ранга менамоянд?
3. Дисперсияи рӯшноӣ чист?

§ 45. Интерференс (тадоху, 1)-и мавҷҳои механики

Мо тарзҳои чен кардани суръати рӯшноиро муойина кардем ва фаҳмидем, ки рӯшноӣ дар ин ҷо он муҳит назар ба вакуум (хало) бо суръати пасттар гузарии меёбад. Ин дурустии қоидаи бунлодӣ (принсип)-и Хйуйгенсро, ки падидаҳои инъикос ва шикасти рӯшноиро ба хубӣ шарҳ додааст, тасдиқ мекунад.

Аммо барои исботи он ки рӯшноӣ ҳангоми гузарии ёфтани чун мавҷ рафтор мекунад, далелҳои қиудӣ, бурҳони қотей овардан зарур аст. Ҳар гуна ҳаракати мавҷиро падидаҳои интерференс (яъне тадохул) ва дифраксия (яъне пароиш) хос ҳастанд. Ба сифати далел дар таҷриба нишон додан мебоянд, ки падидаҳои мазкур хоси мавҷҳои рӯшноӣ низ ҳастанд.

Интерференс падидаи мураккабест. Барои хубтар дарк шудани моҳияти он биёед аввал интерференси мавҷҳои механикиро муойина бинем.

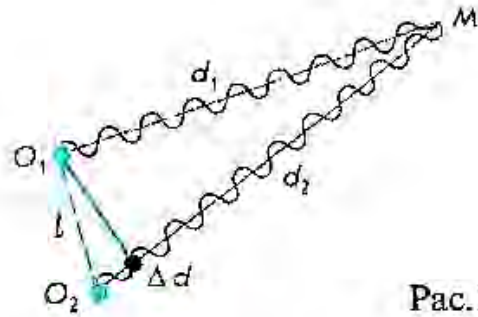
Замшуди мавҷҳо. Басе мешавад, ки дар як вақт дар муҳит чанд мавҷ паҳн мегардад. Чунончи, ҳангоми дар хона сӯхбат доштани чанд одам мавҷҳои садои онҳо рӯйи ҳам меоянд, садоҳо зам мешаванд. Дар ин ҳол чӣ падида рӯй дода метавонад?

Инро рӯшантар аз ҳама мушоҳидаи мавҷҳои сатҳи об нишон медиҳад. Агар ба рӯйи об якбора ду санг партофта, ду ҳалқамавҷ ба вучуд биёрем, мебинем, ки ҳар як мавҷ аз даруни мавҷи дигар мегузарад ва тавре рафтор мекунад, ки гӯё он мавҷи дигар тамоман вучуд надошта бошад. Айнан ҳамин тавр адади зиёди мавҷҳои садо низ дар як вақт дар ҳаво бе ҳалали якдигар паҳн гардида метавонанд. Овози чандин сарояндаи ҳамон як даста ва садои миқдори зиёди асбобҳои мусиқӣ дар ҳаво мавҷҳои гуногун ба вучуд меоваранд, аммо ҳамаи онҳо то ба гӯш бе ҳеч гуна тағйирот мерасанд ва гӯши солим онҳоро аз якдигар фарқ карда метавонад.

Акнун биёед амиқтар бинем, ки дар ҷойи ҷамъ омадани мавҷҳо чӣ мешавад. Мавҷҳоеро, ки дар натиҷаи ба сатҳи об партофтани ду санг пайдо мешаванд, мушоҳида карда, мебинем, ки баъзе қитъаҳои сатҳи об ором мемонанду дар баъзе



Рас.118.



Рас.119.

китъаҳои об ба изтироби сахт (ба галаён) меоянд. Агар дар ҳамон як ҷо тегаи як мавҷ ё худ нӯки як мавҷ бо нӯки мавҷи дигар дучор ояд, изтироби об сахт мешавад, вале агар нӯки як мавҷ бо хамаи мавҷи дигар ба ҳам оянд, об изтироб намекунад.

Ва умуман, дар ҳар як нуқтаи муҳит лапшиҳои зодаи ду мавҷ чамъ мешаванд. Ҷунбиши натиҷавии ҳар як зарраи муҳит (об) аз чамъи алҷабрӣ (алгебравӣ)-и ҷунбишҳои иборат хоҳад буд, ки онҳо ҳангоми паҳн гаштани танҳо як мавҷ (яъне дар набудани мавҷи дигар) рӯй меоданд.

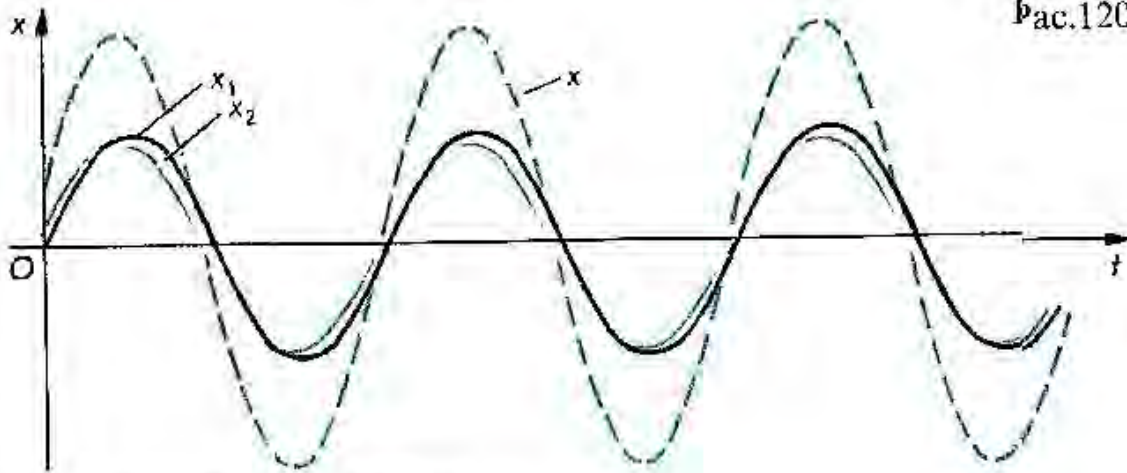
Интерференс. Падидаи дар фазо чамъ шудани ду (ё чанд) мавҷро, ки дар натиҷаи он тақсимоти (замонан) доимии домана ё худ амплитуди лапшиҳои натиҷавӣ ба вуҷуд меояд, *интерференс* (яъне *тадохул*) номидаанд¹.

Акнун бинем, ки интерференс дар чӣ гуна шароит ба вуҷуд меояд. Барои ин зам шудани мавҷҳои сатҳи обро муфассалтар муойина мекунем.

Тағорае мегирем пуроб. Барои дар рӯи оби он ҳосил кардани ду ҳалқамавҷ ду сакоро дар шохаҳои ҳамон як мила тавре маҳкам мекунем, ки дар рас.118 омадааст. Сипас миларо бо як низоми муъайян ҷунбиш медиҳем. Лапшиҳои ба вуҷуд овардаи ду мавҷ (аз манбаъҳои O_1 ва O_2 -и рас.119) дар ин ё он нуқтаи M зам шуда метавонанд. Домана (амплитуд)-и ҷунбишҳои, ки онҳоро дар нуқтаи M ҳарду манбаъ ба вуҷуд меоварад, умуман гуём, фарқдоранд, зеро роҳҳои паймудаи мавҷҳо d_1 ва d_2 гуногунанд. Вале агар масофаи байни манбаъҳо l назар ба d_1 ва d_2 хеле кӯтоҳ ($l \ll d_1$ ва $l \ll d_2$) бошад, ҳарду домана

¹*Интерференс (interference)* – истилоҳи латинитаборе, ки аз ҷузъҳои *inter* – мутақобилан, байни худ ва *ferio* – зарбат мезанам, махв месозам таркиб ёфтааст. Оро дар забони форсии тоҷикӣ *тадохул* гуфташ раво аст.

Рис.120.



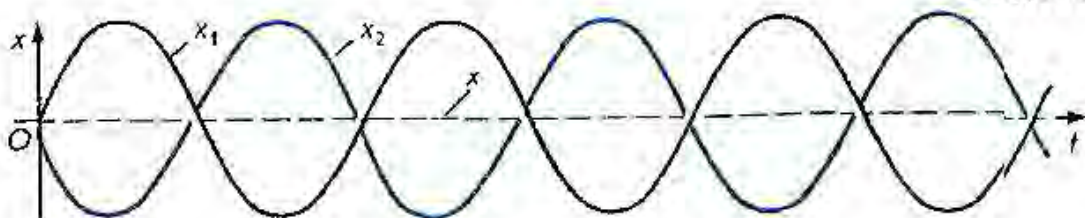
амалан якхела хоҳанд буд.

Натиҷаи ҷамъи мавҷҳо дар нуктаи M ба фарқи фазҳои онҳо вобаста аст. Мавҷҳо пас аз паймудани масофаҳои d_1 ва d_2 , чунон ки мегӯянд, фарқи роҳҳои $d_2 - d_1 = \Delta d$ -ро соҳиб мешаванд.

Агар фарқи роҳҳо ба як дарозии мавҷ баробар бошад, мавҷи дуюм аз мавҷи якум расо як давр ақиб мемонад (мавҷ маҳз дар як давр масофаи баробар ба як дарозии мавҷ λ -ро мепаймояд). Пас, дар ин маврид нӯқҳои ҳарду мавҷ ба нуктаи M дар як вақт мерасанд.

Шарти пайдоиши максимумҳои равшанӣ. Дар рас.120 мавриди бо мурури замон тағйир ёфтани ҷунбишҳои x_1 ва x_2 , ки онҳоро ду мавҷ дар сурати $\Delta d = \lambda$ шудан ба вучуд меоваранд, тасвир ёфтааст. Фарқи фазҳои ҷунбишҳо баробари сифр (ё худ баробари 2π) аст, зеро даври синус 2π мебошад. Дар натиҷаи зам шудани ин ҷунбишҳо ҷунбиши натиҷавӣ доманаи дучанди x (ё худ баробари $2x$) хоҳад дошт. Ҷунбиши натиҷавӣ дар расм бо хатти канда-канда тасвир шудааст. Худи ҳамин манзара (ва дар ҳамин шакл) он гоҳ ҳам ҳосил мешавад, ки дар порчаи Δd на як, балки ҳар гуна адади томи дарозии мавҷ ҷой гирифта тавонад.

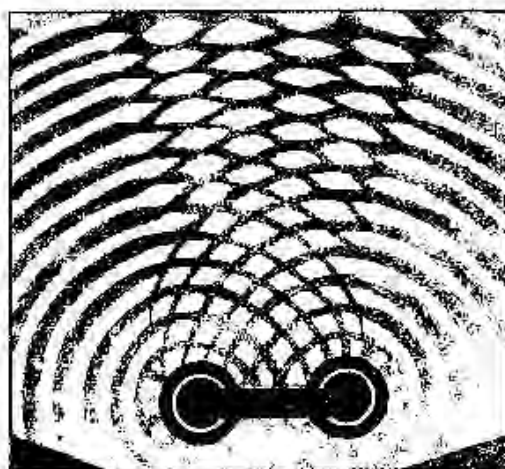
Рис.121.



Доманаи лаппишҳои муҳит дар ин ё он нукта он гоҳ зиёди зиёд меояд (ё чи хеле ки мегӯянд, максимум мегирад), ки фарқи роҳҳои ҳарду мавҷи дар он нукта лаппишангезанда ба адади томи дарозии мавҷ баробар бошад:

$$\Delta d = k\lambda, \quad (5.10)$$

ки ин ҷо мувофиқи таърифи $k=0, 1, 2, \dots$ аст. (Ин таърифи ва формула танҳо ба шарте дурустанд, ки лаппишҳои зодаи ҳарду манбаъ ҳамфаз бошанд).



Рас.122.

Шарти пайдоиши минимумҳои равшанӣ. Ақлун биеёд бинем, ки дар сурати дар порчаи Δd ҷой гирифтани ним дарозии мавҷ чӣ падида мушоҳида мешавад. Рӯшан аст, ки дар ин маврид мавҷи дуум аз мавҷи якум ба қадри ним давр ақиб мемонад. Фарқи фазҳо баробари π мешавад, яъне мавҷҳо фази муқобил хоҳанд дошт. Дар натиҷаи ҷамъ шудани ин лаппишҳо доманаи натиҷавӣ баробари сифр мешавад ва дар нуктаи мушоҳида ҳеҷ гуна лаппиш ба вуҷуд намеояд (рас. 121). Дар сурати ба ҳар гуна адади тоқи нимдарозии мавҷ баробар омадани фосилаи Δd низ айнан ҳамин манзара мушоҳида мешавад.

Доманаи лаппишҳои муҳит дар ин ё он нукта он гоҳ ками кам хоҳад буд (ё ҷунонки мегӯянд, минимум мегирад), ки фарқи роҳҳои ҳарду мавҷи дар он нукта лаппишангезанда ба адади тоқи нимдарозии мавҷ баробар бошад:

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (5.11)$$

Агар қимати фарқи роҳҳо $d_2 - d_1$ дар байни λ ва $\frac{\lambda}{2}$ бихобад, доманаи лаппиши натиҷавӣ қимате мегирад, ки он ба байни доманаи дучанда ва сифр рост меояд. Вале муҳимтар аз ҳама ин аст, ки доманаи лаппишҳо дар ҳама нуктаҳо бо мурури замон собит (бетағйир) мемонад. Дар сатҳи об тақсимооти муъайян, тақсимооти замонан дойимии доманаҳои лаппишҳо

ба вучуд меояд, ки манзараи интерференси мавҷҳо (яъне манзараи тадохули мавҷҳо) ном гирифтааст. Дар рас.122 сурати фотোগарафии яке аз ин гуна манзараҳо тасвир ёфтааст, ки онро ду ҳалқамавҷ (мавҷҳои зодаи ду манбаъ – нуктаҳои сиёҳ) ба вучуд овардааст. Қитъаҳои сафеди қисми мобайни расм максимумҳои замшуди лаппишҳо хастанду қитъаҳои тира минимумҳои он замшудро нишон медиҳанд.

Мавҷҳои чӯрфаз (коҳерентӣ). Барои ба вучуд овардани манзараи пойдори интерференси ду мавҷ зарур аст, ки басомади мавҷҳои ҳосилкардаи ҳарду манбаъ якхела ва фарқи фазҳои лаппишҳои онҳо доимӣ бошанд.

Манбаъҳоеро, ки ин шартҳоро қонеъ мегардонанд, манбаъҳои чӯрфаз ва мавҷҳои ҳосилкардаи онҳоро мавҷҳои чӯрфаз меноманд¹. Манзараи интерференсии пойдор дар мавриди замшудани мавҷҳои маҳз чӯрфаз ба вучуд меояд.

Аммо агар фарқи фазҳои лаппиши манбаъҳо бо мурури замон собит (бетағйир) намонад, дар ҳар нуктаи муҳит фарқи фазҳои лаппишҳои ангехтаи ин ду мавҷ тағйир меёбад ва он гоҳ доманаи лаппишҳои натиҷавӣ бо мурури замон тағйир менамояд. Дар натиҷа максимумҳову минимумҳо (дар фазо) мечунбанд ва манзараи интерференсионӣ ҳалалдор мешавад.

Тақсими энергия ҳангоми интерференс. Мавҷҳо ҳомили энергия мебошанд. Пас, ҳангоми якдигарро ҳомӯшондани мавҷҳо ин энергия кучо мешавад? Шояд ин энергия ба шаклҳои дигар табдил ёбад ва дар муноқишаҳои манзараи интерференсионӣ гармо хориҷ гардад?

Не, на чунин аст. Дар ин ҷо он нуктаи манзараи интерференс вучуд доштани минимум онро ифода мекунад, ки ба ин нукта энергия ҳаргиз ворид намегардад. Дар натиҷаи интерференс энергия дар фазо ба тарзи нав тақсим мешавад. Ин энергия ба сари ҳама зарраҳои муҳит на ба тарзи баробар тақсим мешавад, балки дар соҳаҳои максимумҳо чамъ меояд (аз ҳисоби

¹Бо вучуде ки калимаи «коҳерентӣ» (аз латинии *cohaerens*) мазмуни «алоқаманд», «вобаста», «ҳамбаста» дорад ва онро ба тоҷикӣ бо калимаҳои ҳамфаз, ҳамоханг, ҳамсоз, ҳамсон, ҳамсимо, ҳамгар, ҳамдус, мувофиқ ва ғ. ифода кардан мумкин аст, мо бар инеҷ, ки ин гуна манбаъҳоро манбаъҳои чӯрфаз ва мавҷҳои зодаи онҳоро мавҷҳои чӯрфаз гӯем. (С.К.).

он ки ба соҳаҳои минимумҳо ворид намегардад).

* * * * *

Падид омадани манзараи интерференс далел аст, ки дар ин маврид мо бо падидаи соф мавҷӣ сарукар дорем. Мавҷҳо ҳамдигарро маҳв карда метавонанд, ҳол он ки зарраҳои бо якдигар бархӯранда ҳеч гоҳ ҳамдигарро нест намекунанд. Танҳо мавҷҳои чӯрфаз, яъне мавҷҳои ҳамохангона тағйирёбанда манзараи интерференс ба вуҷуд оварда метавонанд.



1. Мавҷҳои чӯрфаз (коҳерентӣ) чӣ гуна мавҷанд?
2. Чӣ гуна рӯйдодро интерференси мавҷҳо (ё худ тадохули мавҷҳо) меноманд?
3. Шартҳои пайдоиши максимумҳои минимумҳои манзараи интерференсро таъриф диҳед.

§46. Интерференс (тадохул)-и рӯшноӣ

Агар рӯшноӣ аз сели мавҷҳо иборат бошад, пас падидаи интерференс шудани мавҷҳои рӯшноӣ бояд имконпазир бошад. Аммо ба вуҷуд овардани манзараи интерференс (яъне такрори пайдарпайи максимумҳои минимумҳои равшанӣ) ба воситаи ду манбаъи бо якдигар ноалоқаманди рӯшноӣ, чунончи ба василаи ду чароғи электрикӣ имконпазир нест, зеро даргирондани чароғи дуюм равшании сатҳро зиёд кунад ҳам, дар офариниши максимумҳои минимумҳо «ҳисса гузошта» наметавонад.

Биёед бубинем, ки сабаби ин дар чист ва интерференси рӯшноиро дар чӣ гуна шароит мушоҳида кардан муяссар мегардад.

Шарти чӯрфаз (коҳерентӣ) будани мавҷҳои рӯшноӣ. Сабаби он, ки ду чароғи электрикӣ манзараи интерференсро ба вуҷуд оварда наметавонанд, ин аст, ки мавҷҳои рӯшноии афкандаи манбаъҳои гуногун бо якдигар чӯр нестанд; ҳол он ки барои ба вуҷуд овардани манзараи устувори интерференс мавҷҳои ҳамчӯрро истифода кардан зарур аст. Ин гуна мавҷҳо бояд дарозиҳои якхела дошта бошанд ва фарқи фазҳошон дар ҳар нуқтаи фазо собит (дойимӣ) бошад. Хотиррасон бод, ки мо ин гуна мавҷҳои ҳамчӯр, яъне мавҷҳои дарозиҳошон якхела ва

фарқи фазшошон собитро *мавҷҳои ҷӯрфаз (когерентӣ)* ноида будем.

Мавҷҳои афкандаи ду манбаъро аз ҷиҳати дарозӣ бо якдигар қариб айнан баробар кардан душвор нест. Барои ин коист, ки нурполо (нурбез, полароид)-и хубро истифода кунем, я аз худ танҳо рӯшноии фосилаи бисёр танги дарозихои маҷро гузаронанд. Аммо агар ҳарду манбаъ бо ҳам ноалоқанд бошанд, фарқи фазҳои онҳоро собит нигоҳ доштан мушар намегардад. Атомҳои манбаъ новобаста ба якдигар нур меафкананд ва он нур шадда-шаддаи синусӣшакл ас бо дарозихои қариб якметрӣ. Ва ана ҳамин гуна шаддҳои хоричқардаи ду манбаъи мисолқардаи мо рӯйиҳам омад; зам мешавад. Дар натиҷа дар ҳар нуқтаи фазо бо мурури зион, вобаста ба он ки дар ин ё он лаҳзаи вақт шаддаҳои мавҷо то чӣ андоза ҳамфаз ҳастанд (яъне фазшошон нисбат ба якдигар чӣ дараҷа гечида ё ногечидаанд), доманаи лапишҳо ба ҷури бетартибона тағйир меёбад. Мавҷҳои афкандаи манбаъҳои гуногуни рӯшноӣ аз он сабаб ноҷӯрфаз ҳастанд, ки фарқи фазҳои онҳо бо мурури замон собит намест¹ ва дар фазо ҳеҷ гуна манзараи пойдоре бо тақсимои муъайяни максимум-ҳову минимумҳои равшанӣ ба вуҷуд намеояд.

Интерференси рӯшноӣ дар пардаҳои тунук. Бо вуҷуди ин интерференси рӯшноиро мушоҳида кардан илоҷ дорад. Таваҷҷубангез аст, ки интерференс дербоз мушоҳида шудааст, вале касе ба ин таваҷҷӯҳ накардааст.

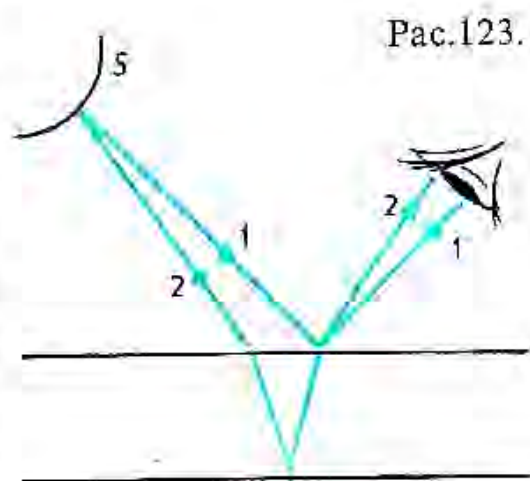
Шумо ҳам, вақте ки дар овони кӯдакӣ аз кафки собун пуфак месохтед ё мавҷ задани рангҳои мухталифи офаридаи прдаи керасин ё нафти рӯйи обро мушоҳида мекардед, манараи интерференсро борҳо дидаед.

«Пуфаки собунӣ дар ҳаво парвоз карда, бо ҳама тобиҳои рангии хоси ашёи атроф мекурахшад. Пуфаки собунӣ оянд, мафтункунандатарин ва латифтарин мӯъҷизаи табиъат бинад» (Марк Твен).

Маҳз интерференси рӯшноӣ сабаби мафтункунаагии пуфаки собунист.

¹Ба истиснои манбаъҳои квантии рӯшноӣ, ки аввали солҳои 60-и асри гузашта сохта шудаанд (Ниг. §75).

Олими англис Томас **Йунг** нахустин касе буд, ки ба ин фикри рангин омад: рангҳои пардаҳои тунук (рас.123) дар натиҷаи замшудани мавҷҳои 1 ва 2, ки яке (1) аз сатҳи берунӣ ва дигаре – аз сатҳи дарунӣ парда инъикос мегарданд ба вучуд меоянд¹. Дар ин маврид *интерференси мавҷҳо*, яъне замшудани ду мавҷе рӯй



Рас.123.

медихад, ки дар натиҷаи он дар нуқтаҳои гуногуни фазо ларзиши натиҷавии мавҷҳои рӯшноӣ зӯр ё суст мешавад. Натиҷаи интерференс (зӯр ё суст шудани ларзиши натиҷавӣ) ба кунҷи афтиши рӯшноӣ (ба сатҳи парда), ғафсии парда ва дарозии мавҷ вобаста мебошад. Рӯшноӣ он гоҳ зӯр мешавад, ки мавҷи шикаста (2) аз мавҷи инъикосшуда (1) ба қадри як ё чанд дарозии мавҷ (ба адади томи дарозии мавҷ) ақиб монад. Лекин агар мавҷи дуум аз мавҷи якум ба қадри ним дарозии мавҷ ё ба адади токи нимдарозии мавҷ ақиб монад, рӯшноӣ суст мешавад.

Мавҷҳои аз сатҳҳои дарунӣ ва берунӣ парда инъикосшаванда аз он сабаб чӯрфаз (когерентӣ) меоянд, ки ҳардуи онҳо чузъи ҳамон як дастаи рӯшноӣанд. Ба иборати дигар, парда шаддаи мавҷҳои афкандаи ҳар як атомро ду чузъ мекунад баъд ин чузъҳо чамъ омада, интерференс медиханд.

Йунг инчунин фаҳмид, ки тафовути рангҳо бо тафовути дарозӣ (ё басомад)-и мавҷҳои рӯшноӣ алоқаманд аст. Дастаҳои рӯшноии гуногунранг дарозии мавҷи гуногун доранд. Барои он ки ду мавҷи гуногундарозии рӯшноӣ (кунҷҳои афтиши ҳарду мавҷҳоро якхела мегирем) дар натиҷаи чамъшудан якдигарро тақвият диҳанд, зарур аст, ки ғафсии парда гуногун бошад. Бино бар ин, агар ҳар чойи парда ҳар хел ғафс бошад, дар сурати ба он задани рӯшноии сафед рангҳои гуногун пайдо мешавад.

Ҳалқаҳои Нютон. Манзараи содаи интерференс дар қабати

¹Чашми мо гоҳи ба сатҳи парда назар дӯхтан мавҷҳои 1 ва 2-ро дар шабақияи худ чамъ меоварад.



Томас Ёунг (1773–1829) – олими инглис, ки соҳиби истеъдоди бисёрҷанба ва шавқи илмии ғавқулода буд. Ёунг ҳам духтури машҳур буду ҳам физикдони дорои эҳсоси ғавқулода, ҳам ситорашинос буду ҳам муҳандис, ҳам филизсос (металлург) буду ҳам мисршинос, ҳам зистшинос буду ҳам забондон, ҳам навозандаи мумтоз буду ҳам варзишгари болаёқат.

Комёбии асосии Ёунг кашфи падидаи интерференс¹ ва шарҳи падидаи дифраксия (дар заминаи назарияи мавҷии рӯшноӣ) буд. Дарозии мавҷи рӯшноиро низ аввалин шуда Ёунг чен кардааст.

ҳавои байни, масалан, шишаи ҳамвор ва линзаи ҳамворбарчастаи дар рӯи он гузошташуда ба вучуд омада метавонад (ба шарте, ки радиуси қачии сатҳи куравии он ба қадри кофӣ дароз бошад). Ин гуна манзара шакли ҳалқаҳои ҳаммарказе дорад, ки онҳо *ҳалқаҳои Ньютон* ном гирифтаанд.

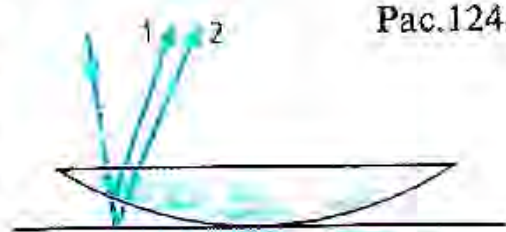
Линзаи ҳамвор-барчастае гиред, ки радиуси қачии сатҳи куравиаиш хурд бошад ва онро дар рӯи лавҳачаи шишагини ҳамвор бигзоред. Агар шумо ба сатҳи линза бодикқат (хубаш ва воситаи пурбин) назар андозед, дар ҷойи расиши линзаву шиша як доғи тор ва дар атрофи он маҷмӯи ҳалқаҳои рангоранг мебинед. Масофаи байни ҳалқаҳои ҳамсоя ба қадри зиёд шудани радиуси онҳо зуд кам мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. III, 1). Ҳаминҳоанд ҳалқаҳои Ньютон.

Ин ҳалқаҳоро Ньютон на танҳо дар рӯшноии сафед, балки ҳангоми бо рӯшноии якранг (рӯшноии монохроматӣ) рӯшан сохтани линза низ мушоҳида ва таҳқиқ кард. Рӯшан гашт, ки радиусҳои ҳалқаҳои рақами тартибишон якхела дар сурати аз канори бунафши тайф (спектр) сӯйи канори сурхи он омадан зиёд мешавад; ҳалқаҳои сурх радиуси зиёдтарин доранд (ниг. варақаи ранга, рас. III, 2 ва 3). Шумо ин ҳалқаҳоро дар таҷрибаҳои мустақилона мушоҳида карда метавонед.

Ньютон пайдоиши ҳалқаҳоро шарҳи қобили қабул дода натавонист. Ин комёбӣ низ Ёунгро муяссар гардид. Муҳокимаҳои Ёунг бар он асос ёфта буд, ки рӯшноӣ табиъати мавҷӣ дорад, яъне рӯшноӣ мавҷ аст.

¹Истилоҳи *interference*, ки маҳз «интерференс» талаффуз мешавад, низ ҷакидан калами Ёунг аст (С.К.).

Биёед мавридеро бинем, ки рӯшноии сохиби дарозии муъайяни мавҷ қариб амудан ба линза (наскӣ)-и ҳамворбарчаства мезанад (рас.124).



Рас.124.

Мавҷи 1 дар натиҷаи аз сатҳи барчастваи линза дар сарҳадди шиша-ҳаво ва мавҷи 2 дар натиҷаи аз шиша дар сарҳадди ҳаво-шиша инъикос ёфтани рӯшноӣ пайдо мешаванд. Ин мавҷҳо чӯрфаз (коҳерентӣ) ҳастанд: онҳо дарозии мавҷи якхела доранду фарқи фазҳошон дойимист ва ин дойимият аз он ҷо сар мезанад, ки роҳи мавҷи 2 назар ба мавҷи 1 дарозтар аст ва агар мавҷи 2 назар ба мавҷи 1 ба кадри як ё чанд дарозии мавҷ ақиб монад, мавҷҳо дар натиҷаи зам шудан якдигарро зӯр мекунанд (тақвият медиҳанд), зеро ларзишҳои офаридаи онҳо ҳамфаз меоянд.

Ва баръакс, агар мавҷи дуҷум назар ба яқум ба кадри ним дарозии мавҷ ё адади токи нимдарозии мавҷ ақиб монад, фазҳои ларзишҳои ангехтаи онҳо муқобили якдигар хоҳад буд – дар ин маврид онҳо дар натиҷаи зам шудан ҳамдигарро барҳам мезананд.

Агар радиуси қаври сатҳи линза R маълум бошад, бо роҳи ҳисобукитоб ёфтани мумкин аст, ки дар чӣ гуна дурӣ аз нуқтаи расиши линза бо шишаи ҳамвор фарқи роҳҳои мавҷҳои дарозииашон муъайян (λ) ҳамдигарро маҳв мегардонанд. Ана ҳамин масофаҳо радиусҳои ҳалқаҳои тираи нӯтони мебошанд (ҳалқаҳои ҳавоии баробарғафсии ҳавоии атрофи нуқтаи расиши линзаву шишаро чун хатҳои дойиравӣ муойина кардан мумкин аст). Радиуси ҳалқаҳоро чен карда, дарозии мавҷро ёфтани мумкин аст.

Дарозии мавҷи рӯшноӣ. Аз санҷиши дарозии мавҷ барои ранги сурх қимати $\lambda_6 = 8 \cdot 10^{-7}$ м ва барои ранги бунафш қимати $\lambda_6 = 8 \cdot 10^{-7}$ м ҳосил шуд. Дарозии мутобиқи мавҷҳои дигарранга дар байни ин ду қимат меҳобанд. Дарозии мавҷҳои рӯшноӣ барои ҳама рангҳо бисёр кӯтоҳ аст. Тасаввурани мавҷи дарозииаш чандметро он кадр калон кунед, ки тамоми уқёнуси

Атлас (Атлантик)-ро аз сохилҳои Аврупо то Амрико фаро бигирад. Агар дарозии мавҷи рӯшноиро ба ҳамин андоза зиё кунем, назар ба пахноии ҳамин саҳифа танҳо андак зиёдтар мешавад.

Ҳамин тариқ, таҳқиқи интерференс на танҳо соҳиби хосиятҳои мавҷӣ будани рӯшноиро ба исбот мерасонад, балки имкон низ медиҳад, ки дарозии мавҷҳо чен карда шавад. Мисли он ки гафсии садо ба басомади ларзишҳои савтӣ вобаста аст, ранги рӯшноӣ низ ба басомади ларзиш (ё худ ба дарозии мавҷ) бастагӣ дорад.

Берун аз мо дар табиъат ҳеҷ гуна ранг вуҷуд надорад, танҳо мавҷҳои гуногундарозӣ мавҷуданд дар дунёи мо. Чашм асбоби мураккаби физикиест, ки фарқияти ночизи дарозииҳои мавҷи рӯшноӣ (тақрибан 10^{-8}м)-ро ҳис мекунад. Ҷолиб аст, ки аксари ҳайвонҳо рангҳоро ҳис карда наметавонанд ва манзараи олами пурранги мо дар чашми онҳо танҳо сафедусиёҳ менамояд. Ашхоси мубталои бемории рангкӯрӣ (далтонизм) низ рангҳои гуногунро эҳсос карда наметавонанд.

Дар сурати аз як муҳит ба муҳити дигар гузаштани рӯшноӣ дарозии мавҷ тағйир мепазирад. Инро ошкор сохтан мушқил нест: фазои байни линзаву шишаро бо об ё моеъи дигари шаффофи қобилияти шуоъшиканиаш n пур мекунем – он гоҳ радиуси халқаҳои интерференсӣ кӯтоҳтар меояд.

Сабаби ин дар чист? Шумо медонед, ки дар мавриди аз вакуум ба ягон муҳит гузаштани рӯшноӣ суръати он n бор кам мешавад. Азбаски $v = \lambda\nu$ аст, пас, ё басомад ё дарозии мавҷ дар ин маврид бояд n бор кам шавад. Вале радиуси халқаҳо ба дарозии мавҷ вобастаанд. Пас, гоҳи ба муҳит ворид гаштани рӯшноӣ ба басомад, балки маҳз дарозии мавҷи он n бор тағйир меёбад.

Интерференси мавҷҳои электромагнитӣ. Бо ёрии генератори абарбаландбасомад (генератори АББ – ниг. §35) интерференси (радио)мавҷҳои электромагнитиро мушоҳида кардан мумкин аст.

Генератор ва олати қабули мавҷҳоро рӯбарӯӣ якдигар ҷой медиҳанд (рас.125). Баъд саҳфаҷаи филизӣ (металлӣ)-еро дар ҳолати уфуқӣ аз поён ба онҳо наздик мебаранд ва онро оҳиста-оҳиста боло бардошта, меби-нанд, ки садо гоҳ баланд меша-

ваду гоҳ паст.

Шарҳ ин аст. Қисме аз мавҷи афкандаи карнаи генератор бевосита ба карнаи қабул мезанаду қисми дигараш аз сафҳачаи филизӣ инъикос гашта,



Рас.125.

баъд ба карнаи қабул мерасад. Мо мавҷеи сафҳачаи филизиро тағйир дода, фарқи роҳҳои мавҷҳои ростакӣ ва инъикосшударо каму зиёд мекунем – дар натиҷа мавҷҳо якдигарро ё тақвият медиҳанд ё маҳв месозанд (вобаста ба ин, ки фарқи роҳҳо ба адади томи дарозии мавҷ баробар мешавад ё ба адади токи нимдарозии мавҷ).

Мушоҳидаи интерференси рӯшноӣ нишон медиҳад, ки рӯшноӣ ҳангоми густариш ёфтаи хусусиятҳои мавҷӣ зоҳир мекунад. Таҳқиқи интерференс ва санҷишҳои алоқаманди он имкон медиҳад, ки дарозии мавҷҳои рӯшноӣ чен карда шавад. Ин дарозии дар фосилаи $4 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-7}$ м меҳобанд.



1. Мавҷҳои ҷурфаз (коҳерентӣ)-и рӯшноиро чӣ тавр ҳосил мекунанд?
2. Падидаи интерференси рӯшноӣ чӣ моҳият дорад?
3. Тафовути рангии мавҷҳои рӯшноӣ бо чӣ гуна бузургии физикии таъхирдиҳандаи рӯшноӣ алоқаманд аст?
4. Санҷери ба рӯйи яхи шаффоф тавре мезанем, ки ях наҷиканад, вале дар он қишло ба вуҷуд биеяд. Он гоҳ мебинем, ки ях бо рангҳои гуногун мавҷ мезанад. Сабаби ин дар чист?
5. Дарозии мавҷ дар об n бор кам мешавад (n қобилияти шуоъшикашии об нисбат ба ҳаво). Оё ин он гуна маънӣ дорад, ки гавҷ дар зерини об наметавонад ашёи атрофи худро дар партави табиъӣ бубинад?

§47. Баъзе татбиқҳои интерференси рӯшноӣ

Татбиқҳои интерференс ба се муҳим ва сершуморанд.

Интерферометр ном асбобе мавҷуд аст, ки кори он бар истифодаи падидаи интерференс асос ёфтааст. Таъйиноти интерферометрҳо гуногун буда метавонад: ба дараҷаи бисёр дақиқ чен кардани дарозии мавҷҳои рӯшноӣ, чен кардани қобилияти шуоъшиканиндагии газҳо ва ғ. Интерферометрҳои махсус таъйинот низ истифода мешаванд.

Мо ин чо танҳо ду татбиқи интерференсро муойина мекунем.

Санҷиши сифати пардозии сатҳҳо. Ба воситаи ин асбоб сифати пардозии сатҳи маснуъотро бо дурустии то даҳяки дарозии мавҷ ё худ 10^{-6} см санҷидан мумкин аст. Барои ин дар байни сатҳи намунаи санҷиданӣ ва сатҳи лавҳачаи хубсайқалдидаи эталонӣ як қабати фонашакли тунуки ҳаво ба вучуд овардан мебояд. Он гоҳ ноҳамвории сатҳ (то 10^{-6} см) боиси қач омадани тасмаҳои интерференсие мегарданд, ки онҳо дар натиҷаи аз сатҳи намунаи санҷиданӣ ва рӯи поёнии лавҳачаи эталонӣ инъикос ёфтани рӯшноӣ пайдо мешаванд.

Танвири асбобҳои оптикӣ. Объективҳо (наскиҳо)-и олатҳои суратгириву аксандозҳо (проекторҳо), перископҳои киштиҳои зеробӣ ва асбобҳои дигари оптикӣ адади зиёди шишаҳои оптикӣ – линза (наскӣ), маншур ё худ призма ва ғ. доранд. Дар ин гуна асбобҳо рӯшноӣ аз чандин сатҳ инъикос мешавад. Адади сатҳҳои нуриинъикоскунанда дар дастгоҳи суратгирии замони ҳозира ба 10, дар перископҳои киштии зеробӣ то ба 40 мерасад. Дар сурати амудан ба сатҳи оптикӣ задани рӯшноӣ аз 5 то 9%-и энергияи он инъикос мешавад. Бино бар ин аз тамоми рӯшноии ба асбоб воридшаванда на бештар аз 10-20 дарсадаш то ба ҷойи мушоҳида мерасад – дар натиҷа равшани тасвир кам мешавад ва сифати он паст меояд. Як қисми дастаи рӯшноӣ бо вучуди инъикоси чандинқарата (аз сатҳҳои дарунии асбоб) то ба ҷойи мушоҳида мерасад, вале ба иллати пароканишҳои зиёд дар созидаи тасвири возеҳ иштирок намекунад. Ҳамин аст, масалан, ки дар тасвирҳои фотография бурҷаъ (вуал) пайдо мешавад.

Барои бартараф соختани ин асари номатлуби инъикоси рӯшноӣ (аз сатҳҳои оптикӣ) ҳиссаи инъикосшавандаи энергияи рӯшноиро кам кардан мебояд. Он гоҳ тасвир равшантар, нуронитар меояд, мунаввартар мешавад. Истилоҳи *танвир* аз ҳамин ҷост ва маънии «равшан кардан», «нуронӣ кардан» дорад.

Танвири олатҳои оптикӣ бар падидаи интерференс асос ёфтааст. Сатҳи шишаи оптикӣ, масалан, линзаро пардаи тунуке медавонанд, ки қобилияти шуоъшикании он n_n назар ба қобилияти шуоъшикании шиша $n_{ст}$ кам бошад. Барои осонӣ

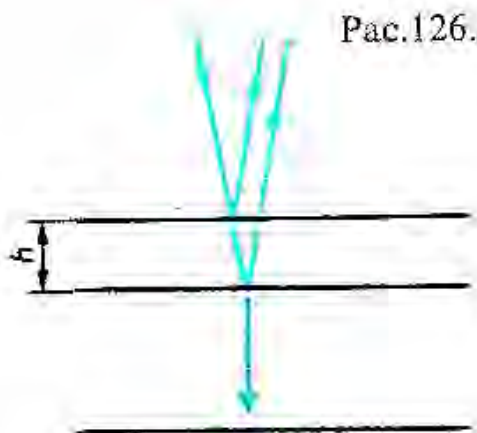
мавриди амудан ба сатхи парда задани рӯшноиро муойина мекунем (рас.126).

Фарқи роҳҳои 1 ва 2, ки аз сатҳҳои болоӣ ва поёнии парда инъикос шудаанд, ба ғафсии дучандаи парда $2h$ баробар аст. Дарозии мавҷ дар парда λ_n назар ба вакуум n бор кам аст:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n_n}$$

Барои он ки мавҷҳои 1 ва 2 якдигарро суст кунанд, фарқи роҳҳои онҳо бояд ба ним дарозии мавҷ дар парда баробар шавад:

$$2h = \frac{\lambda_n}{2} = \frac{\lambda}{2n_n} \quad (5.12).$$



Агар доманаи мавҷҳои инъикосшуда ҳамчен ё қариб ҳамчени якдигар бошанд, рӯшноӣ комилан хомӯш мешавад. Барои ба ин муваффақ шудан қобилияти шуоъшикании пардаро кимати матлуб додан (яъне онро дуруст интиҳоб кардан) мебояд, зеро шиддати рӯшноии инъикосгашта ба нисбати зарифҳо (коэффисентҳо)-и шикасти харду муҳити ҳамсарҳад вобаста мебошад.

Ба линза дар шароити муқаррарӣ рӯшноии сафед мезанад. Ифодаи (5.12) нишон медиҳад, ки ғафсии матлуби пардаро вобаста ба дарозии мавҷ интиҳоб кардан зарур меояд. Аз ин рӯ мавҷҳои инъикосгаштаи доройи ҳамма басомадхоро хомӯшондан имконпазир нест. Ғафсии пардаро тавре интиҳоб мекунам, ки дар сурати амудан ба сатҳи пардапӯш задани рӯшноӣ хомӯшшуди пурра ба дарозииҳои мавҷи соҳаи миёнаи тайф (спектр), яъне ба ранги сабз $\lambda_c \approx 5,5 \cdot 10^{-5}$ см рост ояд. Ғафсии матлуби парда ба чахоряки дарозии мавҷ (дар парда) баробар аст:

$$h = \frac{\lambda_c}{4n_n}$$

Инъикоси рӯшноии мутобиқ ба қитъаҳои канории тайф,

яъне сурх ва бунафш хеле кам суст мешавад. Ҳамин аст, ки объективи танвиршуда дар рӯшноии инъикосшуда ранги бунафши рӯшан мегирад. Дар замони мо суратгиракҳои содатарин ва арзонтарин ҳам шишаҳои танвиршуда доранд.



Махви рӯшноӣ бо рӯшноӣ он гуна маънӣ надорад, ки гӯё энергияи рӯшноӣ ба навъҳои дигари энергия табдил меёбад. Дар ин ҷо он қитъаи фазо якдигарро маҳв кардани мавҷҳо он гуна маънӣ дорад, ки рӯшноӣ ба он соҳаи фазо ҳеч гуна энергия ворид намегардонад. «Хомӯш» будани мавҷҳои инъикосшуда дар наздикиҳои сатҳи объективи танвиршуда он гуна маънӣ дорад, ки рӯшноӣ аз тариқи объектив мегузарад.

§48. Дифраксияи мавҷҳои монеъанҷӯ

Мавҷ гоҳи густарии ёфтани дар аксари мавридҳо бо монетаҳои дучор меояд, ки андозаҳои онҳо назар ба дарозии мавҷ начандон зиёд аст. Рафтори мавҷ асосан ба таносуби байни дарозии мавҷ ва андозаи монета бастагӣ дорад.

Мавҷ монетаро давр зада метавонад. Дар сурати хурд будани андозаҳои монета мавҷҳо канорҳои онро давр зада, дар паси монета боз ба ҳам меоянд. Чунончи, мавҷи баҳр санги сари роҳи худро дар сурати назар ба дарозии мавҷ хурд (ё ба он наздик) будани андозаҳои санг озодона давр мезанад. Мавҷ дар паси санг тавре паҳн мешавад, ки гӯё он санг умуман вучуд надошта бошад (сангҳои майдаи рас.127). Айнан ҳамин тавр мавҷе, ки дар натиҷаи ба ҳавз партофтани санг пайдо мешавад, чӯби нӯгаш аз об берунро озодона давр зада метавонад. Танҳо монетаи андозааш назар ба дарозии мавҷ зиёд (санги калони рас.127) дар паси худ «соя» меафканад: мавҷ дар ин маврид ба соҳаи ақиби санг гузафта наметавонад.

Мавҷҳои садо низ хусусияти монетаро давр задан доранд. Шумо садои мошини нонамоёиро





Рас 128.



Рас.129.

шунда метавонед. Дар ҷангал шумо барои гум накардани рафқони дар паси дарахтҳо наонамоёни худ онҳоро фарёд мекунад (овоз медиҳед). Мавҷҳои садо бар хилофи мавҷҳои рӯшноӣ дарахтҳоро озодона давр зада овози шуморо то ғӯши ҷурахотон мерасонанд.

Падидаи аз рафқи ростхатта майл хӯрдани мавҷҳо (дар сурати аз канори монетаи сари роҳи худ гузаштани онҳо)-ро *дифраксия* ном додаанд (аз калимаи латинии *diffractus* – шикаста), ки маънои *парош* дорад. Дифраксия ҳам мисли интерференс ҳамарӯйдодҳои мавҷиро хос аст. Ҳангоми рӯй додани дифраксия сатҳи мавҷӣ дар канори садд (монетаи сари роҳи рафқи мавҷ) қач меояд. Дифраксия хусусан дар мавридҳои рӯшан зоҳир мегардад, ки андозаи садд назар ба дарозии мавҷ хурд ё бо он қобили муқоиса бошад.

Падидаи дифраксияи мавҷҳоро дар мавриди дар сатҳи об паҳн шудани онҳо мушоҳида кардан осон аст. Барои ин дар сари роҳи мавҷҳо садди роғдоре мегузорем, ки роғаш назар ба дарозии мавҷ хурд бошад (рас.128). Он гоҳ ба ҳубӣ аён мегардад, ки дар соҳаи паси садд мавҷи дойиравие паҳн мешавад, ғӯё ин ки дар роғи садд ҷисми ларзон, яъне манбаи мавҷҳо воқеъ гардида бошад. Қоидаи Хйуйгенс низ маҳз ҳаминро тақозо мекард (ниг. §41). Манбаҳои сонавӣ (дуюмӣ) дар роғи танг ба якдигар чунон наздик ҷой мегиранд, ки онҳоро чун як манбаи нуқтагӣ пиндоштан мумкин аст.

Агар пахноии роғ назар ба дарозии мавҷ зиёд бошад, манзараи дар паси садд паҳн гаштани мавҷ ба кулӣ тағйир меёбад (рас.129). Мавҷ аз роғи садд қариб бе тағйири шакли худ мегузарад: танҳо канорҳои сатҳи мавҷӣ андак қач меоянд (сабаби қисман ба фазои паси садд гузаштани мавҷ низ дар ҳамин аст).

Қоидаи бунлодии Хйуйгенс дарки падидаи дифраксияро

осон мегардонад. Мавҷҳои сонавии афкандаи ин ё он китъаи мухит метавонад, ки канори садди сари роҳи худро давр зада, ба соҳаи паси он бигзаранд.



1. *Аз рӯйдодҳои дифраксия (парои)-и мавҷҳо мисолҳои биёред, ки дар матни ин банд зикр наёфтаанд.*
2. *Дифраксияи мавҷҳо дар чӣ гуна шароит рӯшантар зоҳир мегардад?*

§ 49. Дифраксияи рӯшноӣ (пароии¹ рӯшноӣ)

Агар рӯшноӣ падидаи мавҷтабиъат бошад, пас, гайр аз интерференс бояд падидаи дифраксияи рӯшноӣ низ рӯй диҳад, зеро, чунон ки болотар зикр кардем, дифраксия (яъне аз канори монеъа ё садд давр зада гузаштани мавҷҳо) ҳама рӯйдодҳои мавҷиро ҳос аст. Аммо мушоҳида кардани дифраксияи рӯшноӣ осон нест. Гап дар он аст, ки мавҷҳо аз рафти ростхаттаи худ ба дараҷаи намоён танҳо дар сурати бо дарозии мавҷ қобили муқоиса будани андозаҳои садди роҳашон майл меҳӯранд; вале мавҷҳои рӯшноӣ бағоят кӯтоҳанд. Пас, онҳо чӣ тавр дифраксия дода метавонанд ва агар тавонанд, онро чӣ тавр мушоҳида кардан мебояд?

Дастаи борикӣ рӯшноиро ба сӯроҳи танге равона карда, дидан мумкин аст, ки қонуни рафти ростхаттаи рӯшноӣ вайрон шуда метавонад. Андозаи доғи рӯшан дар муқобили сӯроҳ назар ба худӣ андозаи сӯроҳ калонтар меояд, ки ин ҳилофи қонуни рафти ростхаттаи рӯшноист.

Таҷрибаи Йунг. Соли 1802 қошифи интерференси мавҷҳо Т.Йунг дар роҳи таҳқиқи падидаи дифраксия таҷрибаи классикие анҷом дод (рас.130). Ё ду нуқтаи аз якдигар на чандон дури В ва С-и пардаи ношаффоферо бо сӯзан сӯроҳ кард. Йунг ин сӯроҳҳои тангро бо дастаи рӯшноии борикӣ, ки аз сӯроҳи танги пардаи дигар мебаромад равшан сохт. Маҳз ҳамин нозукӣ, ки онро он вақтҳо фаҳм кардан осон набуд, таҷрибаро муваффақият бахшид. Танҳо мавҷҳои чӯрфаз (мавҷҳои когерентӣ) интерференс мешаванд. Мавҷи куравие, ки мувофиқи қоидаи Хйуйгенс аз сӯроҳи А пайдо мешавад, дар сӯроҳҳои В ва С

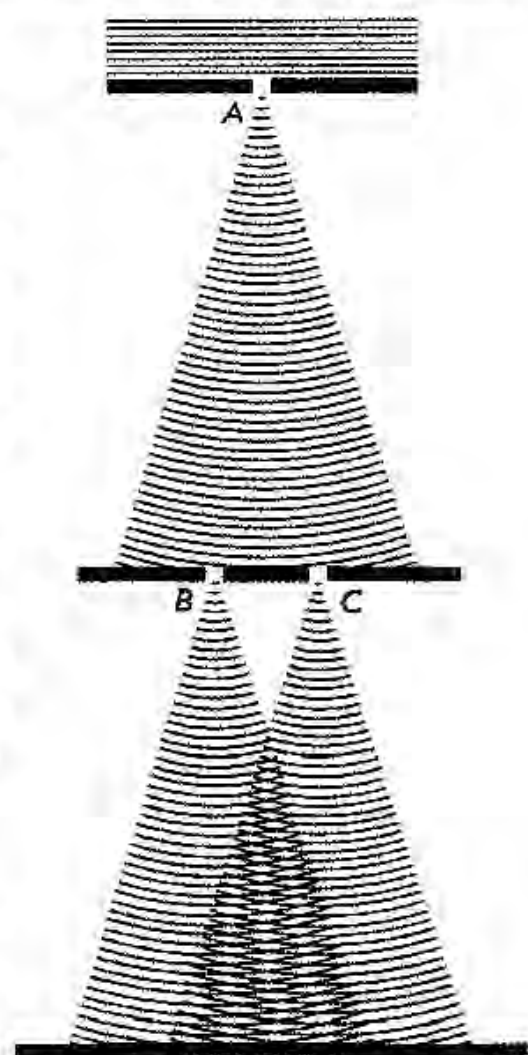
¹Пароии – аз масдари *парошидан* ба маънои *парешон кардан, парокандан* (С.Ж.).

ларзишҳои чӯрфаз ба вучуд меоварад. Дар натиҷаи дифраксия аз сӯроҳҳои В ва С дастаҳои махрутишакл (конусшакл)-и рӯшноӣ ба вучуд меоянд, ки якдигарро қисман мелӯшанд. Ҳамчунин дар натиҷаи интерференс шудани ин ду мавҷ дар пардаи намоиш (экран) рахҳои якдармиён рӯшану тира пайдо мешаванд. Ёунг яке аз сӯроҳоро маҳкам карда, дид, ки рахҳои интерференсӣ нопадид мегарданд.

Маҳз ҳамин гуна таҷрибаҳо Ёунгро имкон дод, ки дарозии мавҷҳои мутобиқ ба шуоъҳои гуногунрангро чен карда тавонад ва бояд гуфт, ки ин таҷрибаҳои пешоҳангонаи ӯ бисёр дақиқ буданд.

Назариyaи Френел. Таҳқиқи мукаммали дифраксия бо номи О. Френел алоқаманд мебошад. Ӯ на танҳо мавридҳои гуногуни дифраксияро дар таҷриба диққикорона таҳқиқ кард, балки назариyaи миқдории онро низ бунёд сохт. Ин назариya имкон дод, ки манзараи дар натиҷаи ҳар гуна саддро давр задани рӯшноӣ ҳосилшаванда баҳо дод карда шавад. Падидаи дар муҳити якҷинса ба таври ростхатта густариш ёфтани рӯшноиро дар заминаи назариyaи мавҷӣ низ Френел шарҳи дуруст додааст. Ӯ ин комёбиҳоро дар натиҷаи омезиш додани қоидаи Хйуйгенс ва ғояи интерференси мавҷҳои сонавӣ (дуввумӣ) ба даст овардааст. Ба ақидаи Френел *сатҳи мавҷӣ дар ҳар лаҳзаи вақт на танҳо хатти фарогир (хатти ҳавӣ)-и мавҷҳои сонавӣ нест, балки натиҷаи интерференси онҳо низ мебошад* (ва ҳамин аст қоидаи бунлодии Хйуйгенс – Френел).

Барои ёфтани домана (амплитуд)-и мавҷи дар ин ҷо он нуқтаи фазо пайдошуда манбаъи рӯшноиро фикран бо сатҳи сарбасте иҳота



Рас.130.



Френел Огйустен (1788 – 1827) – физикдони барҷас-
таи фаронсавӣ, асосгузори оптикаи мавҷӣ. Ӯ гоҷи Хйуйгенсро
дар бораи интерференси мавҷҳои сонавӣ (дуввумӣ) тақмил
дода, назарияи миқдории дифраксия (назарияи пароши-
рӯшноӣ)-ро ба вуҷуд овард.

Френел дар заминаи ин қоида қонунҳои оптикаи геометрӣ,
аз ҷумла дар муҳити якҷинса рафтори ростхатта доштани
рӯшноиро шарҳи дуруст додааст. Ӯ дар заминаи усули ба
қитъаҳои алоҳида тақсим кардани сатҳи мавҷӣ барои
ҳисобукитоби манзараи дифраксия усули тақрибие
офаридааст.

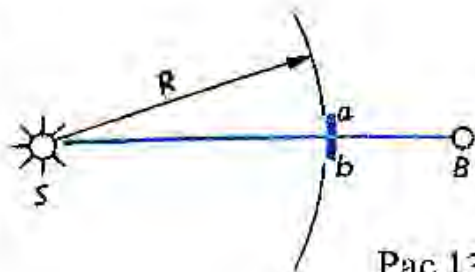
Аввалин исботи арзиати мавҷҳои рӯшноӣ низ бо номи
Френел алоқаманд аст.

кардан мебояд. Он гоҳ интерференси мавҷҳои, ки аз манбаъҳои
сонавии рӯйи ин сатҳ бармеоянд, доманаи натиҷавиро дар ҳар
нуқтаи фазо шакл дода метавонад.

Ин гуна баҳодод дарки онро осон мекунад, ки рӯшноӣ аз
манбаъи нуқтагии S (ки мавҷи куравӣ меафканад) чӣ тавр то
ба нуқтаи ихтиёрии B (рас.131) мерасад. Амали якҷояи
манбаъҳои сонавии сатҳи мавҷии куравии радиусаш R -ро
муойина карда, нуқтаи муҳимро дарк кардан осон аст:
натиҷаи интерференси мавҷҳои сонавии афкандаи ин манбаъҳо
дар нуқтаи B он гуна хоҳад буд, ки гӯё ба ин нуқта танҳо
манбаъҳои сонавии рӯйи қитъаи куравии хурди ab рӯшноӣ
мефиристода бошанд. Мавҷҳои сонавии афкандаи манбаъҳои
воқеъ дар рӯйи қисми боқимондаи сатҳи муойинашаванда дар
натиҷаи интерференс ҳамдигарро маҳв месозанд. Пас, ин
падида чунон сурат мегирад, ки гӯё рӯшноӣ танҳо ба рафти
хатти ростии SB (яъне ростхатта) паҳн мешуда бошад.

Дар баробари ин Френел падидаи дифраксияи рӯшноиро
барои садҳҳои гуногун шарҳи миқдорӣ дод.

Соли 1818 дар маҷлиси Академияи илмҳои Фаронса падидаи
ҷолибе рӯй дод. Олиме таваҷҷӯҳи ҳозиронро ба он ҷалб кард,
ки аз назарияи Френел далелҳои муҳолифи ақли солим
бармеояд. Барои андозаҳои муъайяни сӯроҳ ва масофаи
муъайяни манбаъи рӯшноӣ–сӯроҳ
то пардаи намоиш (экран) дар мар-
кази доғи рӯшан бояд доғи тирае
ба вуҷуд ояд ва, ҳамчунин, дар
маркази сояи гирдаи ношаффоф,



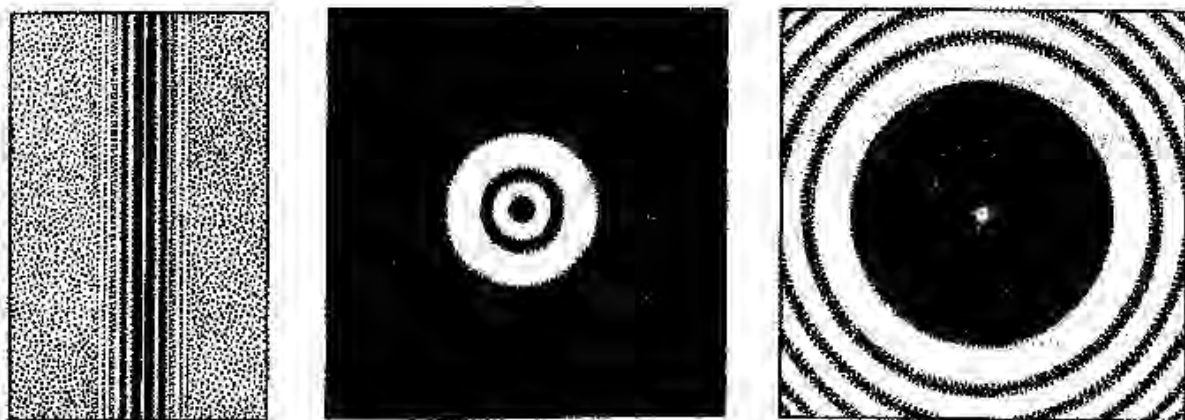
Рас.131.

бараъкс, бояд доғи рӯшане пайдо шавад. Аммо вақте ки таҷрибаи дар ҳамон ҷо дойиршуда ин хулосаҳои «акли солим»-ро бекамукост тасдиқ кард, ҳайрати ҳозиронро ҳадду канор набуд.

Манзараҳои дифраксионӣ аз саддҳои гуногун. Азбаски мавҷи рӯшноӣ ба се кӯтоҳ аст, пас, кунчи майли рӯшноӣ (аз самти густариши ростхатта) низ калон нахоҳад буд. Бино бар ин барои ба вуҷуд овардани манзараи возеҳи дифраксия ё саддҳои бисёр хурдро истифода кардан зарур аст ё ин ки масофаи байни садди роҳи рӯшноиву пардаи намоишро ба қадри кофӣ дарозтар гирифтани мебояд. Чунончи, дар сурати тақрибан як метр будани масофаи байни садд ва пардаи намоиш андозаҳои садд аз садяки миллиметр набояд зиёд бошад. Вале агар масофаи байни садд ва парда чансад метр ё чанд километр бошад, садди андозаҳои чанд сантиметр ва ҳатто чанд метрро истифода кардан мумкин аст.

Дар рас.132 фотосуратҳои манзараҳои дифраксионӣ барои саддҳои зерин тасвир шудааст: *a* – сими борик, *b* – сӯроҳи гирд ва *c* – гирда (диск). Чунон ки мебинем, дар мавриди аввал ба ҷойи сояи сим чанд раҳи рӯшану тира пайдо мешавад; дар сурати дуюм дар маркази манзараи дифраксионии ҳосилкардаи сӯроҳи гирд як доғи тирагун ба вуҷуд меояду дар атрофаш – ҳалқаҳои сафеду сиёҳ (қутри сӯрохро тағйир дода, дар маркази тасвир доғи рӯшан ва дар атрофаш ҳалқаҳои сиёҳу сафед ҳосил кардан мумкин аст); дар сурати охирин дар маркази тасвири сояи гирда доғи рӯшане метобад, ки дар гирдаш ҳалқаҳои тирагунӣ ҳаммарказ дорад.

Рас.132.



Ҳадди татбиқпазирии оптикаи геометрӣ. Ҳама назарияҳои физикӣ рӯйдодҳои табииро танҳо тақрибан инъикос мекунанд. Ва барои ҳар гуна назария ҳудуди муъайяни татбиқпазир будан ё набудани он вучуд дорад. Дар ин ё он маврид қобили истифода будан ё набудани ин ё он назария ба он вобаста аст, ки аввалан, ин назария чӣ гуна дараҷаи дурустиро таъмин карда метавонад ва, сониян, ҳалли ин ё он масъалаи амалӣ чӣ гуна дараҷаи дурустӣ мебоҳад. Ҳадди татбиқи назарияро танҳо баъди бунёд сохтани назарияи умумитар муқаррар кардан мумкин аст, ки падидаҳои муойинашавандаро фаро бигирад.

Ҳамаи ин қоидаҳои умумӣ ба оптикаи геометрӣ низ таъаллуқ доранд. Ин назария назарияи тақрибист ва аз ин рӯ интерференс ва дифраксияи рӯшноиро шарҳ дода наметавонад. Назарияи умумитар ва айни ҳол дурусттар оптикаи мавҷист. *Қонуни рафти ростхаттаи рӯшноӣ ва қонунҳои дигари оптикаи геометрӣ танҳо дар сурате ба қадри кофӣ дуруст рӯйи мешаванд, ки андозаҳои садди роҳи рӯшноӣ назар ба дарозии мавҷи рӯшноӣ хеле зиёд бошад.* Валекин ин қонунҳо ҳеч гоҳ ба дурустӣ рӯйи намешаванд.

Амали асбобҳои оптикӣ бо қонунҳои оптикаи геометрӣ таъхис дода мешавад. Аз рӯйи ин қонунҳо мо чузъиёти чизи бо микроскоп (резбин) мушоҳида карданро, ҳар қадаре ки онҳо хурд набошанд, гӯё фарқ карда метавониста бошем; ҳамчунин, мувофиқи ин қонунҳо ба воситаи телескоп мавҷудияти ду чузъи ҳамон як қушаситораро, ҳар қадаре ки масофаи кунҷии байни онҳо кӯтоҳ набошад, гӯё муқаррар карда метавониста бошем. Вале дар асл чунин нест ва танҳо назарияи мавҷии рӯшноӣ имкон медиҳад бифаҳмем, ки сабаби маҳдуд будани тавони ҷудодиди асбобҳои оптикӣ дар чист.

Тавони ҷудодиди чизҳои хурд бо микроскоп ё телескоп. Табиъати мавҷии рӯшноӣ имкони бо микроскоп дидани чузъиёти ин ё он чиз ва чизҳои майдари маҳдуд мегардонад. Ба сабаби мавҷудияти дифраксия тасвири чузъиёти майда возеҳ намеояд, зеро дастаи дар микроскоп истифодашавандаи рӯшноӣ (мисли ҳар гуна дастаи дигари рӯшноӣ) на дақиқан ростхатта паҳн мешавад, балки канори ашёро камобеш давр ҳам мезанад. Ҳамин аст, ки тасвирҳо новозеҳ (ё худ диффузӣ)

меоянд. Агар тасвирҳои новозехи чӯзӣёти мушоҳида кардани як шаванд, ҳеҷ гуна дараҷаи калонкунӣ онҳоро намудор карда наметавонад. Ин ҳолат он гоҳ рӯй медиҳад, ки андозаҳои хаттии чизҳои мушоҳидашаванда назар ба дарозии мавҷи рӯшноӣ хурд бошанд.

Падидаи дифраксия қобилияти ҷудодиди телескопро низ маҳдуд мегардонад: тасвири ситора дар канорҳои қоби объективи телескоп на дар шакли нукта, балки дар шакли маҷмӯи халқаҳои рӯшану тира падида меояд. Ва дар сурати хурд будани масофаи кунҷии байни ду ситора ин халқаҳо рӯйиҳам меоянд ва чашми мо дида наметавонад, ки тасвир аз чанд (як ё ду) нукта иборат аст. Хурдтарин масофаи кунҷии байни ду нуктаи тобон бо нисбати дарозии мавҷи рӯшноӣ бар қутри объектив таъйин мешавад.

Ин мисол далел аст, ки дифраксия ҳамеша барои ҳама гуна садд вучуд дорад. Ва дар мушоҳидаҳои бисёр нозук онро барои саддҳои хам, ки андозаҳои назар ба дарозии мавҷ хеле зиёд аст, аз мадди назар дур доштан нодуруст мебуд.

* * * * *

Дифраксияи рӯшноӣ ҳадди таъбиқи оптикаи геометрӣ таъйин мекунад, ҳосияти саддҳои давр задани рӯшноӣ, қобилияти ҷудо-ҷудо дидани чизҳои хурдро ба воситаи муҳимтарин асбобҳои оптикӣ – микроскоп ва телескоп маҳдуд мегардонад.



1. Сабаб чист, ки бо микроскоп атомро дидан имкон надорад?

2. Қоидаи Хйўйгенс–Френелро таъриф диҳед.

3. Бикӯшед, ки падидаи дифраксияро дар ягон таҷриба, масалан, дар таҷрибаи таҷрибаи Йунг мушоҳида кунед.

4. Қонунҳои оптикаи геометрӣ дар кадом мавридҳо дурустанд?

§ 50. Панҷараи дифраксионӣ (шабакаи пароиш)

Падидаи дифраксия дар асбоби бисёр аҷиби оптикӣ – панҷараи дифраксионӣ истифода мешавад.

Панҷараи дифраксионӣ асбобест иборат аз адади зиёди роғҳои танге, ки аз якдигар бо фосилаҳои ношаффоф ҷудоанд (рас.133). Панҷараи хубро ба воситаи мошини махсусе месозанд, ки он лавҳаи шишагинро роғ-роғ мекунад. Адади