

роғҳо дар ҳар миллиметр то ба чанд ҳазор расида метавонад; адади умумии роғҳо дар як панҷара одатан беш аз 100 000 аст.

Панҷараи содаро маъмулан аз желатин месозанд. Барои ин дар рӯи панҷараи хуб желатин давонда, аз он нусха мебардоранд ва онро дар байни ду лавҳаи шишагин мегиранд. Аммо беҳтарин панҷара панҷараи инъикоскунанда мебошад, ки аз тасмаҳои паёпайи инъикоскунандаву пароканандаи рӯшноӣ иборат аст. Роғҳои рӯшнопароканандаро ба воситаи ранда дар лавҳаи филизӣ (металлӣ)-и сайқалӣ «мекананд».

Агар бари роғҳои шаффоф (ϵ тасмаҳои инъикоскунанда) ба a ва бари фосилаҳои ношаффоф (ϵ' тасмаҳои рӯшнопарокананда) ба b баробар бошад, бузургии $d = a + b$ даври панҷараро ифода мекунад.

Биёед чузъиёти асосии назарияи содатарини панҷараи дифраксиониро бинем. Бигзор ба панҷара мавҷи якранг (монохроматӣ)-и ҳамвори дарозиаш λ бизанад (рас.134). Манбаъҳои сонавӣ дар роғҳо мавҷҳое ба вучуд меоранд, ки онҳо ҳар сӯ паҳн мешаванд. Мавридиро муойина мекунем, ки ин мавҷҳо якдигарро тақвият диҳанд. Барои ин мавҷҳоеро мегирем, ки таҳти кунҷи φ паҳн мегарданд. Фарқи роғҳои мавҷҳои канорӣ роғҳои ҳамсоя ба дарозии порчаи AC баробар аст. Агар дар ин порча адади томи дарозии мавҷ гунҷад, он гоҳ мавҷҳои ҳама роғҳо ҳамъ шуда, якдигарро тақвият медиҳанд. Дарозии порчаи AC-ро аз секунҷаи ACB ёфта мумкин аст:

$$AC = AB \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

Максимумҳо таҳти кунҷҳое (φ) мушоҳида мешаванд, ки барои онҳо шартӣ зайл риоя шавад:

$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (5.13)$$

Дар назар доштан зарур аст, ки дар сурати риоя шудани шартӣ (5.13) на танҳо мавҷҳое зӯр мегиранд, ки аз канорҳои поёнии роғҳо (аз рӯи расм) мебароянд, балки мавҷҳои аз ҳамаи нуқтаҳои дигари роғҳо оянда низ якдигарро қувват мебахшанд. Ба ҳар нуқтаи роғи якум дар роғи дуюм нуқтае рост меояд, ки масофааш аз нуқтаи якум d аст. Бино бар ин фарқи роғҳои мавҷҳои сонавӣ афкандаи ин нуқтаҳо $k\lambda$

мебошад ва онҳо ҳамдигарро зӯр мебахшанд.

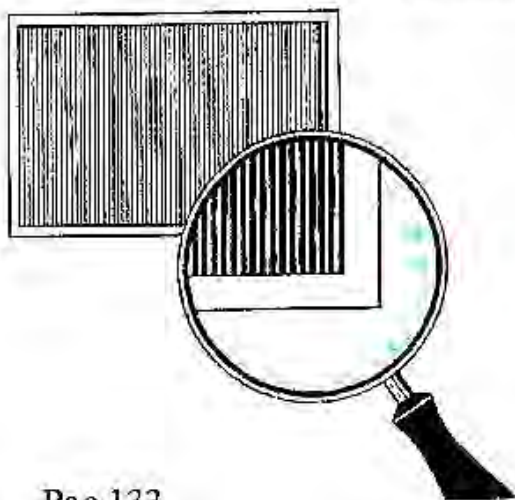
Дар паси панчара линзаи ҷамъоваранда ва дар ҳамвори конунии он пардаи намоиш мегузorem.

Линза шуоъҳои мувозӣ (шуоъҳои параллелӣ)-ро дар як нукта ҷамъ меоварад. Мавҷҳо маҳз дар ҳамин нукта ҷамъ омада, ҳамдигарро тақвият медиҳанд. Кунҷе (φ), ки шартӣ (5.13)-ро қонеъ мегардонад, мавқеи максимумҳоро дар пардаи намоиш таъин мекунад.

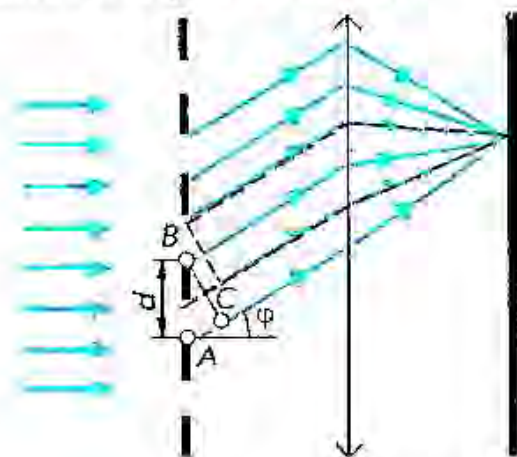
Азбаски мавқеи максимумҳо (ғайр аз максими марказӣ, ки барояш $k=0$ аст) ба дарозии мавҷ бастагӣ дорад, пас, панчара рӯшноии сафедро таҷзия (ҷузъ-ҷузъ) мекунад, яъне онро ба ҷузъҳои таркибӣ тақсим мекунад (ниг. варақаи ранга, рас. IV, 1). Ҳар қадре ки λ зиёд бошад, ин ё он максимуми мутобиқ ба ин ё он қимати λ аз максими марказӣ ҳамон қадр дуртар ҷой мегирад (ниг. варақаи ранга, рас. IV, 2, 3). Барои ҳар як қимати k тайф (спектр)-и ба худ хос пайдо мешавад.

Дар байни максимумҳои равшанӣ воқеъ мегарданд. Ҳар қадре ки адади роғҳо зиёд бошад, максимумҳо ҳамон қадр рӯшантар ва минимумҳои байни онҳо ҳамон қадр васеътар меоянд. Энергияи рӯшноии ба панчара зананда дар он тавре тақсим мешавад, ки қариб ҳамаи он ба максимумҳо рост меояд (ба соҳаҳои минимумҳо бошад, ҳиссаи бағоят камии энергия мерасад).

Ба воситаи панчараи дифраксионӣ дарозии мавҷро ба седиқ чен кардан мумкин аст. Агар даври панчара маълум бошад, муайян кардани дарозии мавҷ аз чен кардани кунҷи φ -и мутобиқ ба самти максимуми муойинашаванда иборат мешавад.



Рас.133.



Рас.134.

Мижаҳои мо низ то дараҷае панҷараи дифраксионӣ будан метавонанд: агар мо чашми худро нимпӯш карда, сӯйи манбаи дурахшони рӯшноӣ нигарем, рангҳои рангинкамон ба назарамон мерасад, зеро рӯшноии сафед дар натиҷаи дар мӯйҳои милки чашм дифраксия шудан ба рангҳо чудо мешавад. Сафҳаи дербози граммафон бо «чӯяк»-ҳои рӯяш, ки ба ҳамдигар бисёр наздиканд, ба панҷараи дифраксионии инъикоскунанда монандӣ дорад. Рӯшноии аз ин гуна панҷара инъикосгаштаи, масалан, чароғи электрикӣ низ ба рангҳо чудо мешавад. Бо ин асбоб якбора чанд тайф (спектр)-и ба қиматҳои гуногуни k мутобиқро мушоҳида кардан мумкин аст. Ин манзара дар сурате возеҳ меояд, ки рӯшноии чароғ ба сатҳи сафҳа (пластина) таҳти кунҷи калон бизанад.



Маҷмӯи роғҳои начандон дур аз якдигар бо низоми муъайян воқеъгашта *панҷараи дифраксионӣ* (ё худ *шабакаи парои*) ном асбоби оптикӣ мебошад, ки он рӯшноиро таҷзия карда метавонад. Панҷараи дифраксионӣ имкон медиҳад, ки дарозии мавҷҳои рӯшноӣ ба се дақиқ чен карда шавад.



1. Оё мавҷҳои максимумҳои ҳосилкардаи панҷараи дифраксионӣ ба адади роғҳои он вобастагӣ дорад?
2. Агар шумо аз тариқи пари кабки дари ё пари мурғ сӯйи чароғи электрикӣ фурузон нигаред, чӣ мебинед?
3. Тайфҳо (спектрҳо)-и ҳосилкардаи манишур (призма) аз тайфҳои дифраксионӣ чӣ фарқ доранд?

851. Аринати мавҷҳои рӯшноӣ

Кӯтубонҳои мавҷҳои рӯшноӣ

Падидҳои интерференс ва дифраксия, бешак, далеланд, ки рӯшноӣ хосиятҳои мавҷӣ зоҳир мекунад. Аммо инҳо чӣ гуна мавҷанд – арзи ё тӯлӣ?

Бунёдгузори оптикаи мавҷӣ Йунг ва Френел муддати дуру дароз мавҷҳои рӯшноиро мавҷи тӯлӣ (яъне монои мавҷҳои садо) мепиндоштанд. Он вақтҳо мавҷҳои рӯшноиро чун мавҷҳои чандире муойина мекарданд, ки гӯё дар *эфир* ном муҳити фарзӣ

пахн мешуда бошанд ва гӯё он эфир тамоми фазоро пур карда, ба даруни ҳама ҷисмҳо нуфуз карда метавониста бошад. Тавре ба назар мерасид, ки ин гуна мавҷҳо арзӣ буда наметавонанд, зеро мавҷҳои арзӣ танҳо дар ҷисми сахт вучуд дошта метавонанд, вале рӯшан набуд, ки ҷисмҳо дар эфири сахт чӣ тавр муковимат нодида ҳаракат мекарда бошанд. Охир эфир набояд ҳаракати ҷисмҳоро монеъ шавад!? Дар акси ҳол қонуни инерсия (дурусташ: *инертиа*, яъне *шастии ҳаракат*) риёоя намешуд.

Лекин оҳиста-оҳиста шумораи далелҳои таҷрибавие меафзуд, ки онҳоро дар заминаи ақидаи тӯлӣ будани мавҷҳои рӯшноӣ шарҳ додан имкон надошт.

Таҷрибаҳо бо каҳрабҳои асл (турмалин). Мо муфассалан танҳо таҷрибаеро муойина мекунем, ки бисе сода, вале бағоят ҷолиб аст. Ин таҷрибаест бо *каҳрабҳои асл* ном булӯр (криталл)-и шаффофи сабзранг. Ин булӯр меҳвари симметрия дорад ва ба гурӯҳи булӯрҳои ба истилоҳ якмеҳвара дохил мешавад. Аз ин булӯр як лавҳаи росткунҷаро тавре мебузем, ки як тарафи он ба меҳвари булӯр мувозӣ (параллел) ояд. Агар дастаи рӯшноии Офтоб ё ҷароғи электрикиро амудан ба сатҳи ин лавҳа равона созем ва лавҳаро гирди меҳвари дастаи рӯшноӣ гардиш диҳем, шиддати дастаи аз лавҳа гузаштаи рӯшноӣ тамоман тағйир намеёбад (рас.135). Метавон гумон бурд, ки рӯшноӣ дар каҳрабо танҳо қисман фуру бурда шуда, ранги сабзтоб гирифтааст ва дигар ҷизе рӯй надодааст. Аммо воқеъият на чунин аст, балки гуфтан мумкин аст, ки мавҷи рӯшноӣ ҳосиятҳои нав гирифтааст.

Ин ҳосиятҳоро дар сурате метавон ошкор сохт, ки дастаи рӯшноии аз лавҳаи каҳрабо гузаштаро ба ҳамин гуна лавҳаи дигаре, ки ба лавҳаи яқум мувозӣ аст, равона созем (рас.136,*а*). Дар сурати ҳамсамт будани меҳварҳои булӯрҳо боз ҳам ягон ҷизи аҷиб мушоҳида намешавад: дастаи рӯшноӣ дар натиҷаи дар лавҳаи дуюм фуру рафтани боз қадре сустант мешаваду бас. Вале агар булӯри яқумро қарор монда, булӯри дуюмро гардиш диҳем (рас.136,*б*), хомӯшшуди ҳайратангезе мушоҳида мешавад: ба қадри афзоиши кунҷи байни меҳварҳои булӯрҳо шиддати рӯшноӣ кам мешавад ва вақте ки меҳварҳо нисбат ба якдигар мавқеъи амудӣ бигиранд, рӯшноӣ аз булӯри дуюм

тамоман гузашта наметавонад (рас.136,в), зеро булӯри дуҷум онро комилан фуру мебарад. Сабаби ин дар чист? Инро чӣ шарҳ додан мумкин аст?

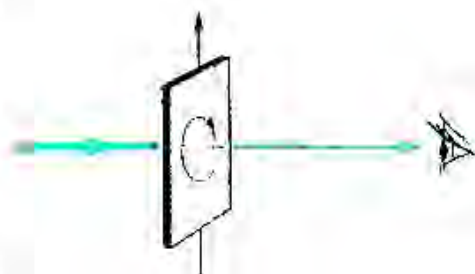
Арзияти мавҷҳои рӯшноӣ. Аз таҷрибаҳои муойинашуда ду хулоса сар мезанад: аввалан, мавҷи рӯшноии аз манбаъ оянда нисбат ба самти рафти худ ба кулли симметрии мебошад (дар таҷрибаи якум ҳангоми гардиш додани булӯр шиддати рӯшноии гузашта тағйир намеёбад), ва, сониян, мавҷи аз булӯри якум хориҷшуда симметрияи меҳварӣ надорад, зеро шиддати рӯшноии аз булӯри дуҷум гузаранда вобаста ба кунҷи гардиши ин булӯр нисбат ба меҳвари шуоъ ин ё он бузургӣ хоҳад дошт.

Мавҷҳои тӯлӣ нисбат ба самти рафти худ симметрияи комил доранд (мавҷҳо ба қадди ҳамин самт ларзиш меҳӯранд ва меҳвари симметрияи мавҷ дар ҳамин самт меҳобад). Бино бар ин агар мавҷи рӯшноиро мавҷи тӯлӣ пиндорем, таҷрибаи гардиш додани булӯри дуҷумро маънидод кардан илоч намедошт.

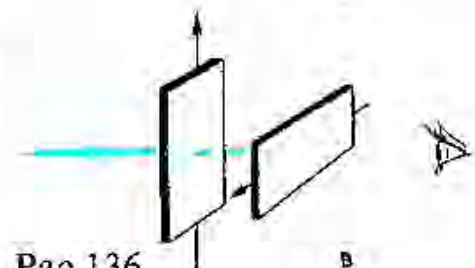
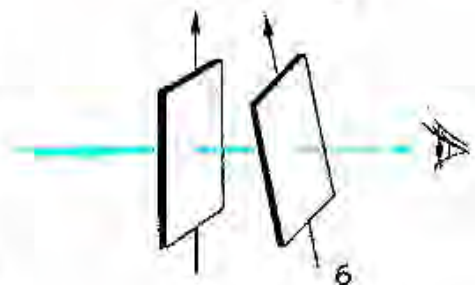
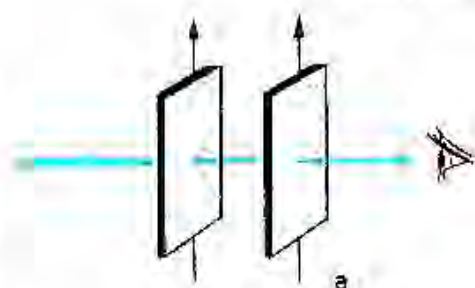
Таҷрибаро дар заминаи ду фарз шарҳи қаноъатбахш додан мумкин аст.

Фарзи аввал ба худӣ рӯшноӣ алоқаманд аст. *Мавҷи рӯшноӣ мавҷи арзӣ мебошад. Аммо дар дастаи рӯшноии афкандаи манбаъи муқаррарӣ ларзишҳои ҳамасамтае мавҷуданд, ки нисбат ба самти рафти мавҷҳо амудӣанд (рас.137).*

Ба ин фарз мавҷи рӯшноӣ симметрияи меҳварӣ дорад ва дар айнаи ҳол арзӣ аст. Мавҷҳои рӯйи об, масалан, ин гуна симметрия надоранд, зеро зарраҳои об танҳо дар самти амудӣ ҷунбиш меҳӯранд.



Рас.135.



Рас.136.

Рас.137.



Мавчи рӯшноии ларзишҳояш ҳамасамтаеро, ки ба самти рафти мавҷ амудӣ мебошанд, *мавҷи табиӣ* мегӯянд. Ин ном сахҳ аст, зеро дар шароити муқаррарӣ манбаъҳои рӯшноӣ маҳз ҳамин гуна мавҷ меафкананд. Ин фарз натиҷаи таҷрибаи якумро шарҳ

дода метавонад. Гардиши булӯри каҳрабо шиддати рӯшноии аз он гузаштаре тағйир намедихад, зеро мавҷи ба он зананда (бо вучуди арзӣ будан) симметрияи меҳварӣ дорад.

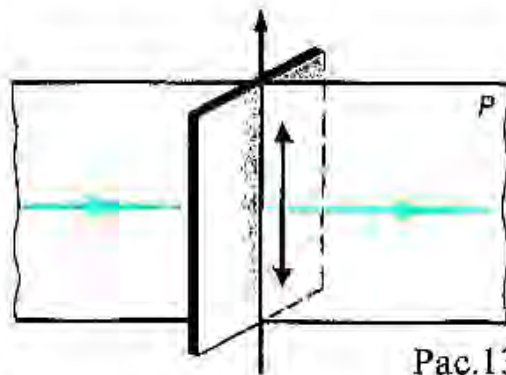
Фарзи дуюме, ки ин ҷо зарурат дорад, ба булӯр таъаллуқдор аст. Булӯри каҳрабо (*турмалин*) қобилияти дорад, ки мавҷҳои рӯшноии ларзишҳояш танҳо дар ҳамвории муъайян хобидаро аз худ мегузаронад (ин ҳамворӣ дар рас.138 бо Ришорат шудааст). Ин гуна рӯшноиро бар хилофи рӯшноии табиӣ *рӯшноии қутбишуда* (поларизатсияшуда) ё, сахҳтараш, *рӯшноии қутбида* (*ҳамворполаризатсия*) номидан мумкин аст¹. Аз ин нуқтаи назар *рӯшноии табиӣ*ро *рӯшноии ноқутбида* номидан низ мумкин аст. Ин фарз натиҷаи таҷрибаи дуюмро ба хубӣ маънидод мекунад. Аз булӯри якум мавҷи қутбида бармеомад. Дар сурати 90° будани кунҷи байни меҳварҳои булӯрҳо рӯшноӣ аз булӯри дуюм намегузарад.

Агар ин кунҷ аз 90° фарқ дошта бошад, аз булӯри дуюм танҳо ларзишҳое мегузаранд, ки доманашон баробар аст ба соя-тасвир (проексия)-и дар самти меҳвари булӯри дуюм афкандаи доманаи мавҷи убуркардаи булӯри якум. Пас, булӯри каҳрабон асл рӯшноиро қутбӣ (сахҳтараш: ҳамворқутбӣ) мекунад.

Модели механикии чанд таҷриба бо каҳрабон асл. Модели механикии содаву аёнии ин падида сохтан мушкул нест. Дар таноби резинӣ тавре мавҷи арзӣ ба вучуд овардан мумкин аст, ки ларзишҳои он самти худро дар фазо зуд тағйир дода тавонанд. Ин мушобеҳи мавҷи рӯшноии табиӣ аст. Акнун танобро аз қуттии ҷубини тунуке мегузаронем (рас.139). Ин қуттӣ аз

¹Эзоҳ. Ин ҷо сифатҳои «қутбида», «қутбишуда» ва «поларизатсияшуда» ҳамон як маънӣ доранд; монанди ҳамин, мафҳумҳои «рӯшноии табиӣ» ва «рӯшноии ноқутбида» ё «рӯшноии қутбишуда» як мазмун доранд. (С.Қ.).

ларзишҳои ҳамасамта ларзишҳои дар ҳамвори муъайян рӯйдихандаро «чудо» мекунад, яъне аз куттӣ мавҷи кутбида берун меояд. Ва агар дар роҳи ин мавҷ айнаи ҳамин гуна куттии дигаре бигзорему онро нисбат ба куттии якум 90° гардонем, ларзишҳо (мавҷҳои таноб) аз он намегузаранд: мавҷ хомӯш мешавад.



Рас.138.

Нурполо ё мавҷполо (полароид). Хосияти кутбиятдихандагӣ танҳо хоси булӯрҳои каҳрабо нааст. **Нурполо ё мавҷполо** ном парда низ ин гуна хосият дорад. Нурполо пардаи тунук, пардаи тақрибан 0,1-миллиметраи булӯри ҳерапатитӣ (herapathite) аст, ки дар сатҳи селулоид ё шиша давонда шудааст. Таҷрибаҳои муойинашударо бо нурполо низ анҷом додан мумкин мумкин аст. Бартари нурполо ин аст, ки ба воситаи он сатҳҳои васеи рӯшнокутбиятдиханда созидаи душвор нест (мутаассифона, нурполо камбудӣ низ доранд, ки рӯшноии сафедро тобиши бунафшранг медиҳанд – ин номатлуб аст).

* * * * *

Таҷрибаҳои сершумор нишон дод, ки мавҷҳои рӯшноӣ арзианд. Дар мавҷи кутбида (кутбишуда)-и рӯшноӣ ларзишҳо дар як самти муъайян рӯй медиҳанд.

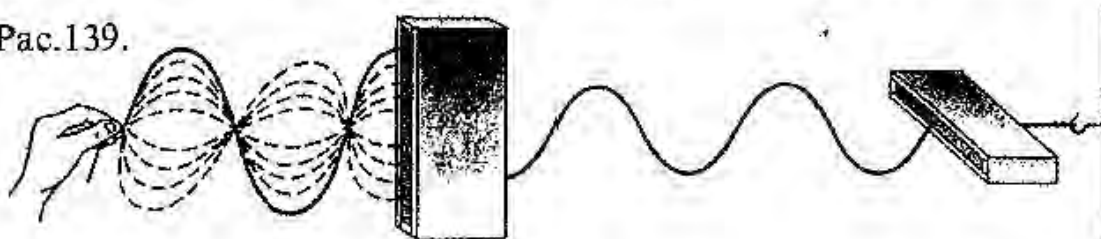


Рӯшноии табиӣ аз рӯшноии кутбида (порализасияшуда) чи тафовут дорад?

§52. Арзиати мавҷҳои рӯшноӣ ва назарияи электромагнитии рӯшноӣ

Назарияи электромагнитии рӯшноӣ аз ҷӯшиҳои Максвел оғоз шудааст. Максвел ба таври соф назарӣ исбот кард, ки мавҷҳои

Рас.139.



электромагнитӣ мавҷҳои арзианд. Ҷ инчунин дарёфт, ки суръати густариши ин мавҷҳо дар вакуум (холо) бояд баробари суръати рӯшноӣ (ки то он дам чен шуда буд) бошад.

Бунёди назарияи электромагнитиро он далели собитшуда ташкил медиҳад, ки суръати густариши мавҷҳои электромагнитӣ ҳамчени суръати вакуумии рӯшноист. Ғайр аз ин мувофиқи назарияи Максвелл мавҷҳои электромагнитӣ мавҷҳои арзианд. То замони дар бораи арзияти мавҷҳои электромагнитӣ хулоса гирифтани Максвелл арзияти мавҷҳои рӯшноӣ дар таҷриба ба исбот расида буд. Бино бар ин Максвелл ҳақ буд, ки арзияти мавҷҳои электромагнитиро яке аз муҳимтарин далелҳои дурустии назарияи электромагнитии рӯшноӣ мепиндошт.

Пас аз он ки Ҳерц мавҷҳои электромагнитиро бо роҳи таҷрибавӣ ба вуҷуд овард ва суръати густариши онҳоро чен кард, назарияи электромагнитии рӯшноӣ аввалин тасдиқи таҷрибавии худро ёфт. Исбот шуд, ки мавҷҳои электромагнитӣ низ ҳангоми густариш ёфтани маҳз ҳамон хусусиятҳоеро зоҳир мекунанд, ки онҳо хоси мавҷҳои рӯшноӣ мебошанд: мавҷҳои электромагнитӣ инъикос мешаванд, мешикананд, интерференс мешаванд, қутбӣ (поларизатсия) мешаванд ва ғ. (ниг. §35). Охири а.ХІХ ба таври боварибахш муқаррар шуд, ки мавҷҳои рӯшноиро зарраҳои дарҳаракати атомӣ ба вуҷуд меоваранд.

Эътироф шудани назарияи электромагнитии рӯшноӣ ҳама душвориҳоеро, ки бо зарурати истифода шудани муҳити фарзӣ – эфир (онро чун қисми саҳт пиндоштан лозим меомад) алоқаманд буданд, аз миён бурд. Мавҷҳои рӯшноӣ на мавҷҳои механикӣанд, ки гӯё дар муҳити маҳсуси ба ҳама чиз нуфузкунанда – эфир паҳн мешаванд; не, онҳо мавҷҳои электромагнитӣанд. Рӯйдодҳои электромагнитӣ бошанд, на тобеъи қонуниятҳои механикӣанд, балки қонунҳои ба худ хосдоранд. Максвелл маҳз ҳамин қонунҳоро шакли матлуб дод. Дар мавҷи электромагнитӣ, векторҳои E ва B нисбат ба якдигар амудан равонанд (ниг. боби 4). Дар рӯшноии табиӣ ларзишҳои шиддати майдони электрикӣ E ва индуксияи магнитӣ (яъне илқои магнитӣ)-и B дар ҳама самтҳои нисбат

ба рафти мавҷ амудӣ рӯй медиҳанд. Агар рӯшноӣ кутбӣ шуда бошад, ларзиши чӣ E ва чӣ B на дар ҳама самтҳо, балки дар ду ҳамвории муъайян рӯй медиҳад. Мавҷи электромагнитии дар рас.65 тасвиршуда мавҷи кутбида (кутбишуда) аст.

Ин гуна пурсиш табиист: вакте ки дар бораи самти ларзишҳои дар мавҷи рӯшноӣ рӯйдиханда сухан мерафт, мо умуман ларзишҳои кадом вектор (E ё B)-ро дар назар дошта будем? Таҷрибаҳои махсус нишон дод, ки ба шабакияти чашм ё фотоэмулсия маҳз майдони электрикии мавҷи рӯшноӣ таъсир меоварад. Бино бар ин ба сифати самти ларзишҳои дар мавҷи рӯшноӣ рӯйдиханда самти вектори шиддати майдони электрикӣ пазируфта шудааст.

* * * * *

Кашфи назарияи электромагнитии рӯшноӣ яке аз кашфҳои камшумори «зодаи нӯки қалам», яъне кашфиёти назарӣ мебошад. Аммо ба дурустии назарияи электромагнитӣ он гоҳ эътимод пайдо гашт, ки вай тасдиқи таҷрибавӣ ёфт.

Намунаи ҳалли масъалаҳо

1. Дар таҷрибаи Йунг (дар боби дифраксия) фосилаи байни роғҳо $d=0,07$ мм асту масофаи байни пардаи дусӯроҳа то пардаи намоиш (экран) $D=2$ м. Дар сурати бо нури сабз нурборон кардани пардаи дусӯроҳа рахҳои дифраксионии ҳамсоя дар масофаи $\Delta h = 16$ мм дур аз якдигар пайдо шуданд. Дарозии мавҷҳои рӯшноии ба парда зананда чӣ қадар будааст?

Ҳал. Дар ягон нуқтаи экран (рас.140), масалан, дар нуқтаи C он гоҳ максимуми равшанӣ мушоҳида мешавад, ки шарти зайл ба ҷо ояд:

$$d_2 - d_1 = k\lambda,$$

ки ин ҷо k ($=0, 1, 2, \dots$) адади том аст.

Қазийя (теорема)-и Пифагорро барои секунҷаҳои S_1CE ва S_2CB татбиқ мекунем:

$$d_2^2 = D^2 + \left(h_k + \frac{d}{2}\right)^2,$$

$$d_1^2 = D^2 + \left(h_k - \frac{d}{2}\right)^2.$$

Аз баробарии якум баробарии дуюмро узв ба узв тарҳ карда, ин хел хулоса мегирем:

$$d_2^2 - d_1^2 = 2h_k d$$

ё ин ки

$$(d_1 + d_2)(d_2 - d_1) = 2h_k d$$

Азбаски $d \ll D$ аст, пас, $d_1 + d_2 \approx 2D$ хоҳад буд. Бино бар ин

$$d_2 - d_1 \approx \frac{h_k d}{D}$$

мебошад. Азбаски $d_2 - d_1 = k\lambda$ аст,

пас,

$$k\lambda \approx \frac{h_k d}{D}$$

хоҳад буд, ки аз ин чо масофаи рахи рӯшани k -умро то маркази экран ёфта мумкин аст:

$$h_k \approx \frac{k\lambda D}{d}$$

Масофаи байни рахҳои ҳамсоя ин қадар меояд:

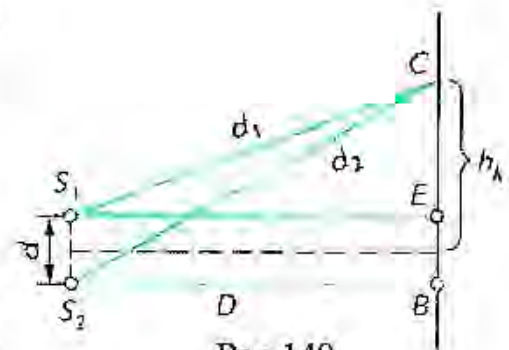
$$\Delta h = h_{k+1} - h_k \approx \frac{\lambda D}{d}$$

Дарозии мавҷи матлуб аз ҳамин чо ёфта мешавад:

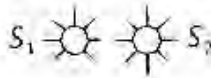
$$\lambda \approx \frac{d\Delta h}{D} \approx 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ см}$$

2. Мавҷи якранг (мавҷи монохроматӣ)-и ҳамвори дарознаш $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-5}$ см ба панҷараи дифраксионие мезанад, ки дар ҳар миллиметр 500 роғдорад. Тартиби зиёдтарини тайф (спектр) k -ро барои мавриде ёбед, ки рӯшноӣ ба панҷара амудан бизанад.

Ҳал. Ба зиёдтарин қимати k бузургии $\sin \varphi = 1$ рост меояд



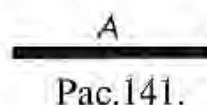
Рас.140.

(ниг. формулаи 5.13). Пас, $k = \frac{d}{\lambda} = 4$ 

мебошад.

Мавҷи 6

1. Ду манбаи чӯрфаз (когерентӣ)-и S_1 ва S_2 , ки масофаи байнашон $d=0,3$ см аст, рӯшноии дарозии мавҷаш $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ см меафкананд. Масофаи байни манбаъҳо то пардаи намоиш (экран) 9 м аст. Дар нуктаи А-и экран чӣ гуна доғ ба вуҷуд меояд – доғи рӯшан ё тира? (Ниг. рас. 141).



2. Манзараи тақрибии рахҳои интерференсиеро тасвир созед, ки дар пардаи собунии фарогирифтаи қоби сегӯша пайдо мешавад. Қоби пардадор мавҷеи амудӣ дорад (рас.142).

3. Васеъ кардани сӯрохи рафти рӯшноӣ дар пардаи намоиш (экран) боиси кам шудани равшании нуктаи марказии даста гардида метавонад. Инро бо қонуни бақои энергия чӣ тавр мутобиқат додан мумкин аст? (Дар сурати васеъ кардани сӯрох то ба экран миқдори бештари энергия расида метавонад).

4. Амудан ба панҷараи дифраксионии даврш $d = 1,2 \cdot 10^{-3}$ см мавҷи якранг мезанад. Кунчи байни тайфҳо (спектрҳо)-и тартиби дуум ва сеюмро $\Delta\varphi = 2^{\circ}30'$ гирифта, дарозии мавҷро ёбед.

Шиканиши суръати рӯшноӣ

1. Суръати рӯшноӣ дар вакуум (хало) ба таври таҷрибавӣ ёфта (чен карда) шудааст. Ин суръат тақрибан 300 000 км/с баромад. Суръати рӯшноӣ дар ҳама муҳитҳо назар ба вакуум кам аст.

2. Шикасти рӯшноӣ дар сарҳадди ду муҳит натиҷаи он аст, ки хангоми аз як муҳит ба муҳити дигар гузаштани рӯшноӣ суръати он тағйир меёбад. Қобилияти шуоъшикании нисбии ду муҳит ба нисбати суръати рӯшноӣ дар ин муҳитҳо баробар аст.

3. Қобилияти шуоъшиканиӣ ба ранги рӯшноии шикананда бастагӣ дорад (инро бори нахуст Нйутон дарк кардааст). Ранги

рӯшноӣ бошад, ба басомади ларзиш (ё дарозии мавҷ) вобаста аст. Вобастагии қобилияти шуоъшикании муҳит ба басомад *дисперсия* ном гирифтааст. Дисперсия боиси он мегардад, ки маншур (призма) рӯшноӣ сафедро таҷзия мекунад, яъне онро ба рангҳои таркибиаш ҷудо мекунад. Суръат ва дарозии мавҷи рӯшноӣ дар сурати аз вакуум ба ин ё он муҳит гузаштани он кам мешавад, вале басомади ларзиш дар ин маврид собит мемонад.

4. Мавҷҳои ҳамдарозии рӯшноӣ дар сурати собит (дойимӣ) будани фарқи фазҳои *мавҷҳои ҷӯрфаз* (мавҷҳои когерентӣ) номида шудаанд. Дар сурати баҳам омадан (зам шудан)-и мавҷҳои ҷӯрфаз падидаи интерференси рӯшноӣ мушоҳида мешавад. Мавҷҳои замшаванда вобаста ба фарқи роҳҳои рафташон ҳамдигарро тақвият медиҳанд ё маҳв мекунанд. Мавҷҳои ҷӯрфаз дар натиҷаи аз ҳарду сатҳи пардаи тунук инъикос гардидани мавҷҳои рӯшноӣ ба вуҷуд меоянд. Азбаски фарқи фазҳои ларзиши мавҷҳои интерференскунанда на танҳо ба ғафсии парда, балки инчунин ба дарозии мавҷ низ бастагӣ дорад, пас, дар сурати бо нури сафед рӯшан гардонидани парда манзараи рангаи интерференсия ба вуҷуд меояд.

5. Мавҷҳои рӯшноӣ садҳои андозаҳои бо дарозии мавҷ қобилии муқоисаро давр зада метавонанд – ин моҳияти падидаи дифраксияро ташкил медиҳад. Мушоҳидаи дифраксия ба сабаби ба ғоят кӯтоҳмавҷ будани мавҷҳои рӯшноӣ мушкилиҳо дорад ва олотӣ махсус мебошад. Мавҷудияти дифраксияи рӯшноӣ қобилияти бо микроскоп, телескоп ва асбобҳои дигари оптикӣ ҷудо-ҷудо дидани ҷизҳои хурд (ҷизҳои рез)-ро маҳдуд мегардонад.

6. Қонунҳои оптикаи геометрӣ дар сурати назар ба дарозии мавҷҳои рӯшноӣ зиёд будани андозаҳои садди сари роҳи рӯшноӣ танҳо тақрибан риёя мешаванд.

7. Падидаи дифраксия дар панҷараи дифраксионӣ ном асбобе истифода мешавад, ки он аз маҷмӯи роҳҳои сершумори бо тартиби муайян воқеъшуда иборат мебошад. Қимати кунҷҳоеро (φ), ҷи самтҳои максимумҳои дифраксионии тайф (спектр)-и ба воситаи панҷара ҳосилшударо нишон медиҳанд, аз баробарии

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots - \text{даври панчара})$$

ёфтан мумкин аст.

Панчара нури сафедро ба рангҳо ҷудо (яъне таҷзия) мекунад. Ба воситаи панчара дарозии мавҷҳои рӯшноиро чен кардан осон аст.

8. Мавҷҳои рӯшноӣ мавҷҳои арзианд. Инро мушоҳидаи падидаи аз тариқи муҳитҳои анизотропӣ – булӯрҳо (кристаллҳо) гузаштани рӯшноӣ тасдиқ кард. Мавҷро аз мавҷҳои рӯшноӣ, ки дар он ларзишҳо дар ҳамвории муъайян рӯй медиҳанд, мавҷи қутбида (қутбишуда, поларизатсияшуда) меноманд. Рӯшноии зодаи манбаъҳои табиӣ рӯшноии қутбида нест. Дар мавҷи рӯшноӣ ларзиши вектори шиддати майдони электрикӣ E ва вектори индуксияи магнитӣ (яъне илқои магнитӣ) B ба ҳамма самтҳо дар ҳамворие рӯй медиҳанд, ки он амудан ба рафти мавҷ воқеъ аст.

9. Мавҷҳои рӯшноӣ мавҷҳои арзӣ мебошанд. Исботи таҷрибавии арзияти мавҷҳои рӯшноӣ марҳалаи муҳиме буд дар роҳи этироф шудани назарияи электромагнитии рӯшноӣ.



Пеширафти электродинамика муҳаққиқонро водор сохт, ки ба зминаи тасаввуроти мавҷуда дар бораи вақту фазо назари нав андозанд.

Мувофиқи тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо, ки асрҳо пойдор доништа мешуданд, ҳаракат ба ҷараёни вақт гӯё таъсире надорад (мазмун: вақт мутлақ аст) ва андозаи хаттии ҳар гуна ҷисм гӯё ба он вобастагӣ надорад ки ҷисм қарор аст ё ҳаракат мекунад (мазмун: дарозӣ мутлақ аст).

Назарияи махсуси нисбияти Эйнштейн таълимоти навест дар бораи вақту фазо, ки ба ҷойи тасаввуроти кӯҳна, яъне ба ҷойи тасаввуроти классикӣ ба майдон омадааст.

§5.5 Барои нуҳи электродинамика ва қондани аслии Галилей (принсипи илҳоби)

Пас, аз бунёди электродинамика ба дурустии қоидаи нисбияти Галилей дар рӯйдодҳои электромагнитӣ шакку шубҳа ба миён омад.

Қоидаи аслии нисбият дар механика ва электродинамика. Баъди он ки дар нимаи дуҷуми а.ХИХ Максвел қонунҳои асосии электродинамикаро таъриф дод, пурсиш ба миён омад, ки қоидаи аслии нисбият (ки барои падидаҳои механикӣ дуруст аст) барои падидаҳои электромагнитӣ низ қобили истифода ҳаст ё не. Ба иборати дигар, оё рӯйдодҳои электромагнитӣ, яъне таъсири мутақобили зарраҳои барқаманд (электрон) ва ҷараёнҳо, падидаи индуксияи электромагнитӣ, густариши мавҷҳои электромагнитӣ ва ғ. дар ҳама системаҳои шастии сарҳисоб (ё худ системаҳои инерсиалии сарҳисоб) як хел ҷараён мегиранд? Ё шояд, ҳаракати ростхаттаи мунтазам, ки дар падидаҳои механикӣ асаре надорад, ба ҷараёни рӯйдодҳои

электромагнитӣ ягон навъ асар дошта бошад?

Барои ба ин пурсиш посух додан рӯшан кардан зарур буд, ки оё қонунҳои асосии электродинамика дар сурати аз як системаи шастӣ ба ҳамин гуна системаи дигар гузаштан тағйир меёбанд ё мисли қонунҳои Нютон барқой мемонанд. Танҳо дар мавриди охирин мо метавонем, ки дурустии қоидаи нисбиятро дар рӯйдодҳои электромагнитӣ бе ҳеҷ шакъ эътироф кунем ва қоидаи мазкурро чун қонуни умумии табиӣ бупазирем.

Қонунҳои электродинамика мураккабанд ва ҳалли ҷиддии ин масъала кори осон нест. Лекин мулоҳизаҳои сода гӯё имкон медиҳад, ки ба ин пурсиш посухи дуруст ёбем. Аз рӯйи қонунҳои электродинамика суръати рафти мавҷҳои электромагнитӣ дар вакуум (хало) дар ҳама самтҳо як хела – $c=3 \cdot 10^8$ см аст. Вале, аз тарафи дигар, мувофиқи қонуни ҳамбандии суръатҳо дар механикаи Нютон суръат ба c танҳо дар як системаи сарҳисоби интихобӣ баробар буда метавонад. Дар ҳар гуна системаи сарҳисоби дигаре, ки нисбат ба ин системаи интихобӣ бо суръати v дарҳаракат аст, суръати рӯшноӣ бояд акнун ба $c - v$ баробар бошад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки агар қонуни номбурдаи ҳамбандии суръатҳо дуруст бошад, дар мавриди аз як системаи шастӣ (инерсиалӣ) ба системаи дигар гузаштан қонунҳои электродинамика бояд тавре тағйир дода шаванд, ки дар ин системаи нав суръати рӯшноӣ на ба c , балки ба $c - v$ баробар бошад.

Ҳамин тариқ, дар байни электродинамика ва механикаи Нютон (ки қонунҳои он ба қоидаи нисбият ҳамохангӣ доранд), як навъ зиддият ба миён омад. Ин душвориҳоро бо се тарзи зайл бартараф сохтани буданд.

Имкони якум ин буд, ки қоидаи нисбият барои рӯйдодҳои электромагнитӣ татбиқнопазир доништа шавад. Ин нуқтаи назарро физикдони бузурги ҳуландӣ, бунёдгузори назарияи электронӣ Х. Лоренс тарафдор шуд. Падидаҳои электромагнитиро ханӯз аз замони Фарадей ба ин сӯ чун падидаҳои муойина мекарданд, ки гӯё дар муҳити махсуси нуфузкунанда – «эфирӣ ҷаҳонӣ» воқеъӣ мешуда бошанд. Системаи шастӣ (инерсиалӣ)-и сарҳисоби нисбат ба эфир қарор – ин ба ақидаи Лоренс, системаи махсуси бартариандорест, ки дар он

қонунҳои электродинамикаи Максвелл дурустанд ва шакли содатарин доранд. Танҳо дар ҳамин системаи сарҳисоб суръати рӯшноӣ дар вакуум (холо) барои ҳама самтҳо як аст.

Имкони дуюм ин буд, ки ҳуди қонунҳои Максвеллро нодуруст шуморида, онҳоро (дар заминаи тасаввуроти муқаррарии классикӣ дар бораи вақту фазо) тавре тағйир диҳанд, ки дар сурати аз як системаи шастии сарҳисоб ба системаи дигар гузаштан тағйир напазиранд. Соҳиби ин гуна кӯшиш, аз ҷумла, Х.Хертз буд. Ба ақидаи ӯ ҷисмҳои дар ҳаракат эфирро қомилан (яъне ба пуррагӣ) ҷалб мекунанд ва бино бар ин падидаҳои эллектромагнитии дар эфир рӯйдиҳанда новобаста ба ҳолати ҳаракат ё оромиши ҷисмҳо ҳамон як ҳел ҷараён мегиранд. Қоидаи аслии нисбият дуруст аст.

Ниҳоят, *имкони сеюми* аз миён бардоштани душвориҳои номбурда даст кашидан буд аз тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо, то ки ҳам қоидаи аслии нисбият бар ҷой бимонаду ҳам қонунҳои Максвелл. **Илоҷи беҳтарин ҳамин аст**, зеро талаб мекунад, ки тасаввуроти амиқтарину асостарини физикӣ аз сари нав муойина шавад. Аз ин нигоҳ на муъодилаҳои майдони электромагнитӣ, балки муъодилаҳои механикаи Нютон (ки дар заминаи тасаввуроти кӯҳна дар бораи вақту фазо ба майдон омаданд) носохеханд, яъне барои аз миён бурдани душвориҳои зикршуда на қонунҳои электродинамикаи Максвелл, балки қонунҳои механикаи Нютонро тағйир додан мебояд.

Имкони хуб, чунон ки гуфтем, маҳз имкони сеюм буд. А. Эйнштейн онро субботкорона инкишоф дода, дар бораи вақту фазо тасаввуроти навин бунёд сохт. Ду «имкон»-и аввалро, чунон ки маълум шуд, таҷриба рад мекунад.

Х.Хертз дар натиҷаи кӯшишҳои тағйир додани қонунҳои электродинамикаи Максвелл ошкор сохт, ки муъодилаҳои нав дар шарҳи як қатор далелҳои таҷрибавӣ оҷизанд: чунончи, ба ақидаи Хертз оби равон рӯшноии дар он паҳншавандаро бояд қомилан бо худ барад, зеро он об эфирро бо худ мебарад. Ва рӯшноӣ бошад, гӯё дар ҳамин эфир паҳн мегардад. Аммо таҷриба инро рад кард.

Нуқтаи назари Лоренс низ (ки аз нигоҳи ӯ бояд системаи сарҳисоби интихобие вуҷуд дошта бошад, ки бо эфири ҷаҳонии



Эйнштейн Алберт (1879–1955) – физикдони бузурги а.ХХ. Таълимоти нави физикӣ дар бораи вақту фазо – назарияи махсуси нисбият маҳсули заковати ӯст. Ӯ ин назарияро барои системаҳои ғайришастӣ (ғайри инерсиалӣ)-и сарҳисоб умумият дода, назарияи умумии нисбиятро, ки назарияи муосири ҷозоба мебошад, бунёд кард.

Бунёдгузори тасаввуроти навин дар бораи зарраҳои рӯшноӣ – фотонҳо низ Эйнштейн аст. Асари ӯ дар бораи назарияи ҳаракати Браунӣ боиси ғалабаи қатъии назарияи ҷунбишҳои молекулии модда гардид.

мутлақо қарор алоқаманд аст) дар таҷрибаҳои бевосита рад шуд.

Агар суръати рӯшноӣ танҳо дар системаи сарҳисоби алоқаманд бо эфир $300\,000\text{ км/с}$ мебуд, онро дар ҳар гуна системаи шастии сарҳисоб чен карда, ҳаракати ин системаро нисбат ба эфир ошкор сохтан ва суръати ин ҳаракатро ёфтани имконпазир мешуд. Мисли он ки дар системаи сарҳисоби нисбат ба ҳаво ҳаракаткунанда шамол ба вучуд меояд, ҳангоми нисбат ба эфир (албатта, агар эфир вучуд дошта бошад) ҳаракат кардан низ бояд «шамоли эфирӣ» пайдо шавад. Таҷрибаи дойир ба ошкор сохтани «шамоли эфирӣ»-ро аз рӯи ақидаи 12 сол муқаддам баёнкардаи Максвелл с. 1881 олимони амрикоӣ А. Майкелсон ва Э. Морли анҷом додаанд.

Дар ин таҷриба суръати нисбии рӯшноӣ дар самти ҳаракати Замин ва дар самти нисбат ба он амудӣ муқоиса карда шудааст. Таҷриба ба воситаи асбоби бисёр дақиқ интерферометри Майкелсон бо қамоли дақиқкорӣ сомон дода шудааст. Таҷриба дар собатҳои гуногуни шабонарӯз ва дар фаслҳои гуногуни сол борҳо такрор карда шуда бошад ҳам, ҳамеша натиҷаи манфӣ додаст, яъне нисбат ба эфир ҳаракат доштани Замиро ошкор кардан муяссар нагардид.

Ҳамаи ин ба он монанд мебуд, ки шумо сари худро аз тирезаи мошини бо суръати 100 км/с -и ҳаракаткунанда берун бароварда, шамоли пешорӯро ҳис накунед.

Хулоса, гоյи мавҷудияти системаи сарҳисоби бартариатдор аз санҷиши таҷрибавӣ нагузашт, ҳеч гуна муҳити махсус – «эфирӣ рӯшноибаре», ки ин гуна системаи бартариатдорро бо

он алоқаманд кардан мумкин бошад, вучуд надорад.

* * * * *

Қоидаи аслии нисбиятро бо электрдинамикаи Максвел мутобиқат додан танҳо дар сурате имконпазир буд, ки аз тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо (ки аз рӯи онҳо гӯё дарозиҳо ва қараёни вақт ё худ мурури замон ба системаи сарҳисоб бастагӣ надоранд) даст кашида шавад.

§54. Постулатҳои назарияи нисбият

Назарияи нисбият дар заминаи ду постулат бунёд шудааст.

Барои шарҳи натиҷаҳои манфии таҷрибаи Майкелсон ва таҷрибаҳои дигаре, ки мебоист мавҷудияти ҳаракати Замиро нисбат ба эфир собит мекарданд, фарзияҳои гуногун пешниҳод мешуд. Мурад аз ин таҷрибаҳо дарёфти шарҳи ин буд, ки чаро мавҷудияти системаи бартариятдори сарҳисобро ошкор кардан муяссар намегардад (гӯё ин гуна система ҳақиқатан вучуд дошта бошад).

Ҳалли ба кулӣ дигаргуни ин масъаларо Эйнштейн нишон дод: дар шарҳи натиҷаҳои манфии ҳама кӯшишҳои, ки барои дидани тафовути байни системаҳои шастии сарҳисоб (системаҳои инерсиали) дода шудаанд, фарзияҳои гуногун пеш овардан зарурат надорад. Қонуни табиъат аст, ки ҳама системаҳои шастии сарҳисоб на танҳо барои падидаҳои механикӣ, балки барои рӯйдодҳои электромагнитӣ низ комилан баробарҳуқуқ ҳастанд; дигар ин ки ҳолати оромӣ (оромӣ) аз ҳолати ҳаракати ростҳаттаи мунтазам тафовуте надорад.

Қоидаи аслии нисбият постулати асосии назарияи Эйнштейн мебошад. Онро чунин таъриф додаанд: ҳама рӯйдодҳои табиъӣ дар ҳама системаҳои шастии сарҳисоб (системаҳои инерсиалии сарҳисоб) ҳамон як ҳел қараён мегиранд.

Ин нукта чунин маънӣ дорад, ки дар ҳама системаҳои шастӣ

¹Постулат дар назарияи физикӣ он гуна мақом дорад, ки аксиома дар риёзиёт дорад. Постулат нуктаи бунёдиест, ки исботи мантикӣ надорад. Дар физика постулат натиҷаи умумият додани далелҳои таҷрибавист.

қонунҳои физикӣ ҳамон як шакл доранд. Ҳамин тариқ, қоидаи нисбияти механикаи классикӣ ҳамарӯйдодҳои табиӣ ва, аз ҷумла, рӯйдодҳои электромагнитиро низ фаро мегирад.

Аммо назарияи нисбият на танҳо бар қоидаи аслии нисбият асос ёфтааст. Вай постулати дигаре низ дорад, ки ин аст: *суръати рафти рӯшноӣ дар вакуум (яъне дар ҳало) барои ҳама системаҳои шастии сарҳисоб як аст; вай на ба суръати манбаъ бастигӣ дораду на ба суръати ҳаракати асбоби сабти сигнали рӯшноӣ.*

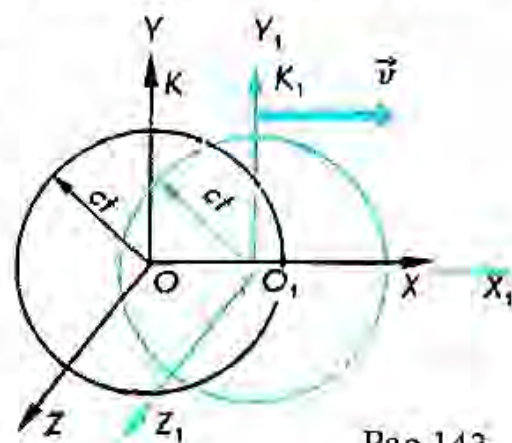
Ҳамин тариқ, суръати рӯшноӣ ин ҷо мақоми махсус дорад. Гузашта аз ин, чунон ки аз постулатҳои назарияи нисбият бармеояд, суръати рӯшноӣ дар ҷойи ҳолӣ зиёдтарин суръати имконпазири нақли ҳамтаъсирот аст дар табиъат.

Барои бочуръатона таърифи додани постулатҳои назарияи нисбият ҳасорати бузургӣ илмӣ зарур буд, зеро ин постулатҳо хилофи тасаввуроти классикӣ (дар бораи вақту фазо) буданд.

Дарвоқеъ, бигзор дар лаҳзаи ҳамҷо будани сари координатҳои системаҳои сарҳисоби K ва K_1 , ки нисбат ба якдигар бо суръати v дар ҳаракат ҳастанд, дар сари координатҳо шӯълаи кӯтоҳмуддате рӯй диҳад. Дар муддати t системаҳо нисбат ба якдигар ба масофаи vt мекӯчанд ва сатҳи мавҷии кӯравӣ радиуси ct мегирад (рас.143).

Системаҳои K ва K_1 баробарҳуқуқанд ва суръати рӯшноӣ дар ҳардуи онҳо як аст; пас, дар назари мушоҳида, ки бо системаи K алоқаманд аст, маркази кӯра дар нуқтаи O дар назари мушоҳида алоқаманд бо системаи K_1 он марказ дар нуқтаи O_1 воқеъ мегардад. Валекин маркази ҳамон як сатҳи кӯравӣ дар ҳамон як лаҳза ҳам дар нуқтаи O ва ҳам дар нуқтаи O_1 воқеъ гашта наметавонад (!). Ин зиддияти ошкоро аз ақидаҳои бармехезад, ки онҳо дар ҷоҳорҷӯбаи постулатҳои назарияи нисбият бунёд шудаанд.

Ин ҷо ҳақиқатан зиддият ҳаст. Вале зиддият на дар дохили назарияи нисбият аст. Моҳияти ин назария бо тасаввуроти классикӣ



Рас.143.

дар бораи вақту фазо, ки барои суръатҳои баланди ҳаракат нодурустанд, зиддият дорад.

* * * * *

Ҳарду постулати назарияи нисбиятро дар ёд доштан мебоянд. Инчунин таърифи системаи шастӣ (системаи инерсиали)-и сарҳисобро фаромӯш накунад: системаи шастӣ системаест, ки ҷисмҳои озод¹ нисбат ба он бо суръати дойимӣ ҳаракат мекунанд.



1. Назарияи нисбият чӣ замина дорад (яъне асоси онро чӣ тасдиқот ташкил медиҳанд)?
2. Тафовути байни постулати якуми назарияи нисбият ва қоидаи аслии нисбият (принципи нисбият)-и механикӣ дар ҷист?

§55. Нисбияти ҳамзамонӣ

То ибтидои а. XX қасе шакк намеовард, ки вақт (замон) мутлақ аст: ду ҳодисае, ки барои сокинони Замин ҳамзамонанд, барои сокинони ҳар гуна нишемангоҳи дигари кайҳонӣ низ ҳамзамон мебошанд. Назарияи нисбият нишон дод, ки ин пиндошт дуруст нест.

Сабаби беасос будани тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо ин аст, ки дар онҳо дар хусуси имкони дар як он (дар як лаҳзаи бағоят кӯтоҳ) аз як нуқтаи фазо ба нуқтаи дигари он расидани таъсироти мутақобил ва сигналҳо фарзи нодурусте пазируфта шудааст. Ниҳойӣ (охирнок) будани суръати густариши таъсироти мутақобил зарурати ба дараҷаи хеле амиқ тағйир додани тасаввуроти муқаррариро дар бораи вақту фазо ба миён меорад. Тасаввуроти дерина дар бораи мутлақ будани вақт, ки гуё ҳамеша бо ҳамон як оҳанг, тамоман новобаста ба ҳайуло (материя) ва ҳаракати он ҷорӣ бошад, ғалат будааст. Агар фарз кунем, ки сигналҳо дар як он паҳн мешаванд, изҳори он ки ин сигналҳо ба ду нуқтаи ҷудогонаи фазо А ва В дар як вақт мерасанд, маънии мутлақ хоҳад дошт. Дар нуқтаҳои А ва В ду соъат гузошта, онҳоро ба воситаи сигналҳои онӣ (лаҳзагӣ)

¹Яъне ҷисмҳои, ки бо ҷизе таъсири мутақобил надоранд.

хамзамон (ё чӣ хеле ки мегӯянд, синхронӣ). Агар ин сигнал аз нуктаи А дар лаҳзаи, масалан, 0 ст 45 дақ фиристода шавад ва он ҳамон лаҳза (аз рӯйи соъати В) ба нуктаи В ояд, пас, ҳарду соъат ҳамон як вақтро нишон медиҳанд, яъне гашти онҳо ҳамзамон мебошад. Вале агар соъатҳо ҳамзамон (синхронӣ) набошанд, соъати ақибмондари ба қадри зарурат пеш бурда, онҳоро ҳамзамон кардан мумкин аст, то ки дар лаҳзаи фиристодани сигнал ҳамон як вақтро нишон диҳанд.

Ду падида, чунончи, ду рӯйдоди барқ он гоҳ ҳамзамонанд, ки дар лаҳзаи рӯй додани онҳо соъатҳои ҳамоханг ҳамон як вақтро нишон диҳанд.

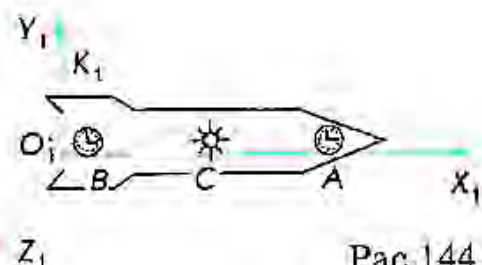
Дар хусуси ҳамзамон будан ё набудани ду ҳодисаи дар нуктаҳои А ва В рӯйдиҳанда он гоҳ хулоса гирифтани мумкин аст, ки дар он нуктаҳо соъатҳои ҳамохангона коркунанда мавҷуд бошад. Лекин агар суръати густариши сигналҳо на беинтиҳо зиёд бошад, пас, соъатҳои аз якдигар дар ин ё он дурӣ воқеъгардидари чӣ тавр ҳамохангӣ додан имконпазир аст?

Табиӣ мебуд, ки барои ҳамоханг гардонидани гашти соъатҳо сигналҳои рӯшноӣ ё умуман сигналҳои электромагнитӣ истифода шавад, зеро ки суръати рафти мавҷҳои электромагнитӣ дар вакуум (хало) дақиқакорона чен карда шудааст ва дақиқан маълум аст.

Дар санҷиши соъатҳо аз рӯйи сигналҳои радиои маҳз ҳамин усул истифода мешавад. Сигнали радиои имкон медиҳад, ки шумо соъати худро бо соъати дақиқи намунавӣ (соъати эталонӣ) ҳамзамон гардонед. Масофаи байни маркази радио (радиостансия) ва ҷонаи худро доништа муддати таъхири сигналро муъайян кардан осон аст. Ин фосилаи вақт (ислоҳ) хеле ночиз аст ва дар ҳаёти ҳамаҷузай мо роле намебозад, вале барои масофаҳои дури қайҳонӣ хеле бузург буда метавонад.

Биёед усули содаеро муфассалтар бинем, ки барои ҳамазамон гардондани соъатҳо ҳеҷ гуна ҳисобукитоб талаб накунад. Бигзор қайҳонавард доништан хоҳад, ки соъатҳои А ва В-и воқеъ дар қисми пеш ва қисми ақиб кишти қайҳонӣ (рас.144) чӣ дараҷа ҳамзамон ҳастанд. Бо ин мақсад ӯ ба воситаи манбаъи нисбат ба танай кишти беҳаракати рӯшноӣ

дар миёнаҷойи киштӣ як шӯълаи кӯтоҳмуддати рӯшноӣ ба вучуд меорад. Рӯшноӣ то ҳарду соҳат дар як вақт мерасад. Агар ҳарду соҳат дар ҳамон як лаҳза ҳамон як вақтро нишон диҳанд, метавон

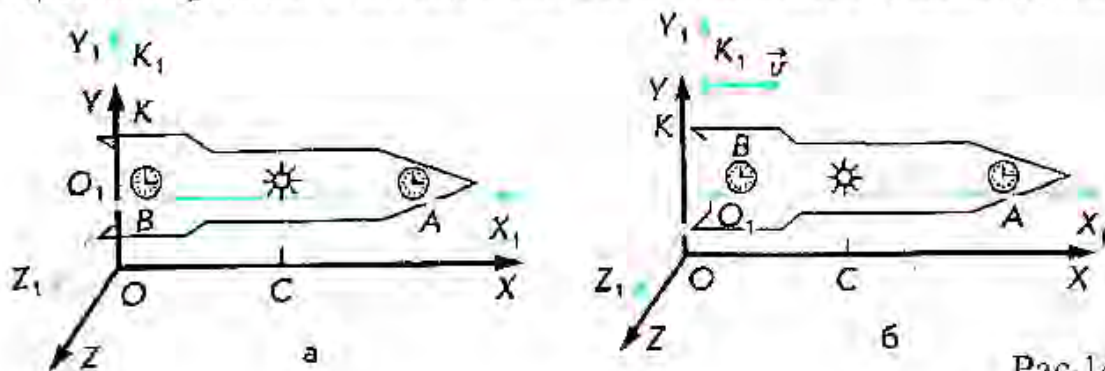


Рас.144.

гуфт, ки гашти онҳо ҳамоҳанг аст. Аммо ин танҳо нисбат ба системаи сарҳисоби бо киштӣ алоқаманди K_1 дуруст аст. Вале дар системаи сарҳисоби K , ки киштӣ нисбат ба он дар ҳаракат мебошад, сурати ҳол дигар аст. Соҳати A аз ҷойи пайдоиши шӯъла (нуктаи OC) бо мурури замон дур мешавад ва, аз ин рӯ, рӯшноӣ барои то ба соҳати A расидан бояд масофаи назар ба нисфи дарозии киштӣ бештареро паймояд (рас.145,а,б.). Соҳати қисми ақибии киштӣ – соҳати B бошад, бараъқас сӯйи шӯъла ҳаракат мекунад, яъне дар ин маврид роҳи сигнали рӯшноӣ назар ба нисфи дарозии киштӣ кӯтоҳтар аст. (Дар рас.145,а координатҳои x ва x_1 гоҳи пайдоиши шӯъла баробари якдигаранд: дар рас.145,б лаҳзае тасвир ёфтааст, ки дар он рӯшноӣ то ба соҳати B мерасад). Бино бар ин мушоҳиди алоқаманд бо системаи K хулоса мегирад, ки сигнал то ҳарду соҳат на дар як вақт мерасад.

Ду ҳодисаи дар нуктаҳои A ва B рӯйдихандае, ки дар системаи K_1 ҳамзамонанд, дар системаи K ҳамзамон нестанд. Аммо ҳарду система ба тақозои қоидаи нисбият қомилан баробархуқуқ ҳастанд. Ва ҳеч яки онҳо дар муқобили дигарӣ бартарӣ надорад. Пас, мо маҷбурем хулоса бигирем, ки *ҳамзамон будани ҳодисаҳои фазоан ҷудо нисбӣ аст*. Сабаби нисбияти ҳамзамонӣ, чунон ки мебинем, ниҳойӣ будани суръати рафти сигналҳо мебошад.

Ҳалли парадокси алоқаманд бо сигналҳои кӯравии рӯшноӣ,



Рас.145.

ки дар §54 муойина шуданд, махз дар нисбияти ҳамзамонӣ ниҳон аст. Расидани рӯшноӣ ба нуқтаҳои сатҳи кӯравии маркази O танҳо дар чашми мушоҳиде ҳамзамон менамояд, ки \bar{u} нисбат ба системаи K қарор бошад. Вале дар назари мушоҳиди алоқаманд бо системаи K_1 рӯшноӣ ба он нуқтаҳо дар лаҳзаҳои гуногун мерасад.

Пайдост, ки мавриди акси ин низ дуруст аст: дар системаи K рӯшноӣ ба нуқтаҳои сатҳи кӯрае, ки марказаш дар нуқтаи O_1 аст, на дар як вақт (чунон ки дар чашми мушоҳиди алоқаманд бо системаи K_1 менамояд), балки дар лаҳзаҳои гуногун мерасад.

Пас, ин ҷо ҳеч гуна парадокс ҷой надорад.

Ҳамзамонии ҳодисот нисбӣ аст. Инро ба таври аёнӣ тасаввур кардан, «эҳсос кардан» аз дойираи имкони мо берун аст, зеро суръати рӯшноӣ назар ба суръатҳои, ки ҳосил ҳаракатҳои мост, садҳо бор зиёд мебошад.



Чӣ гуна рӯйдодҳоро рӯйдодҳои ҳамзамон мегӯянд?

§56. Натиҷаҳои нисбияти нисбият ба назари нисбият бархаста

Аз постулаҳои назарияи нисбият чанд натиҷаи аҷибе сар мезанад, ки ҳосиятҳои вақту фазоро ифода мекунанд. Дарёфти ин натиҷаҳо то дараҷае мураккаб аст. Бино бар ин мо заминаи тавлиди ин натиҷаҳоро муойина накарда, танҳо бо тавсифи мухтасари онҳо иктифо мекунем.

Нисбияти масофаҳо. Масофа бузургии мутлақ нест. Масофаи тайшуда ба суръати ҳаракати ҷисм (нисбат ба ин ё он системаи сарҳисоб) бастагӣ дорад.

Бигзор милае дар системаи сарҳисоби K қарор бошад. Дарозии миларо бо l_0 ишорат мекунем. Назарияи нисбият барои дарозии ин мила дар системаи K_1 , ки мила нисбат ба он бо суръати v дарҳаракат аст, ин гуна формула муқаррар кардааст:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (6.1)$$

яъне ба гуфти назарияи нисбият $l < l_0$ мебошад. Ин хулоса кӯтоҳшуди релятивии андозаи чисм (дарозии чисм)-ро дар системаи ҳаракатманди сарҳисоб ифода мекунад. (Калимаи «релятивӣ» барои ифода кардани мавридҳое истифода мешавад, ки дар онҳо ҳаракати муойинашаванда бо суръати наздик ба суръати рӯшноӣ рӯй медиҳад).

Нисбияти фосилаҳои вақт. Бигзор фосилаи вақти байни ду ҳодисаи дар ҳамон як нуқтаи системаи шастӣ (системаи интерсиали)-и сарҳисоб K рӯйдиханда τ_0 бошад. Инҳо ду ҳодисае, маслан, ду зарби пайдарпайи метрономе буда метавонанд, ки баъди ҳар сония садо медиҳад.

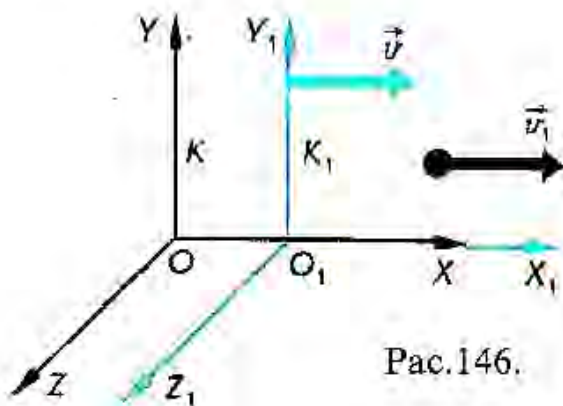
Дар ин маврид фосилаи вақти байни ин ҳодисаҳо τ дар системаи сарҳисоби K_1 (ки нисбат ба K бо суръати v дар ҳаракат аст), ин хел ифода карда мешавад:

$$\tau = \tau_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.2)$$

Пайдост, ки $\tau > \tau_0$ аст. Ин мавриди кӯтоҳшуди релятивии фосилаи вақти байни ду рӯйдоди паёпай аст дар системаи сарҳисоби ҳаракаткунанда.

Дар сурати $v \ll c$ будан дар формулаҳои (6.1) ва (6.2) бузургии v^2/c^2 -ро ба эътибор нагирифтаи раво аст. Он гоҳ $l \approx l_0$ ва $\tau \approx \tau_0$ мешавад, яъне дар ин маврид кӯтоҳшуди релятивии андозаҳои чисм ва кӯтоҳшуди вақтро дар системаи сарҳисоби ҳаракаткунанда ба эътибор нагирифтаи ҷоиз аст.

Қонуни релятивии чамбандӣ (чамъшуд)-и суръатҳо. Тасаввуроти нави релятивӣ дар бораи вақту фазо фаҳм кардани қонуни нави чамъ шудани суръатҳоро талаб мекунад. Рӯшан аст, ки қонуни классикии чамбандии суръатҳо дар ин маврид нодуруст мебуд, зеро он муҳолифи хулосаи дойимӣ будани суръати вакуумии рӯшноӣ аст.



Рас.146.

Агар вагоне бо суръати v дар ҳаракат бошад ва дар даруни он ба самти ҳаракат мавҷи рӯшноӣ паҳн шавад, суръати он нисбат ба замин бояд боз ҳам ба c баробар бошад, на ба $c+v$. Қонуни нави ҷамъбандии суръатҳо бояд маҳз ҳамин натиҷаро ифода кунад.

Мо қонуни ҷамъбандии суръатҳоро барои мавриди хусусие менависем, ки ҷисм ба қадди тирӣ X_1 -и системаи сарҳисоби K_1 (ки, дар навбати худ, нисбат ба системаи K бо суръати v ҳаракат мекунад) дар ҳаракат бошад. Зимнан, гоҳи ҳаракат тирҳои координатии Ox ва Ox_1 ҳамеша рӯйи ҳам меоянд тирҳои Oy ва Oy_1 ва инчунин Oz ва Oz_1 нисбат ба худ дар ҳоли мувозӣ мемонанд (рас.146).

Суръати ҳамон як ҷисмро нисбат ба K_1 бо v_1 ва нисбат ба K бо v_2 ишорат мекунем. Он гоҳ қонуни релятивии ҷамъбандии суръатҳо шакли зайл мегирад:

$$v^2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}} \quad (6.3)$$

Дар сурати $v \ll c$ ва $v_1 \ll c$ будан узви $\frac{v_1 v}{c^2}$ -ро дар махраҷи (6.3) ба эътибор нагирифта, боз ҳамон қонуни классикии ҷамъбандии суръатҳоро ҳосил мекунем:

$$v_2 = v_1 + v$$

Агар $v_1 = c$ бошад, суръати v_2 низ баробари c хоҳад буд, чунон ки инро постулати дуёми назарияи нисбият тақозо мекунад. Дар ҳақиқат,

$$v_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \frac{v + c}{v + c} = c$$

Ҳосияти аҷибии қонуни релятивии ҷамъшудии суръатҳо ин аст,

ки барои ҳама гуна суръатҳои v_1 ва v (ки, ба яқин, аз c зиёд нестанд) суръати натиҷавӣ v_2 аз c зиёд буда наметавонад.

*** **

Қонуни релативии ҷамбандӣ (ҷамъшуд)-и суръатҳо дуруст аст, вале аёнӣ нест. Мушаки кайҳонии бузургро тасаввур кунед, ки нисбат ба замин бо суръати наздик ба суръати рӯшноӣ c дарҳаракат бошад. Бигзор аз ин мушаки бузург мушаки хурде ҷудо шавад ва нисбат ба мушаки бузург суръатеро соҳиб гардад, ки он ба суръати c наздик бошад. Аммо нисбат ба Замин суръати мушаки хурд қариб ҳамчени суръати мушаки бузург хоҳад буд, на бештар.



1. Дар чӣ гуна суръатҳои ҳаракат қонуни релативии ҷамъшуди суръатҳо (ё худ қонуни ҷамъбандии суръатҳо) ба ҳамин гуна қонуни классикӣ (қонуни Галилей) бадал мешавад?
2. Суръати рӯшноӣ аз суръатҳои ҳаракати ҳамаи ҷисмҳои дигар чӣ таъвофути куллӣ дорад?

§57. Ҷоҳати масса (ҷирм) ба суръат: Динámicaи релативӣ

Қонунҳои механикаи Нютон дар суръатҳои баланди ҳаракат бо тасаввуроти нав дар бораи вақту фазо ноҷӯрӣ пайдо мекунанд. Танҳо дар мавриди пасти будани суръати ҳаракат, яъне дар мавриди дуруст будани тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо шакли қонуни дуҷуми Нютон

$$m = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} \quad (6.4)$$

ҳангоми аз як системаи шастии сарҳисоб (системаи инерсиалӣ) ба ҳамин гуна системаи дигар гузаистан тағйир намеёбад (қоидаи нисбият риоя мешавад).

Вале дар соҳаи суръатҳои баланд ин қонун дар шакли маъмулии худ (яъне дар шакли классикӣ) номукамал аст.

Мувофиқи қонуни дуҷуми Нютон (6.4) қувваи доимии ба ҷисм муддати тӯлонӣ таъсиркунанда ҷисмро суръати баланди дилхоҳ бахшида метавонад. Аммо дар воқеъ суръати рӯшноӣ

дар вакуум (хало) суръати ниҳойӣ аст ва дар ҳеҷ гуна шаройит
 ҷисм бо суръати бештар аз он ҳаракат кардан наметавонад.

Тағйири андаке мебояд, ки муъодилаи ҳаракати ҷисм барои
 суръатҳои баланд шакли дақиқ биғирад.

Биёед аввал қонуни дуҷуми динамикаро дар шакле нависем,
 ки онро худ Нютон истифода кардааст:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} \quad (6.5).$$

Ин ҷо $\vec{p} = m\vec{v}$ импулси ҷисм аст. Дар ин муъодила массаи
 ҷисм аз нигоҳи физикаи Нютон ба суръат новобаста пиндош-
 та мешавад.

Аҷаб аст, ки барои суръатҳои баланд низ шакли муъодилаи
 (6.5) барҷой мемонад – дар ин маврид танҳо массаи ҷисм тағйир
 меёбад. *Ҳангоми зиёд кардани суръати ҷисм массаи он доимӣ
 (собит) намемонад, балки меафзояд.*

Вобастагии массаро ба суръат дар заминаи фарзе метавон
 ёфт, ки қонуни бақои импулс аз нуқтаи назари тасаввуроти
 нав дар бораи вақту фазо низ дуруст аст. Вале мо ба сабаби
 мураккаб будани ин ҳисобукитоб ин ҷо танҳо натиҷаи онро
 меорем.

Массаи ҷисми қароро бо m ишорат мекунем¹. Он гоҳ массаи
 ҳамон ҷисм дар мавриди бо суръати v ҳаркат кардани ин
 қадар хоҳад буд:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.6)$$

Вобастагии масса ба суръати ҳаракати он дар рас. 147 тасвир
 ёфтааст. Чунонки, мебинем, ҳар қадре ки суръати ҷисм ба
 суръати рӯшноӣ наздик бошад, афзоиши массаи он ҳамон қадр
 зиёдтар хоҳад буд.

Дар суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле кам қимати

¹Дар физикаи назарии муосир тамоюле вучуд дорад, ки танҳо бузургии
 m_0 -ро, яъне массаи оромишро масса гӯянд, мафҳуми массаи релятивии (6.6)-
 ро истеъмол накунад.

ифодаи $1 - \frac{v^2}{c^2}$ аз як кам фарқ мекунад. Чунончи, барои суръати хоси мушаки кайҳонӣ, ки $v \approx 10$ км/с аст, решаи мазкур ин гуна кимат дорад:

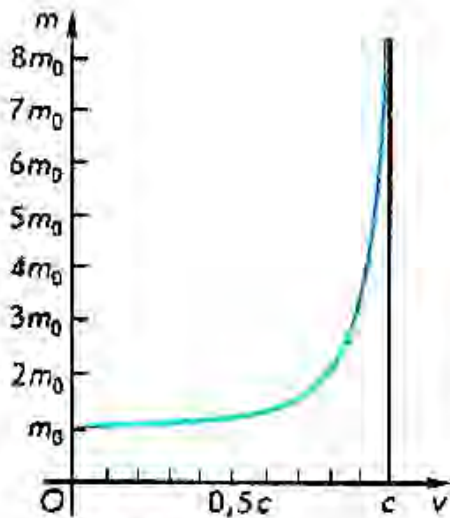
$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,999\ 999\ 99944.$$

Аз ин рӯ ҷойи тааҷҷуб нест, ки афзоиши массаро ҳангоми зиёд шудани суръат дар мавриди ин кадр кам будани u ошкор сохтан муҳол аст. Аммо заррарҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) дар мошинҳои суръатфизои муосир то ба суръатҳои хеле баланд шитоб дода мешаванд. Чунончи, агар электрон бо суръате ҳаракат кунад, ки он аз суръати рӯшноӣ танҳо 90 км/с кам (яъне 299 910 км/с) бошад, массааш 40 бор меафзояд. Мошини суръатфизои электронҳо ин зарраҳоро он қадр тезонда метавонад, ки суръати онҳо аз суръати рӯшноӣ ҳамагӣ 40-50 м/с камӣ мекунад. Массаяи ин гуна электрон назар ба массаяи электронӣ қарор тақрибан 2000 бор зиёд меояд. Барои дар мадори дойиравӣ устуворона ҳаракат кардани ин гуна электрон майдони магнитӣ ба электрон бояд бо қуввае таъсир бахшад, ки он аз қувваи зарурии мутобиқи мавриди ба ҳисоб нагирифтани вобастагии масса ба суръат тақрибан 2000 бор зиёд бошад. Барои ҳисоби масир (траектория)-и зарраи баланд-суръат механикаи Нютон натиҷаи ғалат медиҳад. Ба иборати дигар, дар ҳама мавридҳои бо суръати баланд ҳаракат кардани зарраҳо формулаи (6.6)-ро ба эътибор гирифтани мебояд. Дар ин сурат импульси ҷисм бояд чинин ёфта шавад:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.7)$$

Вале қонуни асосии динамикаи реалативӣ бояд дар ҳамон шакли пешина навишта шавад:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} \quad (6.8).$$



Рас. 147

Аммо импульси ҷисм дар ин маврид аз ҳосили зарби $m_0 \vec{v}$ фарқ мекунад ва бояд аз рӯи формулаи (6.7) ёфта шавад.

Ҳамин тариқ, масса ки дар тӯли дуним асри баъди сари Нйутон собит (дойимӣ) пиндошта мешуд, дар воқеъ ба суръат вобаста будааст: ба андозаи афзудани суръати ҳаракат массаи ҷисм, ки ҳосиятҳои шастдорӣ (инерсиядорӣ)-и онро таъйин мекунад, зиёд мешавад.

Дар сурати $v \rightarrow c$ будан массаи ҷисм мувофиқи (6.6) беҳад меафзояд ($m \rightarrow \infty$); бино бар ин шитоби ҷисм ба сифр майл мекунад ва бо вучуди муддати дуру дароз таъсир доштани қувва суръати ҷисм дигар амалан намеафзояд.

Зарурати дар ҳисобкутиби суръатфизоҳои зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) истифода кардани муъодилаи релятивии ҳаракат далели он аст, ки назарияи нисбият дар замони мо ба илми муҳандисӣ (илми инженерӣ) табдил ёфтааст.

Қоидаи аслии мутобиқат (монандагӣ). Қонунҳои механикаи Нйутон ва тасаввуроти классикиро дар бораи вақту фазо чун мавриди хусусии механикаи релятивӣ (ки барои суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле паст дуруст аст) муойина кардан мумкин аст. Ин хулоса натиҷаи зухуроти қонуниятест, ки он **қоидаи аслии мутобиқат** ном дорад. Аз рӯи ин қоида ҳар гуна назарияе, ки рӯйдодҳои табиъатро нисбат ба назарияи пешина амиқтар ва фарохтар ифода карданӣ бошад, ҳамон навиро бояд чун ҳадди охири имконоти назарӣ фаро бигирад.

Зарурати эҷоди қоидаи мутобиқатро барои ифода кардани алоқамандии назарияҳои квантӣ ва классикӣ пеш аз ҳама олими бузург Нилс Бор дарк кардааст ва онро шакл додааст.

Қонунҳои механикаи Нйутонро чун мавриди хусусии механикаи релятивӣ (ки барои суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле кам дуруст мебошад) муойина кардан мебояд.

Муъодилаи релативии ҳаракат (ки дар он вобастагии масса ба суръат ба назар гирифта шудааст) дар бунёди суръатфизоҳои зарраҳои барқаманд ба асбобҳои дигари релативисохт истифода мешавад.



1. *Формулаи вобастагии массаи ҷисмро ба суръати ҳаракати он нависед.*
2. *Ба чӣ шарт метавон гуфт, ки массаи ҷисм ба суръати ҳаракати он вобастагӣ надорад.*

§58. Робитаи байни Масса ва Энергия

Биёем акнун ба сари яке аз муҳимтарин хулосаҳои назарияи нисбият – робитаи умумии байни масса ва энергия, ки дар физикаи ҳастаи атом ва физикаи зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) мақоми муҳим дорад.

Робитаи байни масса ва энергия бевосита аз қонуни бақои энергия ва аз он далел бармеояд, ки массаи ҷисм ба суръати ҳаракати он бастагӣ дорад. Ин аз мисоли соддаи зайл аён аст. Дар сурати дар ягон зарф гарм кардани газ ба он энергияи муъайяне дода мешавад. Суръати ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо ба ҳарорат вобаста мебошад ва ба қадри гарм шудани газ меафзояд. Афзоиши суръати ҳаракати молекулаҳо мувофиқи формулаи (6.6) аз афзудани массаи ҳамаи он молекулаҳо далолат мекунад. Пас, массаи гази даруни зарф дар натиҷаи афзудани энергияи дохилии он зиёд мешавад, яъне дар байни массаи газ ва энергияи он алоқамандие, робитае вучуд дорад.

Формулаи Эйнштейн. Эйнштейн бо ёрии назарияи нисбият дар байни масса ва энергия формулае муқаррар кард дар ниҳояти соддагӣ ва умумият, ки ин аст:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.9)$$

Энергияи ҷисм ё маҷмуъи ҷисмҳо ба ҳосили зарби масса ва дараҷаи дуюми суръати рӯшнӣ баробар мебошад.

Дар сурати тағйир ёфтани энергияи системаи физикӣ массаи он низ тағйир мепазирад:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \quad (6.10)$$

Азбаски зариб (коэффисент)-и $1/c^2$ бисе хурд аст, бино бар ин тағйироти намоёни масса танҳо дар сурати хеле зиёд будани тағйироти энергия имконпазир мебошад. Дар воқунишҳои кимиёӣ (реаксияҳои химиявӣ) ё ҳангоми гарм кардани ҷисмҳо дар шароити муқаррарӣ тағйироти энергия он қадр кам аст, ки тағйироти ба он мутобиқи массаро дар таҷриба ошкор сохтан муҳол аст. Чойнаки гарм назар ба чойнаки сард массаи бештар дорад; аммо ин тафовут ҳатто бо дақиқиқтарин тарозу «ҳис» намешавад. Танҳо дар табдилоти ҳастай ва зарраҳои бунёдӣ тағйироти ба он алоқаманди масса хеле зиёд аст.

Дар натиҷаи таркиши бомбаи ҳидрогенӣ энергияи бағоят зиёд – қариб 10^{17} Ҷ ба вуҷуд меояд, ки ин аз энергияи электрикии дар тамоми қурраи Замин дар муддати чанд рӯз истехсолшаванда зиёд аст. Ин энергия (энергияи таркиш)-ро зарраҳо ва тобиши дар ин маврид ҳосилшаванда бо худ мебаранд.

Энергияи оромии (энергияи сокин). Мувофиқи формулаи (6.9) ҷисм дар сурати сифри ($=0$) будани суръаташ низ соҳиби энергия мебошад. Ин **энергияи оромии** ном энергия аст, ки ин тавр ифода карда мешавад:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (6.11)$$

Ин натиҷаи шойистаи таҳсину таваҷҷӯҳ аст. *Ҳар гуна ҷисм танҳо ба сабаби мавҷудияти худ аллақай соҳиби энергия мебошад ва миқдори ин энергия ба массаи оромии m_0 мутаносиб аст.*

Аёнитарин исботи мавҷудияти энергияи оромии ин аст, ки дар табдилоти зарраҳои бунёдии дорои массаи оромии ($m_0 \neq 0$) ба зарраҳои бемассаи оромии ($m_0 = 0$) энергияи оромии комилан ба энергияи кинетикии зарраҳои «навзод» мубаддал мешавад.



Дар физика танҳо ду «формулаи бузурге» ҳаст, ки бо вуҷуди шакли бисёр сода доштан бағоят фароғиранд. Якеи онҳо фор-

мулаи Эйнштейн $E = mc^2$ асту дигаре – формулаи Планк, ки бо он шумо дар фасли «Физикаи квантӣ» шинос хоҳед шуд.



1. Қонуни робитаи мутақобили масса ва энергия чӣ моҳият дорад?
2. Энергияи оромиш (энергияи сокин) чист?
3. Чаро ҳангоми гарм кардани қисм афзоиши массаи онро ошкор сохтан муяссар намегардад?

Машқи 7

1. Дар назари мушоҳиди пойизсавор (поездсавор) барқ дар нуқтаҳои А (пеши пойиз) ва В (паси пойиз) дар як вақт рӯй дод. Дар назари мушоҳиде, ки дар рӯйи замин қарор истодааст, кадом барқ зудтар ба Замин мерасад?
2. Массаи электрони дарҳаракат назар ба массаи электрони қарор 40 000 бор зиёд аст. Электрони дарҳаракат чӣ гуна суръат дорад?
3. Агар як килограмм об 50 К гарм карда шавад, массааш чӣ қадар меафзояд?
4. Оё электрон дар ин ё он муҳит бо суръате ҳаракат карда метавонад, ки он назар ба суръати рӯшноӣ дар ҳамон муҳит зиёд бошад?

Мувофиқи китоби «Физикаи квантӣ»

1. Назарияи махсуси нисбияти Эйнштейн бар ду постулат асос ёфтааст.

Қоидаи аслии нисбият (принсипи нисбият) постулати асосии ин назария мебошад. Ва ин аст моҳияташ: ҳама рӯйдодҳои олам дар ҳама системаҳои шастӣ (инерсиалӣ)-и сарҳисоб ҳамон як ҳел ҷараён мегиранд.

2. Мувофиқи постулаи дуюм суръати рӯшноӣ дар ҳало (вакуум) барои ҳама системаҳои шастии сарҳисоб ҳамон як қимат дорад ва на ба суръати манбаъ вобаста асту на ба суръати асбоби сабти сигнали рӯшноӣ.

3. Назарияи нисбият таълимоти навест дар бораи вақту фазо, ки бар ивази тасаввуроти кӯҳнаи классикӣ ба майдон омадааст. Мувофиқи назарияи нисбият ҳамзамонии рӯйдодҳо, масофаҳо ва фосилаҳои вақт на мутлақ, балки нисбист. Онҳо ба системаи сарҳисоб вобастаанд.

4. Аз назарияи нисбият бармеояд, ки суръати рӯшноӣ дар вакуум (ҳало) зиёдтарин суръати имконпазири интиқоли таъсири мутақобил мебошад.

5. Дар мавриди зиёд шудани суръати ҳаракати ҷисм массаи он собит (дойимӣ) намемонад, балки ба ин тарз меафзояд:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ки ин ҷо m_0 массаи ҷисм барои мавриди қарор будани он аст. Импулси релятивӣ ҷисм ин тавр ифода карда мешавад:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Бар ҳамин асос қонуни асосии динамикаи релятивиро ҳам дар ҳамон шакле навиштан мумкин аст, ки қонуни дуҷуми Нютон навишта шудааст:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$$

6. Натиҷаи барои физикаи ҳастаи атом ва физикаи зарраҳои бунёдӣ муҳимтарини назарияи нисбият хулосаест, ки массаю энергияро ба ҳам робита медиҳад. Энергияи ҷисм ё системаи ҷисмҳо E ба ҳосили зарби массаю дараҷаи дуҷуми суръати рӯшноӣ баробар аст:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Бузургии $E_0 = m_0 c^2$ энергияи оромиши зарраро ифода мекунад.

7. Дар соҳаи суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле ками ҳаракат тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо ва қонунҳои механикаи Нютон дурустанд.



То ҳол мо густариши мавҷҳои рӯшноиро муойина кардем. Акнун, биёед, бубинем, ки қисмҳо чӣ гуна нур меафкананд.

§54 Шарҳҳои тобиш: Манбаъҳои рӯшноӣ

Шумо то ин дам бо манбаъҳои рӯшноӣ каму беш шиносӣ пайдо карда будед. Акнун масъалаеро рӯшан мекунем, ки қори он манбаъҳо чӣ заминаи физикӣ дорад ва тобиши онҳо чӣ гуна тайф (спектр) дорад.

Манбаъи рӯшноӣ энергия «мехӯрад». Рӯшноӣ мавҷи электромагнитие мебошад, ки аз $4 \cdot 10^{-7}$ то $8 \cdot 10^{-7}$ м дарозӣ дорад.

Мавҷҳои электромагнитӣ дар натиҷаи ҳаракати шитобдор кардани зарраҳои барқаманд (зарраҳои электронҳо) афканда мешаванд. Ин зарраҳо онҳоеанд, ки атомҳои моддаҳо аз онҳо таркиб ёфтаанд. Бино бар ин сохти атомро надониста, дар бораи механизми тобиш (ё худ нурафканиш) ба таври боварбахш чизе гуфтан душвор аст. Танҳо ҳаминаш рӯшан аст, ки андаруни атом рӯшноӣ нест – мисли он ки андаруни рубоб садое вучуд надорад. Монанди он ки тори асбоби мусикӣ танҳо бо зарби мизроб садо медиҳад, атомҳо ҳам танҳо баъди ангехта шудани худ нур (рӯшноӣ) меафкананд, тобон мешаванд.

Барои он ки атом нур афканда тавонад, ба он энергияи муъайян додан мебояд. Ҳангоми нур афкандан атом энергияи гирифтаи худро гум мекунад, яъне барои бефосила нурафшонӣ кардани модда атомҳои он бояд аз берун мудом энергия бигиранд.

Тобиши ҳароратӣ. Содатарин ва маъмултарин навъи тобиш тобиши ҳароратӣ аст, ки дар он энергияи дар шакли тобиш талафдодаи атомҳо аз ҳисоби энергияи ҳаракати ҳароратии он атомҳову молекулаҳои қисми нурафкан пур мешавад. Содатар гӯем, дар ин сурат ҷойи энергияи барои афканиши рӯшноӣ сарфшуда аз ҳисоби энергияи ҳаракати ҳароратии

Вавилов Сергей Иванович (1891-1951) – физикдони рус, ходими давлатӣ ва ҷамъиятӣ, раёиси Академияи улуми Шӯравӣи собиқ дар солҳои 1945-1951. Таҳқиқоти асосии Вавилов ба соҳаи оптикаи физикӣ ва пеш аз ҳама ба фотолуминесценс тааллуқ доранд. Бо роҳбарии ӯ технологияи сохти ҷароғҳои равшаноии табиӣ роҳандозӣ шуд ва усули таҳлили луминесценсии таркиби кимиёии модда вусъат гирифт.

П. А. Черенков с. 1934 таҳти роҳбарии Вавилов ҳодисаи рӯшноӣ афкандани электронҳои дар ин ё он муҳит бо суръати бештар аз суръати рӯшноӣ (дар ҳамин муҳит) ҳаракаткунандаро кашф кард.



атомҳо (ё молекулаҳо)-и ҷисми нурбор пур мешавад. Ҳар кадре ки ҳарорати ҷисм зиёд бошад, атомҳо ҳамон кадр тезтар ҳаракат карда метавонанд. Дар бархӯрди атомҳо (ё молекулаҳо)-и баландсуръат бо якдигар як қисми энергияи кинетикии онҳо барои ангехтани атомҳо сарф мешавад. Маҳз ҳамин атомҳо рӯшноӣ меафкананд.

Офтоб ва тафслампаи муқаррарӣ манбаъҳои маъмули нурафкан мебошанд. Тафслампаи электрикӣ манбаъи бас истифодабоб ва камсарфа аст. Танҳо қариб 12%-и энергияи дар мӯяки лампа хориҷкардаи ҷараёни электрикӣ ба энергияи рӯшноӣ табдил меёбад. Ва ниҳоят, маъмултарин манбаъи нурҳои ҳароратӣ шӯълаи оташ аст. Энергияи аз сӯзиши хезум, карасин ё газ хориҷшаванда зарраҳои носӯхтаи сӯзишвориро метафсонад ва онҳо низ рӯшноӣ меафкананд.

Электролуминесценс. Атомҳо энергияи барои нурафканиш заруриро аз манбаъҳои ғайриҳароратӣ низ гирифта метавонанд. Дар таҳлиии газӣ¹ майдони электрикӣ электронҳоро энергияи зиёди кинетикӣ мебахшад. Электронҳои баландсуръат бо атомҳо бархӯрди ғайриҷандир карда метавонанд. Қисми энергияи электронҳо барои ангехти атомҳо сарф мешавад. Атомҳои ангехта энергияи зиёдати худро дар шакли мавҷҳои рӯшноӣ хориҷ мегардонанд. Ҳамин аст, ки газ дар натиҷаи таҳлиии электрикӣ нур меафканад. Ин падида *электролуминесценс*² ном гирифтааст. Фаҷри шимолӣ натиҷаи зухуроти ҳамин электролуминесценс мебошад. Сели зарраҳои барқаманди

¹пардашти газӣ, разряди газӣ.)

²луминесценс (*luminescence*; люминесценция) - нурафшонӣ.

хуршедии аз тарафи майдони магнитии Замин рабудашуда дар қутбҳои магнитии Замин атомҳои қабатҳои болоии атмосфераро ангехта, боиси нурафшонии онҳо мегарданд. Падидаи электролуминесценс дар найчаҳои рекламӣ бисёр истифода мешавад.

Луминесценс (нурафшонӣ)-и *катодӣ* – ин падидаи бо таъсири электронҳо нурафшонӣ кардани ҷисмҳои сахт мебошад. Ҳамин падида аст, ки экрани лӯлаи электронишуоъи телевизорҳо нур меафканад.

Луминесценс (нурафшонӣ)-и *кимийӣ*. Як қисми энергияи дар натиҷаи баъзе воқунишҳои кимийӣ хориҷшаванда бевосита ба энергияи рӯшноӣ табдил меёбад. Манбаъи ин гуна тобиш сард аст (ҳарораташ баробари ҳарорати муҳит мебошад) ва сард мемонад. Ин падида ро *кимийёлуминесценс* ном додан мумкин аст (дар русӣ онро хемилюминесценсия мегӯянд).

Ин падида шояд ба ҳар яки шумо маълум бошад. Шаби тобистон дар ҷангал дар тани ҷонзоди аҷибе – кирми шабтоб «чароғак» метавон дид, ки шӯълаи сабзтоб дорад. Ба он агар даст расонед, дастатон намесӯзад. Ҳарорати ин «чароғак» баробари ҳарорати ҳавои атроф аст. Бактерияҳо, ҳашарот, аксари моҳиёни сокини ҷойҳои чуқури рӯшноинораси оби баҳру уқёнус низ хосияти партавфишонӣ доранд. Баъзе пораҳои ҷӯби пӯсида ҳам (дар торикӣ) нур меафшонанд.

Фотолуминесценс. Рӯшноие, ки ба сатҳи модда мезанад, қисман дар он фурӯ мераваду қисман инъикос мегардад. Энергияи рӯшноии фурӯрафта дар аксари мавридҳо ҷисмҳоро гарм мекунаду бас. Аммо баъзе моддаҳо бо таъсири нурҳои гуногун худашон нур мефишонанд. Ин падида *фотолуминесценс* номида шудааст. Рӯшноӣ атомҳои моддаро меангезад (энергияи дохилии онҳоро зиёд мекунад) – баъди ин онҳо нурфишон мешаванд. Чунончи, рангубори тобоне, ки шумо дар рӯйи бозичаҳои солинавӣ мебинед, баъди нурборон кардан нурфишон мешаванд.

Рӯшноии дар натиҷаи фотолуминесценс пайдошаванда назар ба рӯшноие, ки боиси нурафшонӣ мегардад, умуман мавҷи дарозтар дорад. Инро дар таҷриба санҷидан мумкин аст. Агар дастаи рӯшноиро аз *нуроло* (филтри рӯшноӣ)-и бунафш

гузаронда, ба зарфи пури флуорессеин (моддаи органикии рангуборӣ) равона созем, ин моеъ бо ранги сабзи зардтоб медурахшад ва рӯшноиаш назар ба нури бунафш дарозмавҷтар меояд.

Фотолуминесценс дар чароғҳои табиъирӯшноӣ истифодаи бисёр дорад. Олими шӯравӣ С. Вавилов пешниҳод кард, ки сатҳи дарунии тахлиянайча¹ моддаҳои луминесценсӣ давонда шавад – ин имкон медиҳад, ки он найчаҳо бо таъсири шуоъҳои кӯтоҳмавҷи тахлияи газӣ бидурахшанд. Чароғҳои табиъирӯшноӣ назар ба тафслампҳои электрикӣ се-чаҳор бор босарфатаранд.

Мо дар ин банд навҳои асосии манбаъҳои рӯшноӣ ва баъзе хусусиятҳои нурҳои афкандаи онҳоро ба таври басте мухтасар муойина кардем. Маъмултарини ин гуна манбаъҳо манбаъҳои ҳароратианд.



1. Рӯшноӣ чӣ гуна манбаъҳо дорад?
2. Шабонарӯзи гузашта ба шумо чӣ гуна нурҳо таъсир бахшид?

§60. Тайфҳо (спектрҳо) ва асбобҳои тайфсанҷӣ

Акнун бинем, ки тобиши манбаъҳои гуногун чӣ тавр таҳқиқ карда мешавад.

Тақсими энергия дар тайф (спектр). Ҳеч манбаъ рӯшноии якранга (ё худ якдарозӣ) ё, чунон ки маъмулан мегӯянд, рӯшноии монохроматӣ намеафканад. Ин аз таҷрибаҳои таҷзияи кардаи рӯшноӣ (ниг. § 44) ва инчунин мушоҳидаи падидаҳои интерференс ва дифраксия аён аст.

Энергияи аз манбаъ бо худ гирифтаи рӯшноӣ бо тарзи муайян ба мавҷҳои гуногундорозие тақсим мешаванд, ки онҳо дар таркиби дастаи рӯшноӣ мавҷуданд. Ҳамчунин метавон гуфт, ки энергия вобаста ба басомадҳо тақсим мешавад, зеро дарозии мавҷ ва басомад бо ҳам алоқаманд ҳастанд:

¹Тахлиянайча (пардахтнайча) – «найчаи разрядӣ».

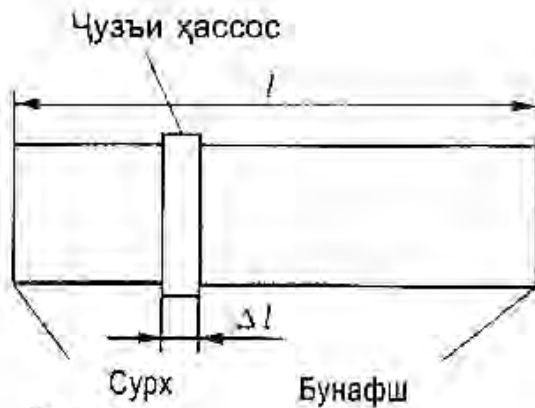
$$\lambda v = c$$

Зичии сели тобиши електромагнитӣ ё худ шиддат (интенсивият)-и ин гуна тобиш I (ки дар бораи он дар § 31 сухан рафта буд) бо энергияи «фарогиранда»-и ҳама басомадҳо ΔW таъйин мешавад. Барои таҳлили тақсимооти басомадии тобиш ин гуна мафҳуми нав чорӣ кардан мебояд: *тобиши мутобиқ ба фосилаи воҳидии басомад*. Ин бузургӣ *зичии тайфӣ* (зичии спектрӣ)-и шиддати тобиш ном гирифтааст. Онро бо $I(\nu)$ ишорат мекунем. Он гоҳ шиддати мутобиқ ба фосилаи басомадии $\Delta\nu$ -ро дар шакли $I(\nu)\Delta\nu$ ифода кардан ҷоиз аст. Баъд ин гуна ифодаҳоро чамъ карда, зичии сели тобиш I -ро меёбем.

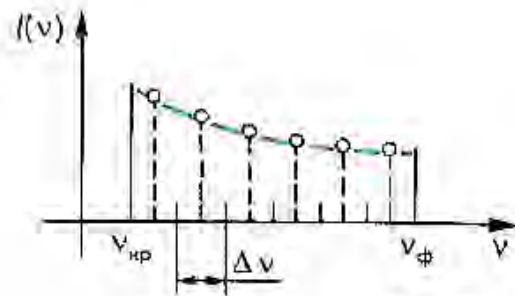
Зичии тайфии сели тобишро бо роҳи таҷрибавӣ ёфтан мумкин аст. Барои ин бо ёрии маншур (призма) тайфи тобиши таркиби дастаи рӯшноии, масалан, камони электрикиро ба вучуд оварда, зичии сели тобиши мутобиқ ба фосилаи басомадии паҳноиаш $\Delta\nu$ -ро чен кардан мебояд. Дар баҳододи (хатто тақрибии) тақсимооти энергия ба чашми худ эътимод доштан нораво мебуд. Чаро? Чунки чашм ҳар соҳаи тайфро ҳар хел ҳис мекунад ва ҳассосияти зиёдтарини он ба соҳаи зардусабзи тайф рост меояд. Беҳтар ин аст, ки ҷисми сип-сиёҳ истифода шавад: ин гуна ҷисм рӯшноии ҳама дарозиҳои мавҷро қариб пурра фуру бурда, гарм мешавад. Пас, ҳарорати ин ҷисмро чен карда, дар бораи миқдори энергияи дар воҳиди вақт фуру бурдаи он хулоса баровардан мумкин аст.

Дар ин гуна таҷриба ҳароратсанҷи муқаррариро истифода кардан натиҷаи матлуб намедихад, чаро ки ҳассосияти он зиёд нест. Барои чен кардани ҳарорат асбобҳои ҳассостар заруранд. Ин ҷо ҳароратсанҷи электрикии муқовиматро (ниғ. китоби дарсии «Физика, 10, § 69) истифода кардан беҳтар аст. Ҷузъи ҳассоси ин ҳароратсанҷ лавҳачаи филизиест, ки рӯяш қабати тунуки дуда давонда шудааст. Дуда рӯшноии соҳиби ҳама дарозиҳои мавҷро қариб пурра фуру мебарад.

Лавҳачаи гармоҳискунандаи асбобро дар ин ё он ҷойи тайфи маншурӣ (он ки бо ёрии маншур – призма ҳосил шудааст) ҷой додан мебояд (рас. 148). Тамоми соҳаи намоёни тайфи дарозиаш l -ро аз шуоҳои сурх то бунафш фосилаи басомадии



Рас. 148



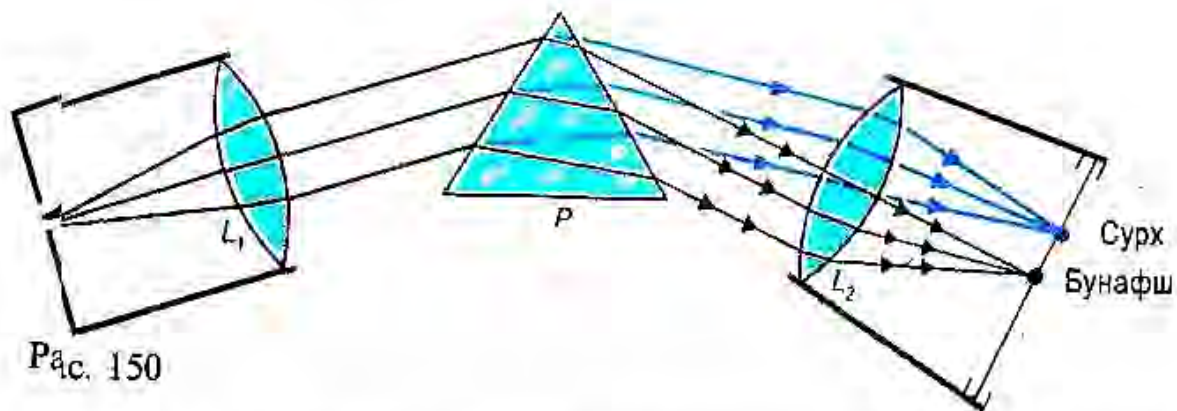
Рас. 149

$v_c \div v_b$, вале пахноии Δl лавҳачаи сиёхро фосилаи танги Δv мувофиқ меояд. Аз рӯи ҳарорати лавҳачаи сиёх миқдори энергияро ёфтан мумкин аст, ки ба фосилаи басомадҳои Δv мансуб аст. Қойи лавҳачаро ба рафти тайф тағйир дода, энергияи ба ҳар фосилаи басомадӣ ростояндаро чен карда, мебинем, ки қисми зиёди энергия на ба соҳаи зардусабзи тайф, чунон ки дар чашм менамояд, балки ба соҳаи сурхи он рост меояд.

Аз рӯи натиҷаи ин таҷрибаҳо нигора (график)-и вобастагии зичии тайфии шиддати тобишро ба басомад месозанд. Зичии тайфии шиддати тобиши таҳқиқшавандаро, чунон ки гуфтем, аз рӯи ҳарорати лавҳачаи сиёхи асбоб меёбанд. Басомадро бошад, ёфтан дар сурате осон аст, ки асбоби барои таҷзия кардани тайф истифодашаванда дараҷабандӣ шуда бошад, яъне маълум бошад, ки ин ё он қитъаи тайф ба кадом қимати басомад мутобиқ аст.

Дар тири уфуқии нигора қиматҳои басомадҳои мутобиқ ба мобайни фосилаҳои Δv ва дар тири амудӣ зичии тайфии шиддати тобишро гузошта, чанд нуқтае ҳосил мекунем, ки аз пайвастании онҳо як хати қасри раво ба вучуд меояд (рас. 149). Ин хати қаср дар бораи тақсими энергия дар қисми намоёни тайфи камони электрикӣ тасавури аёнӣ медиҳад.

Асбобҳои тайфсанҷӣ (спектрсанҷӣ). Барои таҳқиқи амиқи тайфҳо роғи танги маҳдудкунандаи дастаи рӯшноӣ ва маншур (призма) ворӣ олатҳои сода кофӣ нестанд. Асбобҳои заруранд, ки тайфи возеҳ дода тавонанд, яъне мавҷҳои гуногундарозиро нағз ҷудо карда тавонанд, то ки қитъаҳои алоҳидаи тайф



Рас. 150

якдигарро напӯшонанд (ё қариб напӯшонанд). Ингуна асбобҳо *асбобҳои тайфсанҷӣ* (асбобҳои спектрсанҷӣ) ном гирифтаанд. Қисми асосии ин гуна асбобро маъмулан маншур ё панҷараи диффраксионӣ ташкил медиҳад.

Сохти асбоби тайфсанҷии муншурдорро бинем (рас. 150). Дастаи шуъби таҳқиқшаванда аввал ба коллиматор ном чузъи асбоб дохил мегардад. Коллиматор лӯлаест, ки дар як нӯгаш пардаи роғдор ва дар нӯги дигараш линза (наскӣ)-и чамъоваранда (L_1) дорад. Роғи номбурда дар конуни линза воқеъ аст. Бино бар ин дастаи титшавандаи рӯшноии аз роғ ба линза зананда аз линза дар шакли дастаи мувозӣ (параллели) берун омада, ба маншури P мезанад.

Азбаски басомадҳои гуногунро қобилиятҳои шуъбикании гуногун мувофиқ меояд, бино бар ин аз маншур дастаи шуъбҳои мувозие мебарояд, ки яксамт нестанд. Онҳо ба линзаи L_2 мезананд. Дар ҳамвори конунии ин линза экран – шишаи тор (шошаффоф) ё фотолаваҳа мегузоранд. Линзаи L_2 дастаҳои мувозӣ (параллели)-и шуъбҳо дар экран чамъ меоварад – дар натиҷа ба ҷойи тасвири ягонаи роғ як қатор тасвирҳо пайдо мешавад: ба ҳар басомад (сахехтар гӯем, ба ҳар фосилаи танги тайфӣ) як тасвири ба худ хос мувофиқ меояд. Ҳамаи ин тасвирҳо тайфи таҳқиқшавандаро ба вучуд меоваранд.

Асбоби тавсифшуда *спектрограф* (тайфнигор) ном гирифтааст. Агар ба ҷойи линзаи дуюм ва экран барои мушоҳидаи басарӣ (визуали)-и тайфҳо *лӯлаи дид* истифода шавад, асбобро *спектроскоп* (тайфнамо) мегӯянд.

Шишагин будани маншурҳо ва дигар чузъҳои асбобҳои тайфсанҷӣ ҳатмӣ нест. Ба ҷойи шиша маводи дигари шаффоф

– кварс, намаксанг ва ғ.-ро низ истифода кардан мумкин аст.

Шумо дар ин банд бо мафҳуми нав – зичии тайфии шиддати тобишҳо шинос шудаед. Бикӯшед, ки моҳияти онро хубтар дарк бикунед.



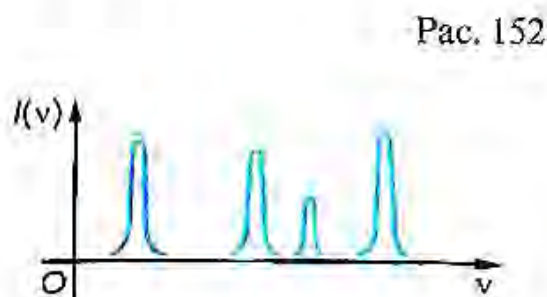
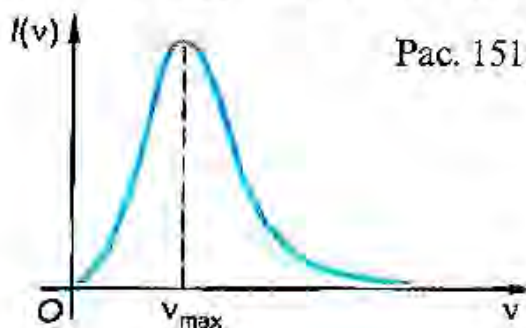
1. Сохти асбоби тайфсанҷие, ки дар он ба ҷойи маншур (призма) панҷараи дифраксионӣ истифода мешавад, бояд чӣ гуна бошад?
2. Таркиби тайфии ин ё он навъи тобишро таҳқиқ кардан чӣ зарурат дорад? (Агар инро ҳозир фаҳм карда натавонед, рӯҳафтада нашавед – бандҳои оянда роҳи шуморо рӯшантар мегардонанд).

§61. Навъҳои тайфҳо (спектрҳо)

Таркиби тайфи (спектри)-и тобиши моддаҳо ба се гуногун мебошад. Бо вучуди ин ҳама тайфҳоро ба се навъ тақсим кардан раво аст.

Тайфҳои бефосила (пайваста). Тайфи Офтоб ё тайфи фонуси камонӣ тайфи пайваста (бефосила) мебошад. Ин нишони он аст, ки тайф аз мавҷҳои соҳиби ҳама дарозӣҳо таркиб ёфтаасту фосила надорад, пайваста мебошад. Ин гуна тайф дар экрани спектрограф ба шакли тасмаи рангоранги пайваста пайдо мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. V, I).

Тақсимооти басомадии энергия, яъне зичии тайфии шиддати тобиш барои ҳар қисм ҳар хел аст. Чунончи, қисми сатҳаш бисёр сиёҳ мавҷҳои электромагнитии ҳамадарозӣ (ҳамабасомад) меафканад, аммо дар ин маврид хатти қачи вобастагии зичии тайфии шиддати тобиш ба басомад дар басомади муъайяни ν_{max} максимум дорад (рас. 151). Энергияи ба басо-



мадҳои хеле паст ($\nu \rightarrow 0$) ва хеле баланд ($\nu \rightarrow \infty$) ростояндаи тобиш басте кам аст. Дар сурати зиёд кардани ҳарорат максимуми энергияи тобиш сӯйи мавҷҳои кӯтоҳ мекӯчад.

Тайфи бефосила, чунон ки таҷриба нишон дод, ҳосилчисмхоест, ки саҳт ё моеъанд. Ин гуна тайфро газҳои саҳтфишурда низ хориҷ мекунанд. Барои ҳосил кардани тайфи бефосила ҳисбро то ҳароратҳои баланд гарм кардан мебаранд.

Соҳти тайфи бефосила ва ҳуди далели маҷудияти он на танҳо ба ҳосиятҳои атомҳои алоҳидаи нурафкан, балки ба андозаи зиёд ба таъсири мутақобили атомҳо (бо якдигар) бастагӣ дорад.

Плазмаи баландҳарорат низ тайфи бефосила дорад. Мавҷҳои электромагнитие, ки плазма меафканад, асосан дар натиҷаи бархӯрдҳои электронҳо бо ионҳо ба вуҷуд меоянд.

Тайфҳои раҳрах. Агар дар шӯълаи газҷароғ порчаи асбести намакоболударо андозем, дар спектроскоп дар замини базӯр намоёни тайфи бефосилаи шӯъла раҳи зарди дурахшоне пайдо мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. V. 2). Онро бухори натрий, ки дар натиҷаи дар шӯъла таҷзия шудани молекулаҳои намаки оҳӣ ба вуҷуд омадаанд, ҳосил мекунанд. Дар ҳамон варақаи ранга тайфҳои ҳидроген ва ҳелий (гелий) низ оварда шудааст. Ҳар яке онҳо силсилаи хатҳои рангаи гуногундурахшест, ки бо тасмаҳои васеи тира ҷудоанд. Ин гуна тайфро *тайфи раҳрах* мегӯянд. Буди тайфи раҳрах нишони он аст, ки модда рӯшноии дарозии мавҷаш ба кулӣ муъайян (саҳтгар гӯем – дар фосилаҳои тайфии бағоят танг) меафканад. Дар рас. 152 тақсими тақрибии зичии тайфии шиддати тобиш дар тайфи раҳрах тасвир ёфтааст. Ҳар як раҳ паҳноии муъайян (паҳноии маҳдуд) дорад.

Тайфи раҳрах ҳосилчисмхоест, ки дар ҳолати газии атом-атом (ҳолати газӣ, аммо на ҳолати молекулярӣ!) мебошанд. Дар ин маврид рӯшноӣ аз тарафи атомҳои афканда мешавад, ки онҳо бо якдигар амалан таъсири мутақобил намеkunанд. Ин асоситарин навъи тайфҳост.

Атомҳои ҷудоғонаи ҳар як унсурӣ кимиёӣ мавҷҳои дарозиашон ба кулӣ муъайян меафкананд.

Барои мушоҳидаи тайфҳои раҳрах маъмулан нурафшонии

бухори модда (дар рӯи шӯъла) ё нурафшони тахлияи газиро (дар ягон лӯлаи пури гази таҳқиқшаванда) истифода мекунад.

Дар сурати афзудани зичии гази атомӣ хатҳои алоҳидаи тайф васеъ мешаванд ва баъд, хангоми хеле зиёд кардани зичии газ (яъне хангоми фишурдаи он), вақте ки таъсири мутақобили атомҳо роли муҳим пайдо мекунад, рахҳо якдигарро қисман пӯшонда, тайфи пайваста ба вучуд меоваранд.

Тайфҳои наворӣ. Тайфи наворӣ (ё тасма-тасма) аз наворҳои чудогонае таркиб меёбад, ки фосилаҳои байнашон тира ҳастанд. Бо ёрии асбоби тайфсанҷии бисёр хуб метавон дид, ки ҳар як навор аз маҷмӯи адади зиёди хатҳои басо ҷафс иборат аст. Тайфи навориро, бар хилофи тайфи рахрах на атомҳо, балки молекулаҳои бо якдигар ноалоқаманд ё сусталоқаманд ба вучуд меоваранд.

Барои мушоҳида кардани тайфҳои молекулаӣ низ мисли мавриди мушоҳидаи тайфҳои рахрах маъмулан нурафшони бухори моддаҳо (дар шӯъла) ё нурафшони тахлияи газӣ истифода мешавад.

Тайфҳои фуруӯбурд. Ҳама моддаҳои, ки атомҳои он дар ҳолатҳои ангеҳта воқеанд, мавҷи рӯшноӣ меафкананд. Энергияи ин мавҷҳо аз рӯи дарозии худ бо тарзи муайян тақсим мешавад. Дар ин ё он модда фуруӯ рафтани рӯшноӣ низ ба дарозии мавҷ вобаста мебошад. Чунончи, шишаи сурх мавҷҳои мутобиқи рӯшноии сурх ($\lambda \approx 8 \cdot 10^{-7}$)-ро аз худ мегузаронаду ҳама мавҷҳои дигарро фуруӯ мебарад.

Агар рӯшноии сафедро аз даруни гази сарди нурафкан гузаронем, дар замини тайфи пайвастаи манбаъ рахҳои тирагун (торик) пайдо мешавад (инг. варакаи ранга, рас. V, 5-8). Газ бештар аз ҳама рӯшноии соҳиби ҳамон дарозии мавҷро фуруӯ мебарад, ки онро худ дар ҳолати саҳт тафсида будан меафканад. Рахҳои торик дар замини тайфи пайваста – инҳо хатҳои фуруӯбурди рӯшноӣанд. Маҷмӯи онҳо тайфи фуруӯбурдро ташкил медиҳад.

Навъҳои гуногуни тайфҳо мавҷуданд – тайфҳои пайваста (бефосила), рахрах ва наворӣ. Ҳамин миқдор тайфи фуруӯбурд низ вучуд дорад.



1. Оё тайф (спектр)-и тафсламна тайфи найваста (бефосила) аст?
2. Тайфи рахрах аз тайфҳои найваста ва наворӣ чӣ тафовути асосӣ дорад?

§62. Таҳлили тайфӣ

Тайфҳои рахрах роли бағоят муҳим доранд, зеро сохтори онҳо бевосита бо сохти атом алоқаманд аст ва онҳоро атомҳои ба вуҷуд меоваранд, ки аз беруни худ таъсире намебинанд. Аз ин рӯ таҳқиқи тайфи рахрах нахустин қадами шумо хоҳад буд дар роҳи омӯзиши сохти атомҳо. Мушоҳидаи ин тайфҳо имкон дод, ки олимон ба қарри атомҳо «назар андозанд». Ин ҷо оптика бо физикаи атом тамос дорад.

Хосияти асосии тайфи рахрах ин аст, ки дарозиҳои мавҷҳо (ё басомадҳо)-и хоси ин гуна тайфи ягон модда танҳо ба хосиятҳои атомҳои ҳамин модда вобаста аст ба тарзи ангиши атомҳо тамоман бастагӣ надорад. Атомҳои ин ё он унсур кимиёӣ тайфи ба худ хос доранд; онҳо маҷмуъи мавҷҳои дарозишон қатъиян муъайян мебошанд.

Усули аз рӯи тайфи модда муъайян кардани таркиби кимиёии он, яъне *таҳлили тайфӣ* бар ҳамин хосият асос ёфтааст. Тайфҳои рахрах мисли нақши ангуштони одамон сифати хусусии нотакрор доранд. Нотакрор будани нақши рӯи пусти ангушт ёфтани шахси ҷинойткардари осон мегардонад. Мисли ҳамин, тайфи хоси атомҳо имкон медиҳад, ки ба ҷисми таҳқиқшаванда даст нарасонда, таркиби кимиёии онро муъайян кунем.

Ба воситаи таҳлили тайфӣ унсур матлуби таркиби намунаи мураккаби таҳқиқшавандари хатто дар сурати хеле ночиз будани микдори он унсур ошкор сохтан мумкин аст. Барои ин дар таркиби намуна мавҷуд будани ҳамагӣ 10^{-10} г унсур матлуб кофӣ аст, ки таҳлили тайфӣ онро «хис» кунад, яъне ин усули бағоят баландҳассосият мебошад.

Таҳлили микдории таркиби модда аз рӯи тайфи он мушкилтар аст, зеро дараҷаи дурахшонии хатҳои тайф на танҳо

ба массаи модда, балки ба тарзи ангиши атомҳо (ё худ нурафшонии онҳо) низ вобастагӣ дорад. Чунинчи, дар ҳароратҳои паст баъзе хатҳои тайф умуман пайдо намешаванд. Бо вуҷуди ин дар сурати истифода шудани тарзҳои самарбахши ангиши атомҳо таҳлили тайфии миқдорӣ натиҷаи матлуб дода метавонад.

Дар замони ҳозира тайфи ҳама атомҳо ҷадвал карда шудааст. Бо ёрии таҳлили тайфӣ чанд унсури нав – рубидий, сезий ва ғ. кашф шудаанд. Унсурҳои навро аксаран аз рӯи ранги дурахшонтарин рахи тайфи онҳо ном мениҳоданд. Ранги хатҳои рубидий сурхи қигарӣ, лаългун аст; калимаи *сезий* бошад, маънии нилгун дорад – хатҳои асосии тайфи сезий маҳз ҳамин гуна ранг доранд.

Таркиби кимиёии Офтобу ситораҳо низ маҳз ба воситаи ҳамин усул дарк шудааст. (Дар ин маврид усулҳои дигар қобили истифода нестанд). Маълум гашт, ки ситораҳо ҳам аз унсурҳои кимиёии моёии унсурҳои заминӣ таркиб ёфтаанд.

Басе ҷолиб аст, ки ҳелий аввал аз рӯи тайфи Офтоб ва баъд аз он дар атмосфераи Замин ошкор шудааст. Номи ин унсур *ҳелий* (лотиниаш Helium - аз калимаи юнонии helios – Офтоб) таърихи кашфи онро ба ёд меорад: калимаи ҳелий маънии «офтобӣ» дорад.

Таҳлили тайфӣ ба сабаби содаву ҳамаҷониба будани худ дар металлургия (филизсоzӣ), мошинсоzӣ, саноъати атомӣ усули асосии назорати таркиби моддаҳост. Бо ин усул таркиби кимиёии намунаҳои маъданҳои минералҳои низ муайян мекунанд.

Таркиби омехтаҳои мураккаб, хусусан омехтаҳои органикиро одатан аз рӯи тайфҳои молекулии онҳо муайян мекунанд.

Таҳлили тайфиро на танҳо аз рӯи тайфҳои афканиш (яъне аз рӯи нурҳои афкандашаванда), балки инчунин аз рӯи тайфҳои фурӯбурд (хатҳои фурӯбурд) низ анҷом додан имконпазир аст. Маҳз хатҳои фурӯбурд дар тайфи Офтобу ситораҳо имкон медиҳад, ки таркиби кимиёии онҳоро таҳқиқ кунем. Сатҳи дурахшони Офтоб (фотосфераи он) тайфи пайваста дорад. Атмосфераи Офтоб рӯшноии афкандаи фотосфераро интихобан фурӯ мебарад – дар натиҷа дар замини

тайфи пайвастаи фотосфера хатҳои фурӯбурд пайдо мешаванд.

Худи атмосфераи Офтоб ҳам нур меафканад. Дар лаҳзаҳои гирифтӣ Офтоб, вақте ки Моҳ қурси Офтобро панаҳ мекунад, хатҳои тайфи Офтоб «чаппа» мешаванд: дар қойи хатҳои фурӯбурд хатҳои афканиш пайдо мешаванд.

Дойираи таҳлили тайфӣ дар астрофизика бо муъайян кардани таркиби кимиёии ситорахову «абрҳои» газии онҳо ва монанди инҳо маҳдуд намешавад, балки амали аз рӯи тайфҳо муъайян кардан ҳарорат, фишор, суръати ҳаракат, индуксияи магнитиро низ дарбар мегирад.

Бисёр муҳим аст бидонем, ки қисмҳои олами атрофи мо аз чӣ иборатанд. Ва барои муъайян кардани таркиби онҳо тарзҳои гуногун истифода мешавад. Аммо таркиби ситорахову *Қаҳқашонҳо* (галактикаҳо)-ро танҳо бо ёрии таҳлили тайфӣ муъайян кардан имконпазир аст.



1. Барои бо ёрии таҳлили тайфӣ (таҳлили спектри) муъайян кардани таркиби кимиёии порои модда чӣ гуна амалҳоро анҷом додан мешояд?
2. Хатҳои фурӯбурди тайфи Офтоб чиро ишон медиҳанд – таркиби атмосфераи Офтоб ё таркиби моддаҳои қабатҳои чуқури онро?

§ 63. Тобиши инфрасурх ва ултрабунафш

Нури намоён (бо дарозии мавҷи ба худ хос) соҳаи ягонаи мавҷҳои электромагнитӣ нест, балки аз «пасу» «пеши» худ бо нурҳои инфрасурх ва ултрабунафш «иҳота» шудааст (ниг. ба рӯи дарунии муқоваи китоб).

Тобиши инфрасурх. Ба таҷрибае бармегардем, ки дар §60 баён шуда буд. Он ҷо сухан дар бораи таҳқиқи тақсимои энергия дар тайф (спектр)-и камони электрикӣ андар миён буд. Дар сурати сӯйи канори сурхи тайф бурдани ҷузъи ҳассоси асбоби тайфсанҷӣ (яъне лавҳачаи сиёҳ) дидан мумкин аст, ки ҳарорати лавҳача меафзояд. Агар лавҳачаро аз канори сурх ҳам, ки чашм дар он чизеро дида наметавонад, онсӯтар барем, ҳарорати лавҳача боз ҳам зиёдтар мешавад. Мавҷҳои электромагнитӣ

тиеро, ки сабаби ин гуна афзоиши ҳарорат мебошанд, *мавҷҳои инфрасурх* мегӯянд. Онҳоро ҳар гуна қисми тафсида (ҳатто дар мавриди рӯшноӣ наафкандани худ) хориҷ карда метавонад. Чунончи, печи тафсон ё батареи гармоиши хона мавҷҳои инфрасурхе меафкананд, ки онҳо қисмҳои атрофро гарм мекунад. Ҳамин аст, ки ин мавҷҳоро *мавҷҳои ҳароратӣ* низ меноманд.

Мавҷҳои инфрасурх, ки барои чашм ҳиснопазиранд, назар ба рӯшноии сурх дарозии зиёдтар доранд. Максимуми энергияи тобиши камони электрикӣ ва ҷароғи электрикӣ ба соҳаи шуоъҳои инфрасурх рост меояд. Тобиши инфрасурх барои хушккандани пӯшишҳои рангуборӣ, сабзавот, мева ва ғ. истифода мешавад.

Асбобҳои сохта шудаанд, ки тасвири инфрасурхи нонамоёни ҷойи мушоҳидашаванда ё объектро ба тасвири намоён табдил медиҳанд. Дурбинҳо ва асбобҳои нишонагирие мавҷуданд, ки бинишро дар торикӣ ҳам имконпазир мегардонанд.

Тобиши ультрабунафш. Аз канори бунафши тайф ҳам дур кардани лавҳачаи сиёҳи асбоби тайфсанҷӣ боиси афзудани ҳарорати лавҳача мегардад, ҳарчанд ки ин афзоиш хеле кам аст. Пас, мавҷҳои ҳам мавҷуданд, ки назар ба дарозии мавҷи рӯшноии бунафш кӯтоҳтаранд. Онҳоро *мавҷҳои ультрабунафш* меноманд.

Тобиши ультрабунафшро бо ёрии экране метавон ошкор сохт, ки он рӯкаши люминесценсӣ дорад. Ин гуна экран бо таъсири нурҳои ультрабунафш рӯшноии сабзи кабудтоб меафшонанд.

Тобиши ультрабунафш «фаъолияти» зиёди кимиёӣ дорад. Ин тобишро фотоэмулсия хуб ҳис мекунад; агар дастаи шуоъҳои ультрабунафшро дар хонаи торик ба қоғази суратгирӣ (ҳамон фотоэмулсия) равона кунем, баъди падида овардани қоғаз мебинем, ки соҳаи паси канори бунафши тайф назар ба соҳаи таъсири нури сафед бештар тира мешавад.

Тобиши ультрабунафш тасвири аён ба вучуд намеоварад. Ин тобиш нонамоён бошанд ҳам, ба шабакияти чашм ва пӯсти одам таъсири сахт ва харобиовар расонда метавонад. Дар қабатҳои болоии атмосфера на ҳама тобиши ультрабунафши Офтоб ба

пуррагӣ фуру бурда мешавад. Бино бар ин дар кӯхҳои баланд ё дар рӯи барф бе айнаки тира ва муддаги дурудароз бе либос будан нашоёд. Шиша тобиши ултрабунафшро хуб фуру мебарад. Пас, айнаки муқаррарии шишагин чашмро аз таъсири зараровари тобиши ултрабунафш ба хубӣ ҳифз мекунад.

Лек миқдори ками шуоъҳои ултрабунафш шифобахш низ буда метавонад. Бадани худро таҳти тобиши Офтоб қарор додан (хусусан дар овони кӯдакӣ) судманд аст; тобиши ултрабунафш барои сабзидан ва бақувват гардидани вучуди одам мусоъидат мекунад. Ин тобиш ғайр аз таъсири бевосита ба организм (пайдоиши пигменти ҳимоятӣ, офтобхӯрди нӯст, витамини D₂), ба системаи марказии асаб таъсир расонда, тақвият гирифтани як қатор ҷараёнҳои ҳаётан муҳимро боис мегардад. Ин тобиш қобилияти бактериякушӣ низ дорад, бактерияҳои касали-оварро нобуд мекунад ва бо ин мақсад дар тиб истифода мешавад.

Ҷисми тафсон аксаран тобиши инфрасурх меафканад ва ин тобиш назар ба нури намоён (нури сафед) дарозмавҷтар аст. Вале тобиши ултрабунафш кӯтоҳмавҷ аст ва бино бар ин дар афзоиш додани фаъолияти кимиёии моддаҳо ҳиссаи зиёдтар дошта метавонад.



1. Сабаб чист, ки шуоъҳои аз шишаи тиреза гузаштаи Офтоб нӯсти бадани одамро намесӯзонанд?
2. Оё шумо ягон манбаъи тобиши ултрабунафшро дидед?

§64. Тобиши рентгенӣ

Баъзеи шумо дар бораи тобиши инфрасурх ва ултрабунафш шояд чизе нашунида бошед, вале мавҷудияти шуоъҳои рентгениро ҳама медонад. Ин шуоъҳои аҷоиб аз тариқи ҷисмҳои барои рӯшноии муқаррарӣ ношаффоф гузашта метавонанд.

Дарачаи фурубурди тобиши рентгенӣ ба зичии модда вобаста (мутаносиб) мебошад. Бино бар ин бо ёрии тобиши рентгенӣ сурати сохти узвҳои дарунии одамро ҳосил кардан