

Г. Я. МЯКИШЕВ

Б. Б. БУХОВСЕВ

ФИЗИКА

**Китоби дарсӣ барои хонандагони синфи 11-уми
мактабҳои таҳсилоти умумӣ**

Тарҷумаи
С. Қодирӣ

**Бо тавсияи Вазорати маориф ва илми
Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр мешавад**

Душанбе
«ЭР-граф»
2015

Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев.

Физика (китоби дарсӣ барои хонандагони синфи 11-уми мактабҳои таҳсилоти умумӣ). – Душанбе: «ЭР-граф», 2015. - 368 сах.

Хонанда азиз!

Китоб манбаи василаи ба мардум расонидани донишу маърифат аст. Пас онро эҳтиёт кунед, кӯшиш кунед, ки ин китоб соли оянда ба дасти хонандагони дигар дар ҳоли қобили истифода бирасад.

Чадвали истифодаи китоб

№	Ному насаби хонанда	Синф	Ҳолати китоб (баҳои китобдор)	
			Аввали соли таҳсил	Охири соли таҳсил
1				
2				
3				
4				
5				

АНДАРЗ

Дар китобҳои дарсии физикаи синфҳои IX ва X сухан асосан аз хусуси физикаи классикӣ андар миён буд. Ба масъалаҳои замонавии физика бошад, мо танҳо дар мавридҳои саруқор гирифта будем, ки сухан дар бораи қорбурдҳои техникаи ин соҳаи илм (қорбасти асбобҳои нимноқилӣ, истифодаи абарноқилият ва ғ.) рафта бошад.

Қисми зиёди китоби дарсии «Физика, 11» ба физикаи муосир бахшида шудааст. Ин ҷо дар бораи назарияи нисбият, назарияи квантӣ, физикаи ҳастаҳои атомӣ ва зарраҳои бунёди сухан хоҳад рафт.

Дар назари шумо, хонандаи азиз, шояд чунин намояд, ки омӯзиши маҳз ҳамин қисми физика аз ҳама мушкилтар бошад. Вале дар асл боби душвортарин боби «Ларзишҳои электромагнитӣ» аст. Ин душворӣ бо он алоқаманд аст, ки забони риёзии баёни қонуниятҳои физикаи муосир хеле мураккаб шудааст, яъне мо хоҳу нохоҳ маҷбур мешавем, ки дар мактаби миёна физикаи муосирро танҳо дар дараҷаи сифатӣ, қариб бе қорбурди риёзӣ биёмӯзем.

Аммо назарияи ларзишҳо (ё худ навасонот)-ро дар заминаи дониши аз таҳлили риёзӣ андӯхтаи шумо амиқтар муоина қардан мумкин аст. Ин масъала аҳамияти амалӣ дорад. Чунончи, назарияи ҷараёни тағйирёбанда саропо назарияи ларзишҳои электромагнитии маҷбури мебошад. Дигар ин ки дар омӯзиши физика ворӣ илми микдории дақиқ танҳо бо тавсифи сифатии рӯйдодҳои физикӣ маҳдуд шудан нодуруст мебуд. Дар акси ҳол дар бораи ин илм тасавури қамобеш саҳеҳ ҳосил қардан муҳол аст.

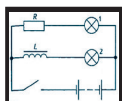
Дар физикаи синфи IX ларзишҳои механикӣ дар доираи содатарин маълумоти риёзӣ муоина шудааст. Шумо дар оғози омӯзиши ларзишҳои электромагнитӣ ба ҳулосае меоед, ки ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ бо ҳамон як қонунҳои риёзӣ баён қарда мешаванд. Баъд шумо бо тавсифи амиқтари ларзишҳо ошно мешавед.

Тартиби мутолиаи китоби дарсӣ ба шумо аз пешгуфтори «Физика, 10» маълум аст. Истифодаи ҳамон тавсияҳо барои шумо дар омӯзиши китоби дарсии «Физика, 11» низ судманд меояд.

(ИДОМАИ) ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Мо дар физикаи синфи X майдонҳои электрикӣ ва магнитии бо мурури замон тағйирнаёбанда, яъне майдонҳои электрикӣ ва магнитии собит (доимӣ)-ро муоина кардем. Он чо барои шумо рӯшан гашта буд, ки майдони электростатикиро зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон)-и беҳаракат, вале майдони магнитиро ҳамон гуна зарраҳои дарҳаракат (ё худ чараёни электрикӣ) ба вучуд меоваранд.

Биёед мутолиаи ин мавзӯёхоро аз омӯзиши майдонҳои электрикӣ ва магнитии бо мурури замон тағйирёбанда оғоз кунем.



Боби 1. ИНДУКСИЯИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ (илқои электромагнитӣ)

Ошқор гардидани ҳамбастагии майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ бисе муҳим аст. Майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда боиси пайдоиши майдони электрикӣ мегардаду майдони электрикии бо мурури замон тағйирёбанда – боиси пайдоиши майдони магнитӣ. Бе ин гуна иртиботи байни майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ зухуроти қувваҳои электромагнитӣ рангоранг намебуд, на мавҷҳои радио вучуд медошту на рӯшноӣ ва на бисёр чизҳои дигар.

§ 1. Кашфи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)

Соли 1821 Майкл Фарадей дар дафтари лаборатории худ чунин навишт: «Магнетизмро ба барқ (электр) табдил додан меконанд». Ва ӯ баъди 10 сол ба ҳалли ин масъала муваффақ гашт.

Тасодуфӣ нест, ки дар роҳи кашфи хосиятҳои нави таъсири мутақобили электромагнитӣ қадами ҳалқунандаро бунёдгузори тасаввуроти марбут ба майдони электромагнитӣ Фарадей ниҳодааст. Ӯ ба ягонагии табиати падидаҳои электрикӣ шакке надошт. Дар ин чода Фарадей кашфиёте кард, ки он баъдҳо за-

минаи эҷоди генераторҳои табдилдиҳандаи энергияи механикӣ ба энергияи ҷараёни электрикӣ гардидааст. Бояд гуфт, ки батареҳои гальванийӣ, аккумуляторҳои (анборҳои) ва дигар манбаҳои ҷараёни электрикӣ ҳиссаи ночизи энергияи электрикии истеъмолшавандаро ҳосил мекунанд.

Ҷараёни электрикӣ, фикр мекард Фарадей, метавонад, ки порчаи оҳанро магнитнок кунад. Оё магнит дар навбати худ наметавонад, ки ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад? Робитаи ин ду падидаро муддати тӯлоние ошкор кардан муяссар намегашт. Дар ин роҳ дарки мабдаи асосӣ бағоят мушкил буд: фаҳмидан осон набуд, ки танҳо магнити дарҳаракат ё майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда метавонад дар ғалтак ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад.

Ҳикояти зерин далел аст, ки ҷодаи машғулоти илмӣ чӣ тасодуфҳо дошта метавонад. Қариб ҳамзамон бо Фарадей олими суисӣ (швейтсариягӣ) Колладон низ мекӯшид, ки ба воситаи магнит дар ғалтак ҷараёни электрикӣ ба вучуд биёрад. Ӯ гальванометреро ба кор мебард, ки ақрабаки сабуке дошт ва он ақрабақ андаруни ғалтаки асбоб ҷойгир буд. Барои он ки магнит ба ақрабақ асари бевосита надошта бошад, Колладон нӯгҳои сими ғалтакро то ҳучраи ҳамсоя кашида, ҳамон ҷо онҳоро бо гальванометр васл кард. Баъд ӯ магнитро андаруни ғалтак ҷой дода, боз ба ҳучраи гальванометрдор даромад ва ғайри чашмдошти худ ҳайрон монд, ки ҷаро гальванометр аз ҷараёни электрикӣ нишоне надорад. Аммо агар ӯ дастеро маъмури магниту ғалтак мекарду худ ба мушоҳидаи рафтори ақрабаки гальванометр мепардохт, бешак, ин кашфиёти аҷиб насибаш мегардид. Вале ин тавр нашуд, зеро магнити нисбат ба ғалтак беҳаракат дар занҷири ғалтак ҳеҷ гуна ҷараён ба вучуд намеоварад. (Колладон дар лаҳзаҳои ба ғалтак даровардан ва аз он баровардани магнит рафтори ақрабаки гальванометрро намедид).

Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ ин аст: дар ноқилконтуре, ки ё дар майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда беҳаракат бошад ё дар майдони магнитии собит (доимӣ) тавре ҳаракат кунад, ки адади хатҳои индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ)-и контурро бурранда тағйир ёбад, дар он контур ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд. Ин падида 29 августи с. 1831 кашф шудааст. (Басе кам воқеъ мешавад, ки санаи ин гуна кашфиёти муҳим ба дурустӣ маълум бошад).

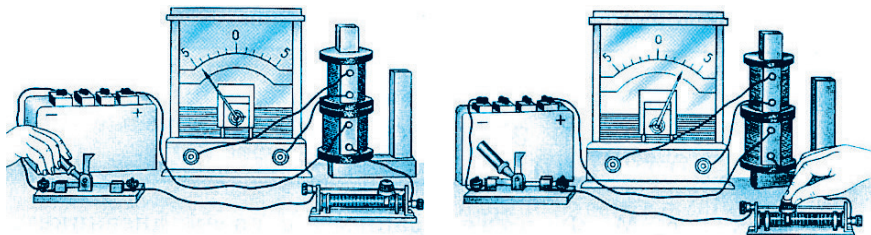
Сараввал падидаи индуксияи электромагнитӣ дар ноқилҳое кашф шуда буд, ки нисбат ба якдигар беҳаракат меҳобиданд ва танҳо ҳангоми кандан ё пайвастании занҷир дар онҳо ҷараёни электрикӣ ҳосил мегардид.

Фарадей ба хубӣ дарк мекард, ки ҳангоми ба якдигар наздик бурдан ё аз якдигар дур кардани ноқилҳо низ ҳуди ҳамон натиҷа (мисли мавриди кандан ва пайвастании занҷир) мушоҳида мешавад. Дар ҳамин замина ӯ таҷрибаи дигаре карда, нишон дод, ки ҳангоми нисбат ба якдигар ҳаракат додани ғалтакҳо низ дар занҷир ҷараён ба вуҷуд меояд. Фарадей, ки бо асарҳои Ампер ошно буд, мефаҳмид, ки магнит ҷисмест иборат аз маҷмӯи ҷараёнҳои бисёр ночизи дар молекулаҳо гардон. Рӯзи 17 октябри ҳамон сол (чунонки дар дафтари лаборатории Фарадей сабт аст), ҷараёни индуксионие ошкор гашт, ки дар ғалтак дар лаҳзаи ба он даровардан ё аз он баровардани магнит ба вуҷуд меояд.

Ҳамин тариқ, Фарадей дар муддати ҳамагӣ як моҳ қариб ҳама хусусиятҳои муҳимтарин падидаи физикӣ – илқои электромагнитиро дар таҷриба дарк кард.

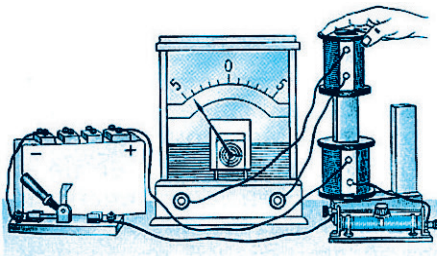
Дар замони мо таҷрибаҳои Фарадейро ҳар кас такрор карда метавонад. Барои ин танҳо ду ғалтак, як магнит, аккумулятор ё батареи галванийӣ ва як галванометри ба кадри кофӣ ҳассос зарур аст.

Дар дастгоҳе, ки дар рас.1,а тасвир ёфтааст, ҷараёни индуксионӣ дар яке аз ғалтакҳо дар лаҳзаи кандан ё пайвастании занҷири электрикӣ ғалтаки дигар (ки нисбат ба ғалтаки аввал беҳаракат аст) пайдо мешавад. Дар таҷрибаҳои дигар ҷараёни индуксионӣ дар сурати ба воситаи реостат дар яке аз ғалтакҳо тағйир додани қувваи ҷараён (рас.1,б) ё дар сурати нисбат ба якдигар ҳаракат додани ғалтакҳо (рас.2,а) ё дар мавриди нисбат ба ғалтак ҳаракат додани магнито доимӣ (рас. 2,б) ҳосил мешавад.

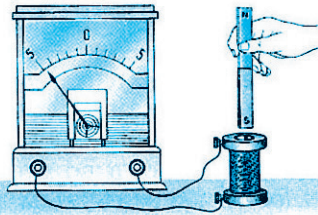


Рас.1 а

б



Рас.2 а



б

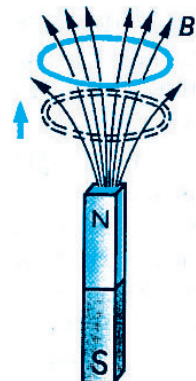
Умумияти алоқаманд бо онро, ки пайдоиши ҷараёни индуксионӣ дар таҷрибаҳои гуногун ба чӣ бастагӣ дорад, ханӯз ҳуди Фарадей пай бурда буд.

Дар ноқилконтуре сарбаст (контуре ҷараённаккунандаи сарбаст) хангоми тағйир ёфтани адади хатҳои индуксияи магнитие, ки аз тариқи масоҳати маҳдудкардаи контур мегузаранд, ҷараёни индуксионӣ ба вуҷуд меояд. Ва ҳар қадре ки адади хатҳои индуксияи магнитӣ зудтар тағйир пазирад, бузургии ҷараёни индуксионӣ ҳамон қадр бештар хоҳад буд. Дигар ин ки дар ин маврид сабаби тағйир пазируфтани адади хатҳои индуксияи магнитӣ аҳамияте надорад.

Ин сабаб ду сарчашма дорад: 1) тағйироти адади хатҳои аз хатҳои индуксияи магнитӣ, ки дар натиҷаи дар ғалтаки ҳамсоя тағйир ёфтани қувваи ҷараён пайдо шуда, ба сатҳи ноқилконтуре беҳаракат мезананд (рас.1,б) ва 2) тағйироти адади хатҳои индуксия дар натиҷаи дар майдони магнитии ғайриҷамъинсае, ки зичии хатҳои қуввагаш дар фазо тағйир меёбад, ҳаракат кардани контур (рас. 3).



Дар ноқилконтуре сарбаст дар сурате ҷараёни электрикӣ ба вуҷуд меояд, ки контур дар майдони магнитии тағйирёбанда воқеъ бошад ё дар майдони магнитии доимӣ тавре ҳаракат кунад, ки адади хатҳои индуксияи магнитии аз тариқи контур гузаранда (яъне хатҳои қуввагаш ба контур зананда) тағйирёбанда бошад.



Рас.3



1. Фарқи асосии майдонҳои электрикӣ ва магнитии тағйирёбанда аз майдонҳои электрикӣ ва магнитии доимӣ дар чист?
2. Индуксияи электромагнитӣ (яъне илқои электромагнитӣ) чӣ гуна падида аст?
3. Ноқилконтуре сарбаст дар майдони магнитии якҷинсаи ба вақт новобаста бояд чӣ тавр – пешраванда ё гардишхӯранда – ҳаракат кунад, ки дар он ҷараёни индуксионӣ ба вуҷуд ояд?

§2. Сели магнитӣ

Барои фароҳам овардани таърифи миқдории саҳеҳи қонуни индуксияи электромагнитии Фарадей сели индуксияи магнитӣ ном мафҳумро истифода кардан матлуб аст.

Майдони магнитиро дар ҳар нуқтаи фазо вектори индуксияи магнитӣ B тавсиф мекунад. Ғайр аз ин боз як бузургии дигареро истифода кардан мумкин аст, ки ба қиматҳои вектори B на дар як нуқта, балки дар ҳама нуқтаҳои сатҳи фарогирифтаи контури сарбастии ҳамвор бастагӣ дорад.

Барои ин, биёед, ноқили сарбастии ҳамворе (контуре)-ро гирем, ки масоҳати S дорад ва дар майдони магнитии якҷинса воқеъ аст. Кунҷи байни нормали n (ба ҳамвори ноқил) ва самти вектори индуксияи магнитӣ B -ро бо α ишорат мекунем (рас.4). Сели магнитӣ (сели индуксияи магнитӣ)-и Φ аз тариқи сатҳи S гуфта бузургiero мефаҳманд, ки ба ҳосили зарби модули вектори индуксияи магнитӣ B , масоҳати S ва косинуси кунҷи байни векторҳои B ва n баробар аст:

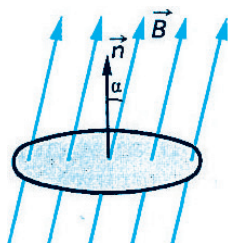
$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (1.1)$$

Ҳосили зарби $B \cos \alpha = B_n$ соя-тасвир (проексия)-и ба нормали n афкандаи вектори индуксияи магнитиро ифода мекунад.

Пас, чунин навиштан мумкин аст:

$$\Phi = B_n S \quad (1.2)$$

Сели магнитиро чун бузургии шарҳ додан мумкин аст, ки он ба адади хатҳои индуксияи магнитии ба масоҳати S зананда мутаносиб мебошад.



Рас.4.

Воҳиди сели магнитӣ *вебер* ном гирифтааст. *Сели магнитии баробар ба 1 вебер (1 Вб)-ро майдони магнитии якҷинсае ба вучуд меоварад, ки аз тариқи сатҳи нисбат ба вектори индуксияи магнитӣ амудан воқеъшудаи масоҳаташ 1 м^2 индуксияи 1 Тл (тесла) дошта бошад.*



Сели индуксияи магнитӣ тақсимоти майдони магнитиро дар сатҳи фарогирифтаи контури сарбасти ифода мекунад.

§3. Самти ҷараёни индуксионӣ (ҷараёни илқой).

Қоидаи Ленс

Биёед, акнун масъалаи самти ҷараёни индуксиониро, ки бисёр муҳим аст, рӯшан кунем.

Ғалтаке мегирем, ки дар он ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меояд ва онро ба галванометр мепайвандем. Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки дар мавридҳои ба ғалтак наздик бурдан ё аз он дур кардани яке аз қутбҳои магнит самти ин ҷараён тағйир меёбад (ниг. рас.2,б).

Ҷараёни индуксионӣ бо магнит як навъ таъсири мутақобил мекунад – ҷараён вобаста ба самти худ магнитро ҷазб мекунад ё ин ки онро тела медуҳад. Ғалтаке, ки аз он ҷараён ҷорист, ба магнит (магнити соҳиби қутбҳои шимол ва ҷануб) монандӣ дорад. Самти ҷараёни индуксионӣ нишон медуҳад, ки кадом нӯги ғалтак маънии «қутби шимол» дорад (хатҳои индуксияи магнитӣ аз ҳамин қутб ибтидо мегиранд).

Дар асоси қонуни бақои энергия гуфтан мумкин аст, ки дар кадом маврид ғалтак магнитро ҷазб мекунаду дар кадом маврид онро тела медуҳад.

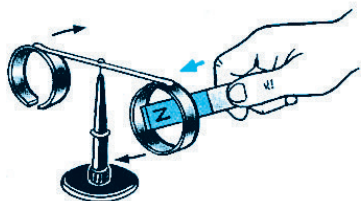
Таъсири мутақобили ҷараёни индуксионӣ бо магнит. Агар магнитро ба ғалтак наздик кунем, ҷараёни индуксионии дар ин маврид дар ғалтак пайдошаванда самте хоҳад дошт, ки магнитро ҳатман тела медуҳад. Барои ба якдигар наздик бурдани магнит ва ғалтак кори мусбат иҷро кардан мебояд, яъне ғалтак монанди магнитест, ки ин ё он қутбаш сӯйи ҳамон гуна қутби магнити ба он наздикшаванда нигарон мешавад. Аммо агар қутбҳо якхела бошанд, онҳо тела мекӯранд.

Тасаввур кунед, ки агар акси ин ҳол воқеъ мебуд, ҳангоми магнитро сӯйи ғалтак бурдан магнит худбахуд ба даруни ғалтак кашада мешуд. Вале ин хилофи қонуни бақои энергия мебуд, зеро дар ин маврид энергияи кинетикии магнит меафзуд ва ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меомад, ҳол он ки ин бе сарфи энергия имконпазир нест. Ба иборати дигар гӯем, дар ин сурат энергияи кинетикии магнит ва энергияи ҷараён аз ҳеч, яъне бе сарфи энергия ба вучуд меомаданд.

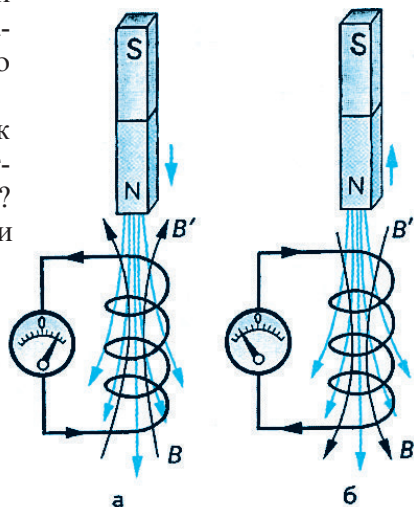
Дар сурати дур кардани магнит, баръакс, ба талаби қонуни бақои энергия бояд қувваи ҷазбкунанда пайдо шавад.

Дурусти ин хулосаро ба воситаи асбобе намоиш додан мумкин аст, ки он дар рас.5 тасвир ёфтааст. Дар нӯғҳои милае, ки гирди меҳвари амудӣ озодона гардиш хӯрда метавонад, ду ҳалқаи алюминӣ (яъне ҳалқаҳои ноқили ҷараён) маҳкам карда шудааст. Якеи он ҳалқаҳо ҷойи ҷоқӣ (ҷойи буридагӣ) дорад. Агар магнитро ба ҳалқаи том наздик барем, дар он ҷараёни индуксионӣ ба вучуд меояд: ин ҷараён тавре ҷорӣ хоҳад буд, ки ҳалқа аз магнит тела меҳӯрад ва миларо гардиш медиҳад. Агар магнитро аз ҳалқа дур кунем, ҳалқа, баръакс, сӯйи магнит ҷазб мешавад. Магнит бо ҳалқаи ҷоқ таъсири мутақобил намекунад, зеро дар ин маврид ҷоқи ҳалқа монеи пайдоиши ҷараёни индуксионӣ мегардад. Сӯйи ғалтак ҷазб шудан ё аз он тела хӯрдани магнит ба он вообаста аст, ки ҷараёни индуксионӣ дар ғалтак чӣ гуна самт дорад. Пас, қонуни бақои энергия имкон медиҳад, ки қоидаи муайян кардани самти ҷараёни индуксиониро шакл бандем.

Таҷрибаҳои ба якдигар наздик кардан ва аз ҳам дур бурдани магниту ғалтак чӣ тафовут доранд? Гап дар он аст, ки дар мавриди



Рас.5.



Рас.6.

аввал адади хатҳои ба печакҳои ғалтак занандаи индуксияи магнитӣ (ё худ сели магнитӣ) меафзояду (рас.6,а) дар мавриди дуоҷим мекоҳад (рас.6,б). Зимнан, дар мавриди аввал хатҳои индуксияи B' -и майдони магнитие, ки онро ҷараёни индуксионӣ дар ғалтак пайдошуда ба вучуд овардааст, аз нӯги болои ғалтак берун меоянд (ғалтак магнитро тела медиҳад!), вале дар мавриди дуоҷим, баръақс, он хатҳо ба ҳамон нӯги болои ғалтак мезананд (медароянд). Ин хатҳои индуксияи магнитӣ дар расм бо ранги сиёҳ тасвир шудаанд.

Қоидаи Ленс. Ана акнун ба хулосаи асосӣ расидем: ҳангоми афзудани сели магнитии ба печакҳои ғалтак зананда ҷараёни индуксионӣ тавре ҷорӣ мегардад (яъне самте хоҳад дошт), ки майдони магнитии зодаи он афзоиши сели магнитии ба печакҳои ғалтак занандаро монеъ мешавад. Дарвоқеъ, хатҳои индуксияи B' -и ин майдон муқобили хатҳои индуксияи B' -и майдоне равонаанд, ки тағйироти он боиси пайдоиши ҷараёни электрикӣ мегардад. Вале агар сели магнитии ба ғалтак зананда суҷ шавад, он гоҳ ҷараёни индуксионӣ майдони магнитии дорой индуксияи B' -ро ба вучуд меоварад – дар натиҷа сели магнитии ба печакҳои ғалтак зананда меафзояд.

Ҳамин аст моҳияти қоидаи умумии муайян кардани самти ҷараёни индуксионӣ. Ин қоида барои ҳама мавридҳо татбиқпазир мебошад. Онро олими рус Э. Ленс муқаррар кардааст.

Аз рӯйи қоидаи Ленс ҷараёни индуксионӣ дар контури сарбаст пайдошаванда бо майдони магнитии худ монеи тағйироти сели магнитие мегардад, ки он ҳамин ҷараёнро ба вучуд овардааст.

Қоидаи Ленсро барои ёфтани самти ҷараёни индуксионии I_i дар контур ба ин тартиб истифода кардан мебошад:

1) аввал самти хатҳои индуксияи магнитии майдони магнитии берунӣ B -ро муайян кардан мебошад;

2) равшан кардан мебошад, ки сели индуксияи магнитии ин майдон аз тариқи сатҳи фарогирифтаи контур меафзояд ($\Delta\Phi > 0$) ё мекоҳад ($\Delta\Phi < 0$);

3) самти хатҳои индуксияи магнитии B' -и майдони магнитии ҷараёни индуксионӣ I_i -ро муайян кардан зарур аст. Мувофиқи қоидаи Ленс ин хатҳо дар сурати $\Delta\Phi > 0$ будан муқобили хатҳои B , вале дар сурати $\Delta\Phi < 0$ будан – ба рафти онҳо равона мешаванд;

4) самти хатҳои индуксияи магнитии B' -ро доништа, аз рӯйи қоидаи пармача (ниг. «Физика, 10», §61) самти ҷараёни индуксионӣ I_i -ро ёфтан мумкин аст.



Самти чараёни индуксионӣ аз рӯйи қонуни бақои энергия муъайян карда мешавад. Чараёни индуксионӣ дар ҳама мавридҳо ба василаи майдони магнитии офарандаи худ монеи тағйироти сели магнитии офарандаи ҳамин чараён мегардад.



- 1. Самти чараёни индуксионӣ (чараёни илқоӣ)-ро чӣ тавр муайян кардан мебояд?*
- 2. Чараёни индуксионӣ дар мисолҳои дар боло муоинашуда кадом сӯ равона аст?*

§4. Қонуни индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)

Қонуни индуксияи электромагнитиро таърифи миқдорӣ медиҳем. Таҷрибаҳои Фарадей нишон дод, ки қувваи чараёни индуксионӣ I_i дар ноқилконтур ба суръати тағйироти адади хатҳои индуксияи магнитие (B) мутаносиб аст, ки онҳо ба сатҳи фарогирифтаи ин контур мезананд. Ин нуктаро дар заминаи мафҳуми «сели магнитӣ» шакли дақиқтар додан мумкин аст.

Сели магнитиро ба таври аёнӣ чун адади хатҳои индуксияи магнитие тасаввур кардан мумкин аст, ки ба сатҳи S мезананд. Бинобар ин суръати тағйироти адади ин хатҳои суръати тағйироти сели магнитиро ифода мекунад.

Агар сели магнитӣ дар муддати кӯтоҳи Δt ба қадри $\Delta\Phi$ тағйир пазирад, пас, суръати тағйироти сели магнитӣ маънии $\Delta\Phi/\Delta t$ хоҳад дошт. Бинобар ин хулосаеро, ки бевосита аз таҷриба бармеояд, чунин шакл додан мумкин аст: *қувваи чараёни индуксионӣ ба суръати тағйироти сели магнитие мутаносиб аст, ки он ба сатҳи фарогирифтаи контур мезанад:*

$$I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия. Дар занҷир он гоҳ чараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки ба барқаҳо (зарядҳо)-и озоди даруни ноқил қувваҳои ғайр таъсир биёранд. Кори ба қадди контури сарбаст кӯчондани барқаи мусбати воҳи-

ди ро қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ) мегӯем. Пас, ҳангоми тағйир ёфтани сели магнитии ба сатҳи фарогирифтаи контур зананда дар ин контур қувваҳои ғайре ба вучуд меоянд, ки таъсири онҳо бо ҚумЭ-и индуксия ном қувваи муҳаррикаи электрикӣ тавсиф мешавад. Онро бо ε_i ишорат мекунанд.

Мувофиқи қонуни Ом барои занчири сарбаст $I_i = \varepsilon_i / R$ аст. Муқовимати ноқил ба тағйироти сели магнитӣ бастагӣ надорад. Пас, таносуби (1.3) танҳо аз он рӯ дуруст аст, ки ҚумЭ-и индуксия ба $\Delta\Phi/\Delta t$ мутаносиб мебошад.

Қонуни индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ). Қонуни индуксияи электромагнитӣ на барои қувваи ҷараён, балки маҳз барои ҚумЭ таъриф дода мешавад. Дар ин гуна таъриф қонуни номбурда онро ифода мекунад, ки моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ ба хосиятҳои ноқилҳо бастагӣ надорад. Мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ ҚумЭ-и индуксия дар контури сарбаст модулан ба суръати тағйироти сели магнитие баробар аст, ки он ба сатҳи фарогирифтаи контур мезанад:

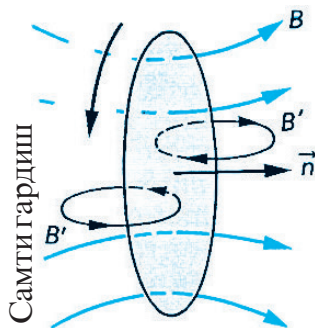
$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|.$$

Хуб, самти ҷараёни индуксионӣ (ё аломати ҚумЭ-и индуксия)-ро аз рӯи қоидаи Ленс дар қонуни индуксияи электромагнитӣ чӣ тавр ба эътибор гирифтанд мебарояд?

Дар рас.7 контури сарбасте тасвир ёфтааст. Самти гардишро, ки муқобили рафти ақрабаки соат аст, мусбат мегӯем. Нормали сатҳ (нормали контур) n бо самти гардиши контур винти ростоб ташкил медиҳад.

Бигзор индуксияи магнитии B -и майдони магнитии берунӣ ба қадди нормали контур равона бошад ва бо мурури замон афзояд. Он гоҳ $\Phi' > 0$ ва $\Delta\Phi/\Delta t > 0$ хоҳанд буд.

Аз рӯи қоидаи Ленс ҷараёни индуксионӣ сели магнитие ба вучуд меоварад, ки барои он $\Phi < 0$ аст. Хатҳои индуксияи B -и майдони магнитии ҷараёни индуксионӣ дар рас.7 бо **ранги сиёҳ** тасвир ёфтаанд. Мувофиқи қоидаи пармача ҷараёни индуксионӣ ба рафти ақрабаки соат (муқобили самти мусбати гардиши контур) равона аст ва ҚумЭ-и индуксия манфист. Бинобар ин дар



Рас.7

ифодаи қонуни индуксияи электромагнитӣ барои ифода кардани ин, ки бузургҳои ε_i ва $\Delta\Phi/\Delta t$ аломатҳои гуногун доранд, бояд аломати «минус» ояд:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (1.4)$$



Қонуни индуксияи электромагнитӣ (1.4)-ро хотирнишон кардан мебояд, яъне фаҳмидан мебояд, ки қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксионӣ чӣ маънӣ дорад ва сели магнитӣ чист.



1. *Сели магнитӣ (ё худ сели индуксияи магнитӣ) чист?*
2. *Сабаб чист, ки қонуни индуксияи электромагнитӣ на барои қувваи чараён, балки маҳз барои қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ) таъриф дода мешавад?*
3. *Қонуни индуксияи электромагнитӣ чӣ таъриф дода шудааст?*
4. *Дар ифодаи қонуни индуксияи электромагнитӣ аломати «минус» овардан чӣ зарурат дорад?*

§ 5. Майдони электрикии тўфонӣ

Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксия ё дар ноқили беҳаракате ба вуҷуд меояд, ки он дар майдони магнитии бо мурури замон тағйирёбанда воқеъ аст ё дар ноқиле ҳосил мешавад, ки он худ дар майдони магнитӣ дарҳаракат аст (ва ҳатмӣ нест, ки ин майдон бо мурури замон тағйир назирада). ҚумЭ дар ин мавридҳо сабаби гуногуни пайдоиши дорад, аммо бузургии он дар ҳарду маврид аз рӯйи ҳамамон як ифода – аз рӯйи қонуни (1.4) ёфта мешавад. Биёед, аввал мавриди якумро бинем.

Бигзор трансформаторе дошта бошем, ки сохташ дар рас. 8 тасвир ёфтааст. Яке аз печакҳои онро ба занҷири чараёни тағйирёбанда пайваста, дар печакҳои дуоҷиб чараён ҳосил мекунем, ба шарте, албатта, ки ин печак ҳам сарбаст бошад, зеро танҳо дар ҳамаин сурат дар ноқилҳои печакҳои дуоҷиб электронҳо ба ҳаракат меоянд.

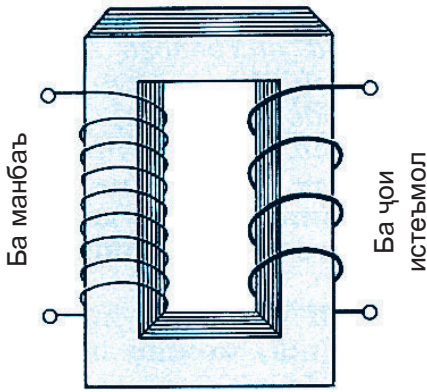
Электронҳоро чӣ гуна қувваҳо ба ҳаракат мебароранд? Ин корро худи майдони магнитӣ (ки ғалтак дар он воқеъ аст) карда наметавонад, зеро ин гуна майдон танҳо ба зарраҳои барқаманд

(зарраҳои заряднок)-и дарҳаракат таъсир дорад (ва аз майдони электрикӣ маҳз бо ҳамин хусусияти худ фарқ мекунад), вале дар мисоли мо ҳам ноқилу ҳам зарраҳои барқаманди таркиби он беҳаракатанд.

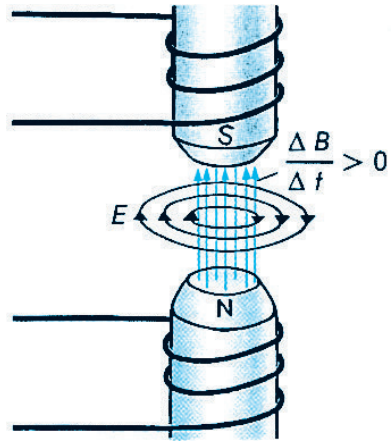
Ғайр аз майдони магнитӣ ба зарраҳои барқаманд (хоҳ ҳаракатманд бошанду хоҳ не) боз майдони электрикӣ таъсир меоварад. Аммо майдонҳоеро, ки то ҳол дар бораи онҳо сухан рафт (майдони электростатикӣ ё майдони собит), зарраҳои барқаманд, яъне барқаҳо ба вучуд меоваранду чараёни индуксионӣ бошад, дар асари майдони магнитии тағйирёбанда пайдо мешавад. Ин нукта фикреро пеш меорад, ки *электронҳоро дар ноқили беҳаракат майдони электрикӣ ба ҳаракат мебарорад ва худ ин майдонро майдони магнитии тағйирёбанда ба вучуд меоварад*. Пас, барои мо аз ин ҷо хусусияти нави бунёни (хусусияти фундаменталӣ)-и майдони магнитӣ сар мезанад: *Майдони магнитӣ, агар бо мурури замон тағйир назирад, боиси пайдоиши майдони электрикӣ мегардад*. Ба ин хулоса пеш аз ҳама Ч. Масквелл расидааст.

Аз ин нуктаи назар падидаи индуксияи электромагнитӣ ба таври нав чилвагар мешавад. Муҳимтарин ҷиҳати он тавлиди майдони электрикӣ ба василаи майдони магнитӣ мебошад. Дар ин маврид буди ноқилконтур (масалан, ғалтак) моҳияти масъаларо тағйир намедихад. Ноқили дорои захираи электронҳои озод (ё зарраҳои дигар) ба мо танҳо ин имконро медиҳад, ки майдони электрикии дар ин сурат пайдошаванда бо осонӣ ошкор карда шавад. Ин гуна майдон электронҳои ноқилро ба ҳаракат меоварад – дар натиҷа мавҷудияти худ майдон ошкор мегардад. Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ дар ноқили беҳаракат наҷандон зуҳури чараёни индуксионӣ мебошад, балки пайдоиши майдони электрикиест, ки барқаҳо (зарраҳои барқаманд)-ро ба ҳаракат мебарорад.

Сохтори майдони электрикие, ки ҳангоми тағйир ёфтани майдони магнитӣ пайдо мешавад, аз сохтори майдони электростатикӣ фарқи кулӣ дорад. Ин майдон бо барқаҳо бевосита алоқамандӣ надорад ва хатҳои шиддати он аз барқаҳо ибтидо гирифта ё дар онҳо интиҳо ёфта наметавонанд. Онҳо умуман аз ягон ҷо ибтидо намегиранд ва дар ягон ҷо интиҳо намеёбанд, балки хатҳои сарбасте мебошанд, ки ба хатҳои индуксияи майдони магнитӣ монандӣ доранд. Ин *майдони электрикии тӯфонӣ* ном майдон аст (рас. 9).



Рас.8



Рас.9

Ҳар қадре ки индуксияи магнитӣ зудтар тағйир пазирада, шиддати майдони электрикӣ ҳамон қадр бештар меояд. Аз рӯйи қоидаи Ленс дар сурати $(\Delta B/\Delta t) > 0$ будан (яъне афзудани индуксияи магнитӣ) самти вектори шиддати майдони электрикӣ E бо самти вектори B винти чаптоб ташкил медиҳад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки ҳангоми бо самти хатҳои шиддати майдони электрикӣ гардидани винти чаптоб кӯчиши винт сӯйи пеш бо самти вектори индуксияи магнитӣ як хоҳад буд (ниг. рас.9). Дар сурати суст, яъне $(\Delta B/\Delta t) < 0$ шудани индуксияи магнитӣ, баръакс, самти вектори шиддати E бо самти вектори B винти росттоб ташкил медиҳад.

Хатҳои қуввагии шиддати E ва ҷараёни индуксионӣ ҳамсамт мебошанд. Қувваи аз тарафи майдони электрикӣ тӯфонӣ ба барқа (заряд)-и q таъсиркунанда (ки қувваи ғайр аст) мисли пештара $F=qE$ аст. Вале бар хилофи майдони электрикӣ собит (статсионарӣ) қори майдони тӯфонӣ барои роҳи сарбаст сифрӣ нест. Инро фаҳмидан душвор нест, зеро ҳангоми ба қадди хатти сарбастии шиддати майдони электрикӣ кӯчидани барқа (ниг. рас.9) қор барои ҳама қитъаҳои роҳ ҳамон як аломат дорад. Ин ҳам фаҳмоист, зеро қувва ва кӯчиш ҳамсамтанд. *Қори майдони электрикӣ тӯфонӣ ҳангоми ба қадди ноқили сарбастии беҳаракат кӯчондани барқаи воҳидии мусбат ададан баробари ҚуМЭ-и индуксионӣ дар ҳамин ноқил аст.*

Ҷараёнҳои индуксионӣ дар ноқилҳои пурмасса (калон). Ҷараёнҳои индуксионӣ хусусан дар ноқилҳои пурмасса бузургии зиёд до-

ранд, зеро муқовимати ин гуна ноқилҳо кам аст. Ин чараёнхоро, ки *чараёнҳои Фуко* ном гирифтаанд (ба исми муҳаққиқи онҳо олими фаронсавӣ Ч. Фуко), барои тафсонидани ноқилҳо истифода кардан мумкин аст. Сохти кӯраҳои индуксионӣ (печҳои илқой) бар истифодаи ҳамин чараёнҳо асос ёфтааст. Кӯраҳои индуксионӣ хусусан барои дар шароити вакуум гудохтани филизот (металлҳо) истифодабобанд.

Аммо дар бисёр дастгоҳҳо пайдоиши чараёнҳои Фуко боиси талафи беҳудаи энергия мегардад. Аз ин рӯ мағзаҳо (дилакҳо)-и трансформаторҳо, муҳаррикҳои электрикӣ, генераторҳо ва монанди инҳоро на яклухт, балки иборат аз варақаҳои алоҳидаи ойиқшуда (изолатсияшуда) месозанд. Варақаҳо (ё сафҳачаҳо) бояд тавре ҷой дода шаванд, ки сатҳи онҳо амудан ба самти вектори шиддати майдони электрикӣ тӯфонӣ воқеъ шавад. Танҳо дар ҳамин сурат муқовимати варақаҳо ба чараёни электрикӣ зиёди зиёд хоҳад буд.

Татбиқи ферритҳо (аз лот. *ferrum* – оҳан). Дастгоҳҳои радио-электронӣ дар соҳаи басомадҳои бағоят баланд (миллионҳо ларзиш дар як сония) амал мекунанд. Истифодаи мағзаҳои варақ-варақ дар ин гуна асбобҳо самарбахш намеояд, зеро чараёнҳои дар сатҳи ҳар варақа пайдошавандаи Фуко қимати зиёд дошта метавонанд.

Ба ёд меорем, ки дар китоби «Физика, 10» (§ 66) дар бораи *ферритҳо* ном моддаҳои ойиқ (изолатор) маълумоти мухтасаре омада буд. Ҳангоми чаппа магнитнок кардани¹ ана ҳамин гуна моддаҳо чараёнҳои Фуко ба вучуд намеоянд. Пас, дар ферритҳо энергияи электрикӣ талаф намешавад. Ҳамин аст, ки мағзаҳои трансформаторҳои баландбасомад, мавҷрабоҳо (антенҳо)-и магнитии транзисторҳо ва амсоли инҳоро маҳз ферритӣ месозанд. Барои сохтани мағзаҳои ферритӣ омехтаи хоқаҳои заруриро аввал фишурда, баъд гирифтори амалиёти ҳароратӣ мекунанд.

Ғайр аз ин, ҳангоми якбора (зуд) тағйир додани майдони магнитӣ дар ферромагнетики муқаррарӣ чараёнҳои индуксионие ба вучуд меоянд, ки майдонҳои магнитии онҳо бо тақозои қоидаи Ленс монеи тағйироти сели магнитӣ дар мағзайи ғалтак мегардад. Ба ҳамин сабаб сели индуксияи магнитӣ амалан тағйир на-

1. Чаппа гардонидани самти магнетиш (магнитнокшавӣ)-и моддаҳои ферромагнитӣ ва ферримагнитӣ бо таъсири майдони магнитии берунӣ (С. Қ.).

мепазирад ва мағза чаппа магнитнок намешавад. Дар ферритҳо чараёнҳои Фуко хеле сустанд. Ҳамин аст, ки ферритҳоро бо осонӣ (зуд) чаппа магнитнок кардан мумкин аст.



Дар баробари майдони электрикии кулонии потенциали майдони электрикии тӯфонӣ низ вуҷуд дорад. Хатҳои шиддати ин майдон сарбастанд. Майдони тӯфонӣ зодаи майдони магнитии тағйирёбанда аст.



1. Табиати қувваи гайре, ки дар ноқили беҳаракат чараёни индуксионӣ (чараёни илқой) ба вуҷуд меоварад, чӣ гуна аст?
2. Майдони электрикии тӯфонӣ аз майдони электростатикӣ ё майдони собит (стационарӣ) чӣ тафовут дорад?
3. Чараёнҳои Фуко чӣ гуна чараёнанд?
4. Ферритҳо дар муқобили моддаҳои ферромагнитии муқаррарӣ чӣ бартарӣ доранд?

§6. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксия дар ноқили ҳаракатманд

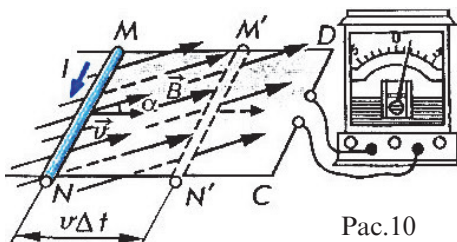
Агар ноқил дар майдони магнитии замонан (нисбат ба вақт) доимӣ дарҳаракат бошад, он гоҳ сабабгори пайдоиши ҚуМЭ-и индуксия дар ноқил на майдони электрикии тӯфонӣ (ки дар ин маврид ба вуҷуд омада наметавонад), балки чизи тамоман дигар аст.

Ҳангоми дар майдони магнитӣ ҳаракат кардани ноқил барқаҳои озоди он ҳамроҳаш ҳаракат мекунанд ва ба он барқаҳо аз тарафи майдони магнитӣ қувваи лоренсӣ таъсир меоварад. Маҳз ҳамин қувва аст, ки барқаҳои даруни ноқилро ҳаракат медиҳад. Пас, ҚуМЭ-и индуксионӣ табиати магнитӣ доштааст.

Биёед ҚуМЭ-и индуксияро дар ноқиле баҳодод кунем, ки он дар майдони магнитии якҷинса дарҳаракат аст (рас.10). Бигзор, тарафи MN -и дарозиаш l -и контур бо суръати доимии v ба қадди тарафҳои NC ва MD билағзад ва дар ин маврид ба тарафи DC ҳамеша мувозӣ (параллел) бимонад. Вектори индуксияи магнитӣ B -и майдони якҷинса нисбат ба ноқил равиши амудӣ дорад ва бо самти суръат кунҷи α ташкил медиҳад.

Қуввае, ки майдони магнитӣ бо он ба зарраи барқаманди дарҳаракат таъсир меоварад (ниг. §65-и «Физика, 10»), модулан баробари

$$F_L = |q|vBsina \quad (1.5)$$



мебошад ва ба қадди ноқили MN равона аст. Кори қувваи Лоренс дар тӯли роҳи l мусбат аст ва чунин ёфта мешавад¹:

$$A = F_L l = |q|vBsina.$$

Қувваи муҳаррикаи электрикии индуксия дар ноқили MN мувофиқи таъриф ба нисбати кори кӯчониши барқаи q бар бузургии ин барқа баробар мебошад:

$$\varepsilon_i = \frac{A}{|q|} = vBl \sin \alpha. \quad (1.6)$$

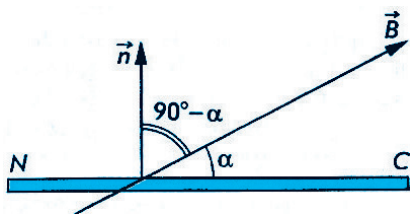
Ин ифода барои ҳар гуна ноқили l -дарозие дуруст аст, ки он дар майдони магнитии якҷинса бо суръати v дар ҳаракат аст. Дар ноқилҳои дигари контур $КумЭ$ сифрӣ аст, зеро он ноқилҳо беҳаракатанд. Пас, $КумЭ$ дар саросари контури $MNCD$ баробари ε_i аст ва доимӣ менамояд, ба шарте ки суръати ҳаракат v собит бошад. Дар ин маврид чараёни электрикӣ меафзояд, зеро ҳангоми сӯйи рост кӯчидани ноқили MN муқовимати умумии контур кам мешавад.

Аз тарафи дигар, $КумЭ$ -и индуксияро ба воситаи қонуни индуксияи электромагнитии (1.4) баҳодод кардан мумкин аст. Дарвоқеъ, сели магнитии ба контури $MNCD$ зананда баробари

$$\Phi = BS \cos(90^\circ - \alpha) = BS \sin \alpha$$

аст, ки ин ҷо қунҷи $90^\circ - \alpha$ қунҷи байни вектори B ва нормали n ба сатҳи контур аст (рас.11) S – масоҳати контури $MNCD$. Агар гӯем, ки дар лаҳзаи аввали вақт ($t=0$) ноқили MN аз ноқили CD дар масофаи NC меҳобад (ниг. рас.10), пас, дар кӯчиши ноқил

1. Ин кори нопурраи қувваи Лоренс аст. Дар баробари қувваи лоренсии (1.5) чузъе аз ҳамон қувваи лоренсӣ низ вучуд дорад, ки муқобили суръати ҳаракати ноқил v равона аст. Ин чузъ монעי ҳаракати ноқил мегардад ва кори манфӣ иҷро мекунад – дар натиҷа кори пурраи қувваи лоренсӣ сифрӣ мешавад.



Рас.11

масоҳати S бо мурури замон чунин тағйир меёбад:

$$S = l(NC - vt).$$

Дар муддати Δt масоҳати контур ба қадри $\Delta S = -lv\Delta t$ тағйир меёбад. Аломати минус онро ифода мекунад, ки ин масоҳат бо мурури замон кам мешавад. Дар ҳамин

муддат сели магнитӣ ба қадри $\Delta\Phi = -Blv\Delta t \sin\alpha$ тағйир меёбад. Пас, ϵ_i бояд чунин ифода карда шавад:

$$\epsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Blv \sin\alpha.$$

Агар контури $MNCD$ дар майдони магнитии якҷинса дар ҳаракат бошад ва рафти худ (ориентатсияи худ)-ро нисбат ба вектори B нигоҳ дорад, ҚумЭ-и индуксия дар контур сифрӣ мешавад, зеро сели магнитии ба масоҳати фарогирифтаи контур зананда тағйир намеёбад.

Шарҳ ин аст. Ҳангоми ҳаракат кардани контур дар ноқилҳои MN ва CD қувваҳои (ниг. ифодаи (1.5)) ба вуҷуд меоянд, ки ба электронҳо дар самтҳои аз N ба M ва аз C ба D таъсир меоваранд. Кори умумии ин қувваҳо дар сурати ба рафти гашти соат ё муқобили он гардидани контур сифрӣ аст.



ҚумЭ-и индуксионӣ дар ноқилҳои, ки дар майдони магнитии доимӣ дар ҳаракат ҳастанд, аз ҳисоби ба электронҳои озоди ноқил таъсир овардани қувваи лоренсӣ пайдо мешавад.



1. Қувваи лоренсӣ ба чӣ баробар аст ва он чӣ гуна самт дорад?
2. ҚумЭ-и индуксияе, ки дар ноқили дар майдони магнитии тағйирёбанда ҳаракаткунанда ба вуҷуд меояд, ба чӣ бастагӣ дорад?

§7. Микрофони электродинамикӣ

Дар китоби «Физика, 10» шумо бо баландгӯяки электродинамикӣ шинос шудед, ки латтишҳои ҷараёни электриро ба ларзишҳои савтӣ табдил меод. Табдилоти баръакс, яъне табдили ларзишҳои

савтии ҳаво ба лапшиҳои ҷараёни электрикӣ дар микрофон амалӣ шудааст.

Микрофон (аз калимаҳои юнонии *micro* – хурд ва *phone* – садо) дар радиошунавонӣ, телевизион, дар олатҳои тақвияти садо, робитаҳои телефонӣ ва ғ. истифодаи бисёр дорад.

Кори яке аз маъмултарин микрофонҳо – микрофони электродинамикӣ бар падидаи индуксияи электромагнитӣ

(яъне илқои электромагнитӣ) асос ёфтааст. Сохти микрофони номбурда чунин аст: пардаи полистиролии тунуки 2 ё варақаи алюминӣ бо ғалтаки савтии 1 (аз сими борик) саҳт маҳкам карда шудааст (рас.12); ин ғалтак дар фосилаи ҳалқашакли магнети доимии пурзӯри 3 ҷой дода мешавад; хатҳои индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ) амудан ба ҳамвории печакҳои ғалтак равонаанд.

Мавҷи садо пардаи полистиролӣ ва ғалтаки бо он алоқамандро ба ларзиш мебарорад. Печҳои ғалтак дар майдони магнитӣ ҳаракат мекунанд ва дар онҳо қувваи муҳаррикаки электрикӣ (ҚУМЭ)-и индуксия ба вучуд меояд. Дар натиҷа дар нӯғҳои ғалтак волтажи тағйирёбандае ҳосил мешавад, ки ҷараёни электрикиро дар занҷири микрофон ларзиш медиҳад. Ин ларзишхоро тақвият дода, ба занҷири баландгӯяк равона кардан ё онҳоро дар тасмаи магнитофон сабт гардондан мумкин аст.

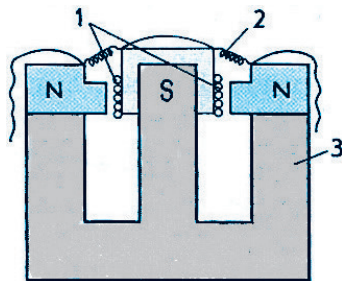
Микрофони электродинамикӣ сохти сода дорад, камҳаҷм ва бобақо аст. Ин навъ микрофонҳо ларзишҳои фосилаи басомадии 50–10 000 Ҳз (ҳертз)-ро чандон таҳриф намекунанд. Микрофонҳои навъи дигар низ истифода мешаванд.



Дар баландгӯяк қувваи Ампер ғалтак ва ларзпардаи бо он алоқамандро ларзиш медиҳад. Дар микрофон ларзиши ларзпарда ба ғалтаки ҷунбишпазир дода мешавад ва дар он ҷараёни индуксионӣ (ҷараёни илқоӣ) ба вучуд меояд.



Оё ба сифати ҷузъи ҳассоси микрофон яке аз рӯяхои конденсатореро, ки бо таъсири мавҷи садо ларзиш хӯрда метавонад, истифода кардан мумкин аст?



Рас.12.

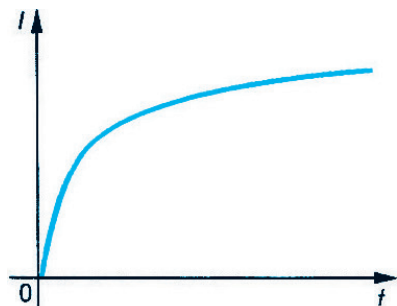
§8. Худ-индуксия (худ-илқо)

Агар дар занҷири галтак чараёни тағйирёбанда чорӣ бошад, сели магнитии аз тариқи галтак гузаранда тағйир меёбад. Бинобар ин дар худӣ ҳамон ноқиле, ки аз он чараёни тағйирёбанда ҷорист, қувваи муҳаррикаки электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксия пайдо мешавад. Ин падида ро худ-индуксия гуфтаанд (аз рӯи «self-induction»-и англисӣ ва «самоиндукция»-и русӣ).

Худ-индуксия (илқои худбахудӣ, худ-илқо). Ҳангоми рӯй додани падидаи худ-индуксия ноқилконтур ду вазифа дорад: ҳам аз тариқи он чараёни воқеигардонандаи индуксия чорӣ мешавад ва ҳам дар он ҚумЭ-и индуксионӣ ϵ_i ба вуҷуд меояд. Аз рӯйи қоидаи Ленс дар лаҳзаи афзоиши чараён шиддати майдони электрикии тӯфонӣ муқобили чараён самт дорад. Пас, дар ин лаҳза майдони электрикии тӯфонӣ монеи афзоиши чараён мегардад. Ва баръакс, ҳангоми кам шудани чараён майдони тӯфонӣ онро «дастгирӣ» мекунад.

Ин боис мегардад, ки ҳангоми пайвастании занҷири дорои манбаи ҚумЭ-и доимӣ қимати муайяни қувваи чараён на якбора, балки (бо мурури вақт) тадричан муқаррар шавад (рас. 13). Аз тарафи дигар, ҳангоми кандани занҷир чараён дар контурҳои сарбаст якбора (онан) қатъ намегардад. ҚумЭ-и дар ин маврид пайдошавандаи худ-индуксия назар ба ҚумЭ-и манбаъ зиёдтар буда метавонад, зеро ҳангоми кандани манбаъ тағйироти чараён ва майдони магнитӣ бисёр зуд рӯй медиҳад.

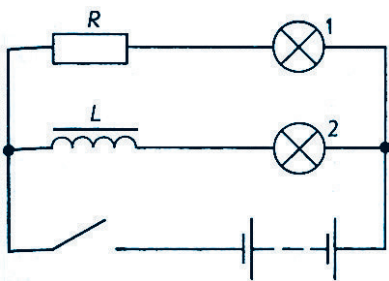
Падидаи худ-индуксияро дар таҷрибаҳои содае мушоҳида кардан мумкин аст. Дар рас.14 тарҳи пайвасти мувозӣ (пайвасти параллелӣ)-и ду лампаи якхела оварда шудааст. Якеи онҳо ба



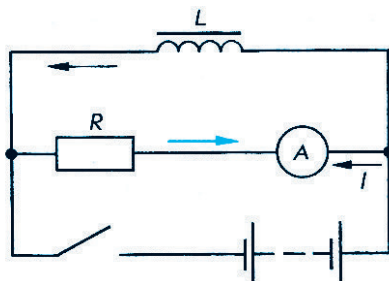
Рас.13.

манбаъ ба воситаи муқовимати R ва лампаи дуоим паёпай бо галтаки L (ки мағзаи оҳанин дорад) пайвастанд.

Баъди васл кардани калиди лампаи аввал қариб дафъатан дармегираду лампаи дуоим — каме дертар. Сабаб ин аст, ки дар занҷири ин лампа ҚумЭ-и худ-индуксия қимати зиёд дорад ва аз ин рӯ



Рас.14.



Рас.15.

қувваи ҷараён то қимати зиёдтарини худ на якбора мерасад. Падидаи ҳангоми кандани занҷир пайдо шудани ҚумЭ-и худ-индуксияро дар таҷрибаи дар рас.15 тасвиршуда мушоҳида кардан осон аст. Баъди кушодани калид дар ғалтаки L ҚумЭ-и худ-индуксияе ба вучуд меояд, ки ба ҷараёни ибтидоӣ зам шуда, онро зиёд мекунад. Бинобар ин дар лаҳзаи кандани калид аз галванометр ҷараёне ҷорӣ мегардад (аз R ба A), ки муқобили ҷараёни занҷир (аз L ба R) равона аст. Қувваи ҷараёни ҳангоми кандани калид пайдошаванда назар ба қувваи ҷараёне, ки аз галванометр гоҳи баста будани калид ҷорӣ мешавад, зиёд буда метавонад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки ҚумЭ-и худ-индуксия ϵ , назар ба ҚумЭ-и силсилаи батареҳо ϵ зиёд буда метавонад.

Шабоҳати байни худ-индуксия ва инерсия (яъне худ-илқо ва шастии ҳаракат)¹. Падидаи худ-индуксия ба падидаи механикии инерсия монандӣ дорад. Буди инерсия, яъне шаст доштани ҳаракат² дар он зоҳир мегардад, ки ҷисми «ҷабр»бинанда бо таъсири ин ё он қувва ба ин ё он қимати суръат на якбора, на онан, балки оҳиста-оҳиста соҳиб мешавад, яъне ҷисми дарҳаракатро бо вучуди истифода кардани ҳар гуна қувваи зиёд якбора нигоҳ доштан илоч надорад (барои ин муддати муайяни вақт зарур аст). Монанди ҳамин, гоҳи пайвастании занҷир қувваи ҷараён ба ин ё он қимати худ на якбора, балки баъди ин ё он муддат мерасад, яъне баробари аз занҷир ҷудо кардани манбаи ҷараён асари он

1. Ин ҷо ба сифати муодили тоҷикии истилоҳи «инерсия» калимаи «истимрор»-ро низ, ки дар эҷодҳои бузургҳои адабиётнамон дучор меояд ва маънии бо як равиш рафтани, давом ёфтани, идома ёфтани дорад, гирифтани мумкин аст. Вале мо ба ҳамин маънӣ калимаи «шаст»-ро пазируфтани ҳастем, зеро ки бо мафҳуми «қувва» иртиботи равшантар дорад (С. Қ.).

2. Иловаи мо (С.Қ.).

ба якборагӣ нест намешавад, зеро ба сабаби мавҷудияти падидаи худ-индуксия чараён дар занҷир баъди кандани манбаъ низ ин ё он муддат боқӣ мемонад (бо вучуде ки занҷир муқовимат, яъне сабаби монешаванда дорад).

Дигар ин, ки барои зиёд кардани суръати ҳаракати ҷисм ба тақозои қонунҳои механика кор иҷро кардан мебояд. Лекин ҳангоми тормоз хӯрдан ҳуди ҷисм кор иҷро мекунад. Мисли ҳамин, барои дар занҷир ба вучуд овардани чараён муқобили майдони электрикии тӯфонӣ кор иҷро кардан зарур меояду гоҳи катъ гардидани чараён ин майдон кори мусбат иҷро мекунад.

Индуктивият (худ-илқоӣ)¹. Модули B -и вектори индуксияи майдони магнитии офаридаи чараён ба қувваи чараён мутаносиб мебошад. Азбаски сели магнитӣ Φ ба B мутаносиб аст, пас, ин тавр навиштан масъаларо равшантар месозад: $\Phi \sim B \sim I$. Бар ҳамин асос метавон гуфт, ки

$$\Phi = LI \quad (1.7)$$

аст. Ин ҷо L зариф (коэффисент)-и мутаносибии байни чараёни контурӣ ва сели магнитиест, ки аз тариқи контур мегузарад. Бузургии L *индуктивияти контур* ё худ *зарифи худ - индуксияи контур* ном дорад.

Дар асоси қонуни индуксияи электромагнитӣ ва ифодаи (1.7) ин гуна таносуб ҳосил кардан мумкин аст:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (1.8)$$

ба шарте ки шакли контур бетағйир монад ва сели магнитӣ танҳо аз ҳисоби тағйироти қувваи чараён тағйир пазирада, яъне *индуктивият ададан баробар будааст ба ҚуМЭ-и худ-индуксияе, ки он дар натиҷаи дар контур дар муддати 1с ба қадри 1А тағйир ёфтани қувваи чараён ба вучуд меояд.*

Индуктивият (яъне худ-илқоӣ) мисли электргунҷойиш ба шаклу андозаҳои ноқил вобаста аст, вале ба қувваи чараёни дар ноқил шоранда бастагии бевосита надорад. Индуктивият ғайр

1. Индуктивность; *self-inductance*. Бояд гуфт, ки мафҳумҳои «индуксия», «индуктивият» ва «худ-индуксия» («илқо», «худ-илқо», «худ-илқоӣ») ба ҳамдигар то он ҷо наздикӣ доранд, ки дар баъзе мавридҳо якеи онҳоро дар мақоми дигаре ба кор бурдан мумкин аст ва маҳз ҳамин аст, ки таълими мавзӯҳои алоқаманд бо падидаи илқо душвориҳо пеш меорад (С.Қ.).

аз омилҳои геометрӣ ба хосиятҳои магнитии муҳите низ бастагӣ дорад, ки ноқил дар он воқеъ гаштааст.

Воҳиди индуктивият дар Манзумаи байналмилалии воҳидҳо (SI) ҳенрӣ ном гирифтааст (ба исми олими амрикоӣ Ч.Ҳенрӣ) ва бо X_H ишорат мешавад. Ноқиле индуктивияти 1 X_H дорад, ки дар он дар сурати дар муддати 1с ба қадри 1А тағйир ёфтани қувваи ҷараён КумЭ-и худ-индуксияи 1В ба вучуд ояд:

$$1X_H = \frac{1B}{1\frac{A}{c}} = 1\frac{B \cdot c}{A}.$$

Падидаи худ-индуксия дар электротехника ва радиотехника ба се муҳим аст, зеро ба рафти ҷараёни электрии тағйирёбанда асари намоён дорад. (Аз ин хусус муфассалтар дар боби 2 сухан хоҳад рафт).



Дар сурати тағйир ёфтани қувваи ҷараёни аз тариқи ноқил шоранда дар он ноқил майдони электрии тӯфонӣ ба вучуд меояд. Ин майдон ҳангоми афзудани қувваи ҷараён монети ҳаракати электронҳо мегардад, вале ҳангоми кам шудани қувваи ҷараён электронҳоро мешиктонад.



1. Падидаи худ-индуксия (худ-илқо) чӣ маънӣ дорад?
2. Хатҳои шиддати майдони электрии тӯфонӣ нисбат ба равиши ҷараёни дар ноқил шоранда ҳангоми каму зиёд шудани қувваи ҷараён чӣ гуна самт мегиранд?
3. Мафҳуми индуктивияти ноқил чӣ мазмун дорад?
4. Ба сифати воҳиди индуктивият чӣ бузургӣ пазируфта шудааст?
5. Қувваи муҳаррикаи электрии худ-индуксия ба чӣ баробар аст?

§9. Энергияи майдони магнитии ҷараён

Биёед энергияи ҷараёни электрии аз тариқи ноқил шорандаро муайян кунем. Мувофиқи қонуни бақои энергия энергияи майдони магнитии офаридаи ҷараёни электрикӣ ба энергияе баробар аст, ки онро манбаи ҷараён (батареи галванӣ, генератори маркази барқ ва ғ.) барои офариниши ҷараён сарф мекунад. Ҳангоми қатъ гардондани ҷараён ин энергия дар ин ё он шакл хориҷ мешавад.

Биёед аввал бифаҳмем, ки барои офариниши чараён энергия сарф кардан, яъне кор ичро кардан чӣ зарурат дорад? Шарҳ ин аст: ҳангоми пайвастании занҷир, вақте ки чараён меафзояд, дар ноқил майдони электрикии тўфоние пайдо мешавад, ки зидди майдони электрикии дар ноқил офаридаи манбаи чараён амал мекунад. Барои ба вучуд овардани чараёни қуввааш I манбаи чараён бояд муқобили қувваҳои майдони тўфонӣ кор ичро кунад. Ин энергия барои зиёд кардани энергияи майдони магнитии чараён сарф мешавад.

Ҳангоми кандани занҷир чараён нест мешавад ва майдони тўфонӣ кори мусбат ичро мекунад. Энергияи захирашудаи чараён хориҷ мегардад. Ин аз он ҷо аён аст, ки ҳангоми кандани занҷири дорои индуктивияти зиёд шарораи пуртавоне пайдо мешавад.

Ифодаи энергияи чараёне (L)-ро, ки дар занҷири дорои индуктивияти L ҷорист (яъне энергияи майдони магнитии чараёнро), аз қисми байни индуктивият ва инерсияи ҷисм (яъне шасти ҳаракати ҷисм), ки мо дар бораи он дар §8 сухан рондем, навиштан мумкин аст.

Агар падидаи худ-индуксия ба хосияти инерсиядории ҷисм монанд бошад, пас, индуктивият дар рафти тавлиди чараён бояд ҳамон гуна мақом дошта бошад, ки масса (яъне ҷирм) дар мавриди афзудани суръати ҷисм дар механика дорад. Роли суръати ҷисмро дар электродинамика қувваи чараён I (чун бузургии ифодакунандаи ҳаракати барқҳо (зарядҳои электрикӣ)) мебозад.

Агар чунин бошад, пас, энергияи чараён W -ро ба энергияи кинетикии ҷисм (дар механика) $mv^2/2$ монанд кардан ва ин хел навиштан мумкин аст:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1.9)$$

Дар натиҷаи ҳисобукитоби назарӣ низ барои энергияи чараён маҳз ҳамин ифода ҳосил шудааст.

Ҳамин тарик, дар формулаи (1.9) энергияи чараён ба воситаи мушаххаса (характеристика)-и геометрии ноқил L ва қувваи чараёни дар он шоранда I ифода шудааст. Аммо худи ҳамин энергияро ба воситаи мушаххасаи майдон низ ифода кардан мумкин аст. Ҳисобукитоб нишон медиҳад, ки зичии энергияи майдони магнитӣ (яъне энергияи воҳиди ҳаҷм) ба квадрати индуксияи маг-

нитӣ мутаносиб мебошад, мисли он ки зичии энергияи майдони электрикӣ ба квадрати шиддати майдони электрикӣ мутаносиб аст.



Майдони магнитии зодаи чараёни электрикӣ соҳиби энергияест, ки он ба квадрати қувваи чараён мутаносиб мебошад.



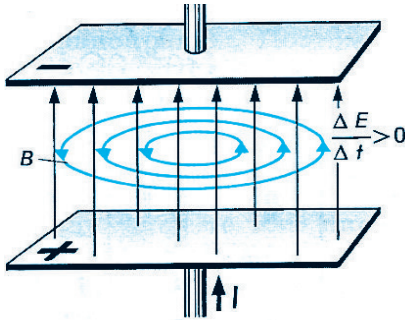
1. *Барои ба вуҷуд овардани чараён манбаъ бояд энергия сарф кунад – ин чӣ асос дорад?*
2. *Энергияи чараёни электрикӣ ба чӣ баробар аст?*

§10. Майдони электромагнитӣ

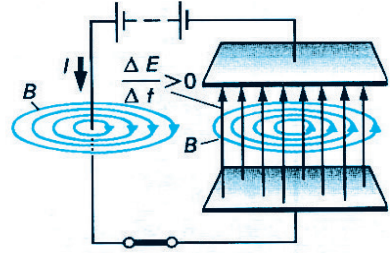
Ч. Максвел дар роҳи таҳқиқи хосиятҳои майдони электромагнитӣ ин гуна пурсиш пеш гузошт: модом ки майдони магнитии тағйирёбанда майдони электрикӣ ба вуҷуд оварда тавонад, пас, магар падидаи акси ин воқеъ буда наметавонад? Ба гуфти дигар, магар майдони электрикии тағйирёбанда, дар навбати худ, майдони магнитӣ зода наметавонад? Ана ҳамин мулоҳиза, ки бар ягонагии табиат, бар низоми «ботинӣ» ва ҳамоҳангии қонунҳои табиат асос ёфтааст, бунёди фарзияи Максвелро ташкил медиҳад.

Пайдоиши майдони магнитӣ ҳангоми тағйир хӯрдани майдони электрикӣ. Максвел тахмин кард, ки падидаи номбурда бояд воқеъ бошад. Дар ҳама мавридҳои бо мурури замон тағйир ёфтани майдони электрикӣ майдони магнитӣ ба вуҷуд меояд. Хатҳои индуксияи магнитии ин майдон хатҳои шиддати майдони электрикиро фаро мегиранд (рас.16), мисли он ки хатҳои шиддати майдони электрикӣ хатҳои индуксияи магнитии тағйирёбандаро фаро мегиранд. Аммо акнун гоҳи афзудани шиддати майдони электрикӣ ($\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0$) самти вектори индуксияи майдони магнитии дар ин маврид пайдошаванда B бо самти вектори E *винти росттоб* ташкил медиҳад.

Ҳангоми костани шиддати майдони электрикӣ ($\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$) самти индуксияи магнитӣ B бо вектори E *винти чаптоб* ташкил медиҳад.



Рас.16.



Рас.17.

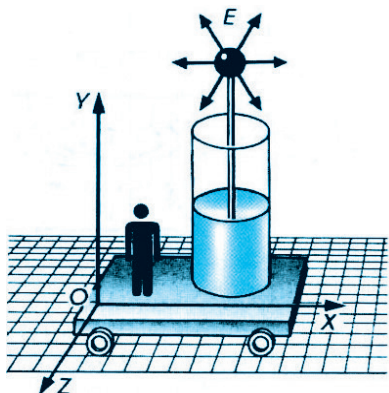
Мувофиқи фарзияи Максвел майдони магнитиро, масалан, хангоми барқаманд (заряднок) қардани конденсатор баъди сарбаст қардани занҷир на танҳо ҷараёне, ки дар ноқил ҷорист, балки майдони электрикии фазои байни рӯяҳои конденсатор низ ба вуҷуд оварда метавонад (рас.17). Зимнан, майдони электрикии тағйирёбанда ҳамон гуна майдони магнитӣ ба вуҷуд меоварад, ки дар мавриди дар байни рӯяҳои конденсатор ҷорӣ будани ҷараёни электрикии монанди ҷараёни электрикии ноқилӣ пайдо мешавад.

Кашфи таҷрибавии мавҷҳои электромагнитӣ дурустии фарзияи Максвелро тасдиқ қард. Буди мавҷҳои электромагнитӣ танҳо он гуна замина дошта метавонад, ки майдони магнитии тағйирёбанда майдони электрикии тағйирёбанда тавлид гардонаду майдони электрикии тағйирёбандаи пайдошуда, дар навбати худ, майдони магнитии тағйирёбанда ба вуҷуд биёрад ва ғ. Ҳақиқату воқеият низ ҳамин аст.

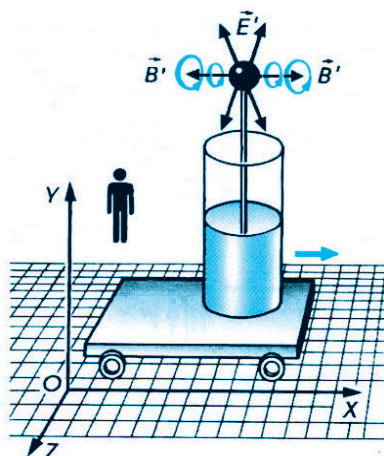
Майдони электромагнитӣ. Баъди кашфи робитаи мутақобили майдонҳои тағйирёбандаи электрикӣ ва магнитӣ равшан гашт, ки ин майдонҳо ҷудо-ҷудо, бе якдигар, новобаста ба якдигар вуҷуд дошта наметавонанд.

Майдони магнитии тағйирёбандаро бе он ки дар айни замон дар фазо майдони электрикии тағйирёбанда пайдо шавад, ба вуҷуд овардан имкон надорад. Ва баръакс, майдони электрикии тағйирёбанда бе ҳамин гуна майдони магнитӣ вуҷуд дошта наметавонад.

На камтар муҳим ин аст, ки майдони электрикӣ бе майдони магнитӣ ё майдони магнитӣ бе майдони электрикӣ танҳо нисбат ба системаи сарҳисоби муайян вуҷуд дошта наметавонанд. Чунончи, зарраи барқаманди қарор танҳо майдони электрикӣ ба вуҷуд



Рас.18.



Рас.19.

оварда метавонад (рас.18). Вале мо бояд онро ба эътибор гирем, ки он зарра нисбат ба системаи муайяни сарҳисоб қарор аст. Аммо нисбат ба системаҳои сарҳисоби дигар метавонад дарҳаракат бошад ва, аз ин рӯ, майдони магнитӣ ҳам ба вучуд биёрад (рас. 19).

Айнан ҳамин тавр, дар системаи сарҳисоби алоқаманд бо магнит танҳо майдони магнитӣ зоҳир мегардад. Вале мушоҳиде, ки нисбат ба магнит дарҳаракат аст, майдони электрикиро низ ошкор карда метавонад. Гап дар он аст, ки дар системаи сарҳисоби нисбат ба магнит ҳаракаткунанда майдони магнитӣ бо мурури замон ба қадри ба магнит наздик шудани мушоҳид (\dot{y} аз магнит дур шудани \bar{y}) тағйир меёбад. Ва майдони магнити замонан тағйирёбанда майдони электрикии тўфонӣ ҳосил мекунад.

Пас, он фикр, ки *дар ин ҷо он нуқтаи фазо танҳо майдони электрикӣ ҷ танҳо майдони магнитӣ вучуд дошта метавонад (агар нагӯем, ки он майдонҳо нисбат ба кадом системаҳо муоина мешаванд) фикри бемаънӣ мебуд.* Вучуд надоштани майдони электрикӣ дар системаи сарҳисоби дорои магнити қарор ҳаргиз он гуна маънӣ надорад, ки гӯё майдони электрикӣ вучуд надошта бошад. Мавҷудияти ин майдонро нисбат ба ҳар гуна системаи сарҳисобе, ки нисбат ба магнит дарҳаракат мебошад, ошкор сохтан мумкин аст.

Майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ ҳарду якҷоя зухуроти як майдони том – зухуроти *майдони электромагнитӣ* ҳастанд. Майдони электромагнитӣ шакли махсуси ҳайуло (материя) аст, майдоне аст, ки таъсири мутақобили зарраҳои барқамандро воқеӣ

мегардонад. Ин майдон вокеан (яъне новобаста ба мо, новобаста ба дониши мо дар бораи он) вучуд дорад. Вале вобаста ба он, ки рӯйдодҳои электромагнитӣ дар чӣ гуна системаи сарҳисоб муоина мешаванд, ин ё он ҷиҳати майдони электромагнитӣ зоҳир мегардад. Ҳама системаҳои инерсиалии сарҳисоб (яъне системаҳои шастии сарҳисоб) баробарҳуқуқ ҳастанд. Бинобар ин ягон зухуроти мушоҳидашавандаи майдони электромагнитиро бартарӣ додан дуруст нест.



Мувофиқи фарзияи Максвел майдони электрикии тағйирёбанда хосияти майдонифаринандагӣ дорад ва майдони магнитии тағйирёбанда ба вучуд меоварад. Майдони электромагнитӣ майдони ягонаи том аст ва вобаста ба системаи муоинашавандаи сарҳисоб ин ё он хосияти худро зоҳир мегардонад.



1. Майдони магнитӣ дар натиҷаи чӣ гуна фарояндҳо ба вучуд меояд?
2. Агар \vec{E} ҷам, ки дар ин ё он нуқтаи фазо танҳо майдони электрикӣ ё танҳо майдони магнитӣ вучуд дорад, сухани мо саҳеҳ ва муайян намеояд. Чаро?

Намунаи ҳалли ду масъала

1. *Контури росткунҷаи ABCD дар майдони магнитии ҷараёне, ки дар нокили рости дароз ҷорист, сӯйи пеш мекуҷад (рас.20). Самти ҷараёни дар контур индуксияшуда (илқошуда)-ро барои мавриди аз сим (ноқил) дур шудани контур муайян кунед. Ба контур чӣ гуна қувваҳо таъсир меоваранд?*

Ҳал. Вектори B -и индуксияи магнитии майдони магнитии ҷараёни I аз мо амудан сӯйи ҳамвории контур равона аст. Дар сурати аз сим дур шудани контур сели магнитии ба масоҳати контури $ABCD$ зананда кам мешавад ($\Delta\Phi < 0$). Пас, вектори B -и индуксияи магнитии ҷараёни I , аз рӯйи қоидаи Ленс монанди вектори B аз мо сӯйи контур равона аст. Аз рӯйи қоидаи пармача фаҳмидан душвор нест, ки ҷараёни индуксионии дар контур пайдошаванда ба рафти ақрабаки соат ҷорист.

Таъсири мутақобили ҷараёни контурӣ бо ҷараёне, ки дар нокили ростхатта ҷорист, боиси пайдоиши қувваҳои мегардад,

ки онҳо ба ноқилҳои контур таъсир меоваранд. Қоидаи дасти чапро истифода карда, дидан мумкин аст, ки ин қувваҳо, аввалан, масоҳати қоб (рамка)-ро зиёд карданӣ шуда, он (қоб)-ро кашида медоранд ва, сониян, қувваи натиҷавие ба вучуд меоваранд, ки сӯйи ноқили росткунҷа самт дорад. Ҳарду таъсирот «меқӯшанд», ки монеи кам шудани сели магнитии аз тариқи контур гузаранда бошанд.

2. Ҳалқаи абарноқилӣ дар майдони магнитии якҷинсае воқеъ аст, ки индуксияи он аз сифр то B_0 меафзояд. Хатҳои индуксияи майдон сӯйи ҳамвории ҳалқа (амудан) равонаанд. Қувваи ҷараёни индуксиониро ёбед, ки дар ҳалқа ба вучуд меояд. Радиус (шуоъ)-и ҳалқаро баробари r гиреду индуктивияти онро – баробари L .

Ҳал. Азбаски муқовимати ҳалқа баробари сифр аст, пас, қувваи муҳаррикаи электрикӣ низ дар он бояд сифрӣ бошад.

Дар акси ҳол аз рӯйи қонуни Ом қувваи ҷараён андар ҳалқа беандоза зиёд мебуд. Пас, тағйироти сели магнитии майдони магнитии берунӣ модулан баробари тағйироти сели офаридаи ҷараёни индуксионӣ мебошад (вале аломати ба он муқобил дорад): $\Delta\Phi = L\Delta I$. Азбаски дар ин маврид сели Φ_0 аз 0 то $\pi r^2 B_0$ меафзояду ҷараёни индуксионӣ аз 0 то I тағйир меёбад, пас,

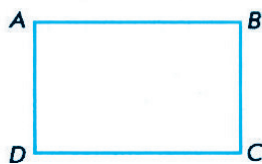
$$\pi r^2 B_0 = LI$$

хоҳад буд, ки аз ин чо:

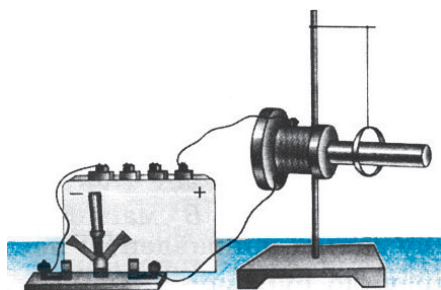
$$I = \frac{1}{L} \pi r^2 B_0$$

Машқи 1

1. Калиди дар рас.1,а тасвиршударо мепайвандем. Дар ин лаҳза ҷараён дар ғалтаки поёнӣ (агар аз боло нигарем) муқобили гашти ақрабаки соат равона мебошад. Ғалтаки болоро беҳаракат мепиндорем. Ҷараён дар ин ғалтак кадом сӯйи равона аст?



Рас.20.



Рас.21.

2. Магнитро (рас.2,б) аз ғалтак берун мекашанд. Чараёни индуксионӣ дар ғалтак кадом сӯ равона мешавад?

3. Магнитеро (рас.5) ба ҳалқаи яклухт наздик мекунанд. Чараёни индуксионӣ дар ҳалқа кадом сӯ равона мешавад?

4. Қувваи чараён дар ноқили 00' (рас.20) майли кам шудан до-

рад. Самти чараёни индуксиониро дар контури беҳаракати $ABCD$ ва самти қувваҳои ба ҳар як тарафи контур таъсироварандаро ёбед.

5. Ҳалқаи филизӣ ба қадди мағза (дилак)-и ғалтаки дар рас. 21 тасвиршуда озодона ҳаракат карда метавонад. Ғалтак дар занҷири чараёни доимӣ пайваст аст. Дар лаҳзаҳои пайвастан ва қандани занҷир чӣ падида рӯй медиҳад?

6. Қувваи чараён дар ғалтак мутаносибан ба вақт меафзояд. Вобастагии қувваи чараён ба вақт дар ғалтаки дигаре, ки бо ғалтаки яқум ба таври индуктивӣ пайваст (яъне илқопайваст) мебошад, чӣ гуна «рафтор» хоҳад дошт?

7. Дар кадомин мавриди зерин ларзиши ақрабаки асбоби магнито-электрикӣ зудтар қарор мегирад: вақте ки ноқилҳои пайвасткунандаи асбоб бо якдигар васл шуда бошанд ё вақте ки онҳо аз ҳам ҷудо бошанд?

8. Сели магнитие, ки ба ноқилконтури муқовиматаш $0,03 \text{ Ом}$ мезанад, дар муддати 2с ба қадри $0,012 \text{ Вб}$ тағйир ёфт. Тағйироти селро доимӣ гуфта, қувваи чараёни дар ноқил пайдошавандаро ёбед.

9. Ҳавопаймо бо суръати 900 км/ст парвози уфуқӣ мекунад. Дурии нӯғҳои болҳои ҳавопайморо 12 м ва модули ҷузъи амудии индуксияи магнитии майдони магнитии Замиро $5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ гирифта, фарқи потенциалҳоеро ёбед, ки дар байни нӯғҳои болҳо ба вучуд меояд.

10. Қувваи чараён дар ғалтаки дорои индуктивияти $0,15 \text{ Ҳн}$ ва муқовимати бисёр ками r баробари 4А аст. Ғалтакро бо резистори муқовиматаш $R \gg r$ мувозипайваст (пайвасти параллелӣ) карданд. Агар манбаи чараён аз занҷир ба якборагӣ қанда шавад, дар ғалтак ва резистор чӣ қадр гармо ҷудо мешавад?

Муҳимтарин хулосаҳои боби якум

Аввал худи шумо бикӯшед, ки муҳимтарин нуктаҳои ин бобро ба хотир биёред. Хулосаҳои худро дар дафтари физика сабт кунед. Онҳоро ба бандҳои алоҳида тақсимбандӣ кунед. Баъд ба муойинаи хулосаҳои мо, ки ин ҷо оварда шудаанд, пардозед ва онҳоро бо хулосаҳои худ муқоиса кунед.

1. Моҳияти падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) ин аст, ки дар контури сарбаст дар натиҷаи тағйироти сели магнитии ба сатҳи фарогирифтаи контур зананда қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксионӣ ба вуҷуд меояд. Кори генераторҳои тавлидсозандаи ҷараёни электрикӣ бар ҳамин падида асос ёфтааст. Мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ дар контури сарбаст ҚумЭ-и индуксионӣ ба суръати бо аломати «минус» гирифташудаи тағйироти сели магнитӣ баробар мебошад:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

2. Ба талаби қоидаи Ленс ҷараёни индуксионии дар контури сарбаст пайдошаванда бо майдони магнитии худ монанди он гуна тағйироти сели магнитӣ мегардад, ки ин тағйиротро ба миён овардааст.

3. Дар ноқили беҳаракат қувваи ғайр он аст, ки ба зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) аз тарафи майдони электрикии тӯфонии зодаи майдони магнитии тағйирёбанда таъсир мекунад. Дар ноқили ҳаракаткунанда қувваи ғайр ҳамон қувваи магнитии Лоренс аст, ки ба зарраҳои барқаманди ҳамроҳи ноқил ҳаракаткунанда таъсир меоварад.

4. Як мавриди хусусии индуксияи электромагнитӣ падидаи худ-индуксия мебошад. Ҳангоми рӯй додани худ-индуксия майдони магнитии тағйирёбанда ҚумЭ-и индуксиониро дар ноқиле, ки дар он худи ҷараёни индуксиякунанда ҷорист, илқо (индуксия) мекунад. ҚумЭ-и худ-индуксия ба суръати тағйироти қувваи ҷараён дар ноқил мутаносиб мебошад:

$$\varepsilon_{is} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

5. Зариб (коэффисент)-и мутаносибии L *индуктивият* ном гирифтааст. Индуктивият ба шакли андозаҳои ноқил ва инчунин ба хосиятҳои муҳити мавҷудияти ноқил бастагӣ дорад. Ба

сифати воҳиди индуктивият хенрӣ (X_H) қабул шудааст ва чунин маънӣ дорад:

$$1X_H = 1 \frac{B \cdot c}{A}$$

6. Энергияи майдони магнитии ҷараён баробари қорест, ки онро манбаъ барои ба вучуд овардани ҳамин ҷараён иҷро мекунад. Ин аст он энергия:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

7. Максвел аз таҳлили падидаи индуксияи электромагнитӣ хулоса гирифт, ки майдони электрикии тӯфонӣ зодаи майдони магнитии тағйирёбанда мебошад. Баъд ӯ тахмин кард, ки майдони электрикии тағйирёбанда, дар навбати худ, майдони магнитии тӯфонӣ ба вучуд оварда метавонад.

ЛАРЗИШҶО ВА МАВҶҶО

Боби 2. Ларзишҷои электромагнитӣ

**Боби 3. Истеҳсол, интиқол ва истифодаи энергияи
электрикӣ**

Боби 4. Мавҷҷои электромагнитӣ

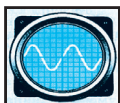
Кашфи падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) тасаввуроти моро дар бораи майдони электромагнитӣ густариш дод, онро амиқтар кард. Вале гап на танҳо дар ин аст. Рӯйдоди падидаи худ-индуксия ҳафт, ки зарраи барқаманд (зарраи электрон) ларзиш хӯрда метавонад, қувваи ҷараён ва бузургҳои дигари ташхисдиҳандаи занҷири электрикӣ тағйир ёфта метавонанд. Ин ларзишҷо *ларзишҷои электромагнитӣ* ном гирифтаанд.

Ларзишҷои электромагнитӣ бо ларзишҷои механикӣ, ки шумо онҳоро дар синфи IX омӯхта будед, умумияти бисёр доранд.

Чунин ба назар мерасад, ки гӯё дар байни чунбиши *ованг* (номи пешинааш: раққосак) ва тағйироти ҷараёни ба воситаи ғалтак ҳолӣ (беварқа) шудани конденсатор ҳеҷ гуна умумият набошад. Аммо ин тавр нест. Ларзишҷои механикӣ электромагнитӣ тобеъи ҳамон як қонуниятҳои микдорианд.

Инро дарк кардан душвор нест, ба шарте ки мо сарфи назар аз он кунем, ки чӣ (бори сари фанар ё ҷараёни электрикӣ дар занҷир) меларзад ё мелаппад, балки ба он бингарем, ки ҳамин ларзишҷову лаппишҷо чӣ тавр рӯй медиҳанд. Рӯйдодҳои мавҷии гуногунтабиат низ тобеи қонунҳои яхела буда метавонанд.

Дар физикаи муосир як фасли мустиқил – «Физикаи ларзишҷо» ба майдони вучуд омад, ки дар он ларзишҷои гуногунтабиат аз ҳамон як нуқтаи назари умумӣ муоина мешаванд. Физикаи ларзишҷо татбиқҳои зиёд ва муҳим дорад. Дар ин фасли физика ларзиши мошинҷову механизмҳо таҳқиқ мешавад. Дастовардҳои он дар электротехникаи ҷараёнҳои тағйирёбанда ва радиотехника майдони фароҳи татбиқ доранд.



Боби 2

ЛАРЗИШҶОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ

Дар ин боб мо бо муоинаи ларзишҳои электромагнитӣ машғул мешавем. Ва бояд бигӯем, ки муоиноти мо назар ба он, ки дар физикаи синфи IX дар бораи ларзишҳои механикӣ баён шудааст, аз нигоҳи илмӣ амиқтар хоҳад буд. Дониши шумо аз риёзиёт (математика) акнун барои омӯзиши чуқуртари ин фасл кофист. Мо ин ҷо дар хусуси ларзишҳои механикӣ низ камубеиш сухан меронем, то ки ягонагии рӯйдодҳои ларзишҳои табиатро бетаъкид назорем.

§11. Ларзишҳои электромагнитии озод ва маҷбурӣ

Ларзишҳои электромагнитиро низ ба вучуд овардан осон аст, он сон, ки мо қисмеро дар сари фанар (пружин) овехта, онро ҷунбиши медиҳем. Вале мушоҳидаи ларзишҳои электромагнитӣ чандон осон нест, зеро мо на рафти падидаи барқаманд шудани конденсаторро дида метавонему на ҷараёни электрикии дар ғалтак пайдошавандаро.

Кашфи ларзишҳои электромагнитӣ то дараҷае тасодуфӣ буд. Баъди он ки банкаи лейденӣ (яъне нахустин конденсатор) ихтироъ карда шуд ва олимони тарзҳои бо ёрии мошини электростатикӣ ба он додани барқаҳои зиёдро ёд гирифтанд, ба омӯзиши падидаи аз барқа холи шудан, яъне тахлия (бебарқа, пардаҳт) шудани он банка пардохтанд. Рӯяҳои банкаи лейдениро ба воситаи ғалтаки симин ба ҳам пайваста, диданд, ки симҳои пӯлодини даруни ғалтак магнитнок мешаванд. Ин ҷойи таъачҷуб надошт: ҷараёни электрикӣ «вазифадор буд», ки мағза (дилак)-и пӯлодинро магнитнок кунад.

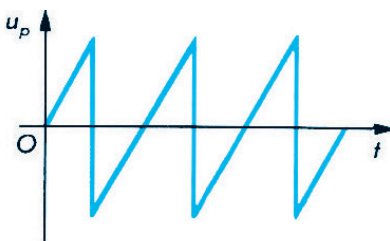
Чизи дигар таъачҷубангез буд: пешакӣ тахмин кардан илоҷ надошт, ки кадом нӯги мағзай ғалтак қутби «шимол» мешаваду кадомаш – «ҷануб». Такрори таҷриба дар ҳамон як шароит натиҷаи ҳархела меод. Ва на якбора дарк кардан муяссар гардид, ки ҳангоми ба воситаи ғалтак бебарқа шудани конденсатор ларзиши электромагнитӣ рӯй медиҳад. Дар муддати рӯй додани тахлия (пардаҳт)-и электрикӣ конденсатор чандин бор пури барқа ва боз холи мешавад ва ҷараён борҳо самти худро тағйир медиҳад. Ба ҳамин сабаб мағза ба тарзҳои гуногун магнитнок шуда метавонад.

Тағйироти даврӣ ё қариб даврии барқа, қувваи ҷараён ва *волтажро*¹ ларзиши электромагнитӣ меғунд.

Ин ларзишҳо бо басомади назар ба басомадҳои механикӣ хеле зиёд рӯй медиҳанд. Бино бар ин хубтарин воситаи мушоҳида ва таҳқиқи онҳо осциллограф (ларзишнигор)-и электронӣ аст.

Дар найчаи электронӣ шуъои осциллограф дастаи борикӣ

электронҳо ба экране мезанад, ки он бо таъсири электронҳо нур меафканад. Ба лавҳаҳои уфуқимайлдихандаи найча волтажи тағйирёбандаи «аррашакл» (рас. 22), ки вазифаи густиришдиҳандагӣ дорад, дода мешавад. Ин волтаж нисбатан охиста меафзояд, аммо зуд кам мешавад. Майдони электрикӣ байни лавҳаҳо шуъои электрониро маҷбур месозад, ки экранро дар самти уфуқӣ бо суръати доимӣ паймояд ва баъд қариб онан (дафъатан) ақиб гардад. Баъд ин амал саропо такрор мешавад. Акнун агар лавҳаҳои амудимайлдихандаи найча ба конденсатор пайваста шаванд, он гоҳ пасту баланд шудани волтаж ҳангоми ҳолӣ (бебарқа) шудани конденсатор дастаи электрониро ларзиш медиҳад. Дар натиҷа дар экран «густара»-и замонии ларзишҳои дастаи электронӣ ҳосил мешавад (рас.23), мисли он, ки ованг (раққосак)-и қаламдор дар рӯйи коғазварақи равон мекашад. Ҳама гуна ларзиш (навасон) бо мурури замон хомӯш мешавад².



Рас.22.

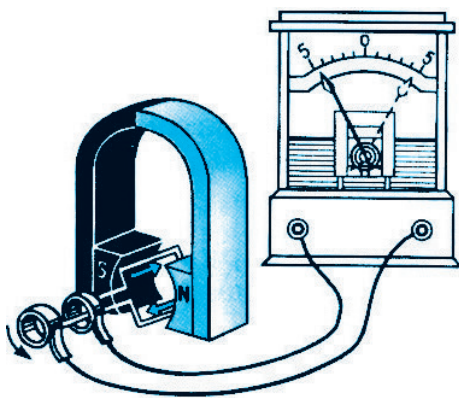


Рас.23.

1. Номи пешинаи волтаж шиддат буд (С. Қ.).
2. Ларзишҳои дар занҷири электрикӣ рӯйдиханда аксаран дар тӯли ҳиссаҳои сония хомӯш мегарданд. Бинобар ин барои мушоҳидаи онҳо осциллографро истифода кардан хубтар аст, ки экрани он бо таъсири электронҳо муддати мадиде шӯълавар бимонад.

Ин ларзишҳо ларзишҳои озоданд. Ларзишҳоеро *ларзиши озод* ё *ларзиши озодона* мегӯянд, ки баъди аз ҳолати мувозанат баровардани системаи ларзишзо дар он система ба вучуд меоянд. Дар мисоли мо системаи ларзишзо дар натиҷаи барқаманд кардани конденсатор аз ҳолати мувозанат бароварда мешавад. Барқаманд шудани конденсатор монанди он аст, ки гӯё мо овангро аз мавқеи мувозанат ин ё он сӯ чунб дода бошем.

Дар занҷири электрикӣ ҳосил кардани ларзишҳои маҷбурӣ низ душвор нест. Ларзишҳоеро *ларзиши маҷбурӣ* меноманд, ки дар занҷир бо таъсири қувваи муҳаррикаи электрикии даврии берунӣ ба вучуд меоянд.



Рас. 24.

Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и тағйирёбанда, масалан, дар қоб (рамка)-и симини иборат аз якчанд печ хангоми дар майдони магнитӣ гардиш хӯрдани он пайдо мешавад (рас.24). Пайдоиши ҚумЭ-и индуксионӣ дар ин маврид ин гуна замина дорад: электронҳои ҳамроҳи ноқилҳои қоб ҳаракаткунанда аз тарафи майдони магнитӣ таъсир мебинанд; электронҳо ба қадди ноқил ҳамин

қувва ҳаракат медиҳад (мекӯҷонад). Азбаски сели магнитии ба қоб зананда ба таври даврӣ тағйир меёбад, пас, мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ ҚумЭ-и индуксионӣ низ ба таври даврӣ тағйир мепазирад. Дар сурати сарбаст кардани занҷир ҚумЭ-и тағйирёбанда чараёни тағйирёбанда ба вучуд меоварад ва ақрабаки галванометр дар назди мавқеи мувозанати худ ларзиш мехӯрад.



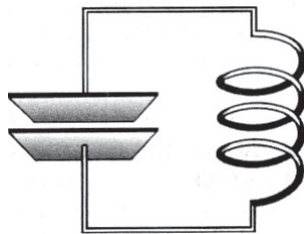
Ларзишҳои электромагнитии озод дар натиҷаи фароянди ба воқитаи галтаки индуктивӣ (илқо-галтак) ҳолӣ шудани конденсатор пайдо мешаванд. Ларзишҳои маҷбуриро ҚумЭ-и давритағйирёбанда ба вучуд меоварад.



1. Чиро ларзиши электромагнитӣ мегӯянд?
2. Тафовути ларзишҳои электромагнитии озод ва маҷбурӣ дар чист?

§12. Контури ларзишзо. Табдили энергия дар ларзишҳои электромагнитӣ.

Содатарин системае, ки дар он ларзишҳои электромагнитии озод рӯй дода матавонанд, аз конденсатор ва як галтаке иборат аст, ки ба рӯяҳои конденсатор пайваста шудааст (рас.25). Ин гуна система контури ларзишзо ном гирифтааст.



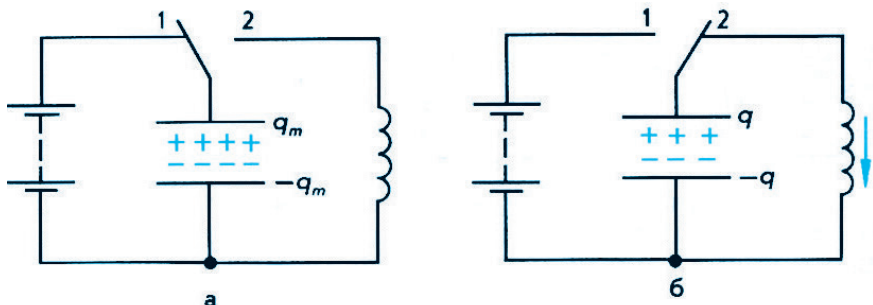
Рас. 25.

Биёед бинем, ки ларзишҳо дар ин контур ба чӣ сабаб рӯй медиҳанд. Конденсаторро муддате ба ягон батаре пайваста, онро барқаманд мекунем, яъне ба он барқа (заряди электрикӣ) медиҳем (рас.26,а). Дар ин сурат конденсатор ин қадар энергия мегирад:

$$W_p = \frac{q_m^2}{2C}, \quad (2.1)$$

ки ин ҷо q_m барқаи конденсатор асту C – гунҷойиши электрикии он. Он гоҳ дар байни рӯяҳои конденсатор фарқи потенциалҳои U_m ба вучуд меояд.

Калидро ба ҳолати 2 мегардонем (рас. 26,б). Он гоҳ конденсатор аз барқаи худ ҳолӣ шудан мегирад – дар натиҷа дар занҷир ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд. Қувваи ин ҷараён охиаста-



Рас. 26.

охиста меафзояд, яъне на якбора ба қимати зиёдтарини худ мерасад. Сабаби ин дар падидаи худ-индуксия аст. Баробари пайдоиши ҷараён майдони магнитии тағйирёбанда низ ба вучуд меояд. Ин майдон дар ноқил майдони электрикии тўфонӣ ба вучуд меоварад (дар ин бора дар боби 1 суҳан рафта буд). Ана ҳамин майдони электрикии тўфонӣ аст, ки ҳангоми «ҷон гирифтани»-и майдони магнитӣ муқобили ҷараён амал карда, монеи якбора афзудани он ҷараён мешавад.

Ба қадри ҳолӣ (бебарқа) шудани конденсатор энергияи майдони электрикӣ кам мешавад, вале дар айни ҳол энергияи майдони магнитии ҷараён меафзояд ва ин энергия чунин ёфта мешавад:

$$W_M = \frac{Li^2}{2} \quad (2.2)$$

Ин ҷо i қувваи ҷараёни тағйирёбанда асту L – индуктивияти ғалтак.

Энергияи пурраи майдони электромагнитии контур W баробари ҳосили ҷамъи энергияи майдони магнитӣ ва энергияи майдони электрикӣ аст:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} \quad (2.3)$$

Дар лаҳзаи комилан ҳолӣ шудани конденсатор ($q=0$) энергияи майдони электрикӣ баробари сифр, вале энергияи майдони магнитии ҷараён мувофиқи қонуни бақои энергия зиёди зиёд мешавад. Дар ин лаҳза қувваи ҷараён низ ба қимати зиёдтарини худ мерасад.

Бо вучуди он ки то ин лаҳза фарқи потенциалҳо дар нӯғҳои ғалтак баробари сифр мешавад, ҷараёни электрикӣ на якбора қатъ мегардад. Ба ин ҳам падидаи худ-индуксия монеъ мешавад. Ва ҳамин ки кам шудани қувваи ҷараёну майдони магнитии зодаи он оғоз ёфт, майдони электрикии тўфоние ба вучуд меояд, ки ҷараёнро зўртар мекунад.

Дар натиҷа конденсатор то дами охиста-охиста ҳолӣ шуда, ба сифр расидани қувваи ҷараён пур шудан мегирад. Дар ин лаҳза энергияи майдони магнитӣ низ сифрӣ мешавад, вале энергияи майдони электрикии конденсатор боз ба қимати зиёдтарин мерасад.

Баъди ин конденсатор аз сари нав пурбор (барқаманд) шудан мегирад ва система ба ҳолати ибтидоӣ бозмегардад. Агар талафи

энергия вучуд намедошт, ин падида муддатҳо идома меёфт, яъне ларзишҳои электрикӣ хомӯшнашаванда мебуданд ва пас аз ҳар як даври ларзиш ҳолати система айнан такрор мешуд. Энергияи пурра дар ин маврид бақо медошт ва қимати он дар ҳар лаҳзаи вақт ба энергияи зиёдтарини майдони электрикӣ ё ба энергияи зиёдтарини майдони магнитӣ баробар мебуд:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = L \frac{I_m^2}{2}$$

Аммо дар асл талафи энергия ногузир аст, зеро ғалтак ва ноқилҳои пайваस्तкунанда соҳиби ин ё он муқовиматанд. Ҳамин аст, ки энергияи майдони электромагнитии контур оҳиста-оҳиста ба энергияи дохилии ноқил бадал мешавад.



Дар контури ларзишизо энергияи майдони электрикии конденсатори барқаманд (конденсатори пурбор) ба таври даврӣ ба энергияи майдони магнитии ҷараён бадал мешавад. Дар сурати дар система вучуд надоштани муқовимат энергияи пурраи майдони электромагнитӣ бетағйир мемонад.



1. Оё шумо метавонед, ки як контури ларзишизо бисозед?
2. Энергияи контури ларзишизо дар лаҳзаи дилхоҳи вақт ба чӣ баробар аст?

§13. Шабоҳати байни ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ

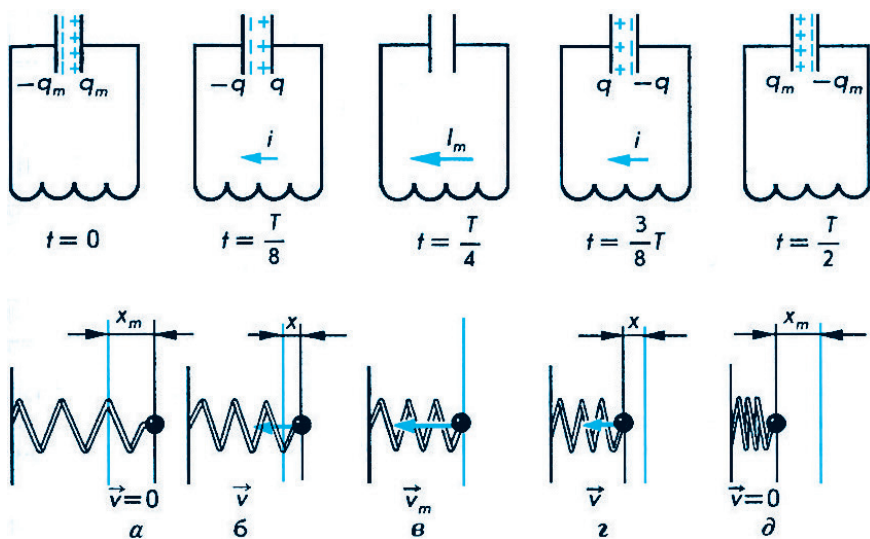
Ларзишҳои электромагнитии дар контур пайдошаванда ба ларзишҳои механикии озод, масалан, ба ларзишҳои бори сари фанар (пружин) монандӣ доранд. Ин монандӣ на бо табиати худи ин бузургиҳо (ки давритағйирёбанда мебошанд), балки бо фарояндҳои ба таври даврӣ тағйир ёфтани бузургиҳои гуногун алоқаманд аст.

Дар ларзишҳои механикӣ ба таври даврӣ координати ҷисм x ва соя-тасвир (проексия)-и суръати он v_x тағйир меёбанду дар ларзишҳои электромагнитӣ – барқа (заряди электрикӣ)-и конденсатор q ва қувваи ҷараёни занҷир i .

Монанд будани тағйироти бузургиҳои механикӣ ва электромагнитӣ он гуна замина дорад, ки шароитҳои пайдоиши ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ ба якдигар шабоҳат доранд. Қисми сари фанарро ба ҳолати мувозанат қувваи чандирие (F_x) бармегардонад, ки он ба кӯчиши қисм (аз мавқеи мувозанат) мутаносиб аст. Ва ин ҷо ба сифати зариб (коэффисент)-и мутаносибӣ саҳтии фанар k меояд. Тахлия (бебарқа) шудани конденсатор, яъне пайдоиши чараён ба волтажи байни рӯяхи конденсатор u , ки худ ба q мутаносиб аст, вобаста мебошад. Ин ҷо зариви мутаносибӣ бузургии чаппаи гунҷойиши конденсатор, яъне $1/C$ мебошад, зеро $u=q/C$ аст.

Монанди он ки ба сабаби вучуд доштани инерсия (шасти ҳаракат) қисм бо таъсири қувва суръати худро на якбора зиёд карда метавонад ва ҳангоми қатъ гардонидани таъсири қувва суръати қисм на якбора сифрӣ мешавад, ҳамин чараёни электрикӣ дар ғалтак аз ҳисоби падидаи худ-индуксия (худ-илқо) бо таъсири волтаж охиста-охиста меафзояд ва ҳангоми ба қимати сифрӣ расидани волтаж на якбора нопадид мегардад. Индуктивияти контур L ин ҷо ҳамон гуна мақом дорад, ки массаи қисм m дар механика дорад. Ба иборати дигар, ба энергияи кинетикии қисм $\frac{m}{2}v_x^2$ энергияи майдони магнитии чараён $Li^2/2$ мувофиқ меояд. Мисли ҳамин, аз ҳисоби энергияи чараёни электрикии батаре барқаманд (пури барқа) шудани конденсатор шабеҳи он аст, ки қисми сари фанар (пружин) дар натиҷаи аз мавқеи мувозанат ба қадри x_m кӯчонида шудан соҳиби энергияи потенциалии $\frac{k}{2}x_m^2$ мегардад (рас. 27,а; дар ин расм мавқеҳои мувозанат бо хатҳои амудии ранга ишорат шудаанд). Ин ифодаро бо энергияи конденсатор $\frac{1}{2C}q_m^2$ муқоиса карда, мебинем, ки саҳтии фанар дар ларзиши механикӣ ҳамон гуна мақом дорад, ки бузургии чаппаи гунҷойиш (яъне $1/C$) дар ларзишҳои электромагнитӣ дорад ва координати ибтидоӣ x_m шабеҳи барқои q_m мебошад.

Дар занҷири электрикӣ аз ҳисоби фарқи потенциалҳо ба вучуд омадани чараёни i шабеҳи мавриди дар системаи ларзандагӣ бо таъсири қувваи чандирии фанар суръати v_x гирифтани қисм мебошад (рас.27,б). Лаҳзае, ки конденсатор ҳолӣ мешаваду қувваи чараён қимати зиёдтарин мегирад, мутобиқи мавридест, ки қисм аз мавқеи мувозанат бо суръати зиёдтарин мегузарад (рас.27,в).



Рас. 27.

Баъд рӯяҳои конденсатор боз тағйири барқа мекунанду чисми сари фанар аз мавқеи мувозанат сӯйи чап мекуҷад (рас. 27, г). Пас аз ин даври ларзиш конденсатор комилан тағйири барқа мекунад ва қувваи ҷараён боз сифрӣ мешавад. Ин мутобиқи ҳолати дар мавқеи канории чап қарор гирифтани чисми сари фанар аст, яъне дар ин маврид суръати чисм сифрӣ мешавад (рас.27, д).

Мутобиқати байни баъзе бузургиҳои механикӣ ва электрикӣ хоси ларзишҳо дар ҷадв. 1 омадааст.

Ҷадвали 1

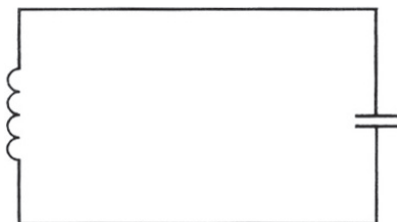
Бузургии механикӣ	Бузургии электрикӣ
Координат x	Барқа (бори электрикӣ) q
Суръат v_x	Қувваи ҷараён i
Масса (ҷирм) m	Индуктивият (худ-илқоӣ) L
Сахтии фанар (пружин) k	Бузургии ҷапкаи гунҷойиш $\frac{1}{C}$
Энергияи потенциалӣ $\frac{kx^2}{2}$	Энергияи майдони электрикӣ $\frac{q^2}{2C}$
Энергияи кинетикӣ $\frac{mv_x^2}{2}$	Энергияи майдони магнитӣ $\frac{Li^2}{2}$



1. Шумо дар байни ларзишҳои электромагнитии дар контур рӯйдиханда ва ҷунбишҳои ованги риёзӣ (раққосаки математикӣ) чӣ шабоҳат мебинед?
2. Дар контури ларзишзо дар мақоми сахтии фанар омадани бузургии ҷапнаи гунҷойиш (яъне I/C)-ро шумо чӣ шарҳ медиҳед?

§14. Муодилаи ташхиси рӯйдодҳои контури ларзишзо

Акнун ба муоинаи назарияи миқдории падидаҳои дар контури ларзишзо рӯйдиханда мепардозем. Ин душвортарин бахши боби 2 аст. Аммо агар шумо, хонандаи азиз, бо ҷоидаҳои ҳосилагирӣ мусаллаҳ бошед, ин мавзӯро бо осонӣ дарк карда метавонед.



Рас.28

Контури ларзишзоеро бинем (рас.28), ки муқовимати он R -ро ба эътибор нагирифта мумкин бошад. Муодилаи ташхиси ларзишҳои электрикӣ озоди дар контури ларзишзо рӯйдихандаро дар заминаи қонуни бақои энергия ҳосил кардан осон аст.

Энергияи электромагнитии пурраи контури ларзишзо W дар ҳар лаҳзаи вақт ба ҷамъи энергияҳои майдонҳои магнитӣ ва электрикӣ баробар мебошад:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}.$$

Ин энергия дар сурати сифрӣ будани муқовимати контур бо мурури замон тағйир намепазирад. Ва модом ки мо энергияро доимӣ мепиндорем, ҳосилаи замони он баробари сифр хоҳад буд. Чунин ки бошад, ҷамъи ҳосилаҳои замони аз энергияҳои майдонҳои магнитӣ ва электрикӣ низ баробари сифр меояд:

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0,$$

ё худ

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)' \quad (2.5)$$

Муодилаи (2.5) он гуна маъниро ифода мекунад, ки суръати тағйироти энергияи майдони магнитӣ модулан баробари тағйироти энергияи майдони электрикӣ аст ва аломати «минус» онро ифода мекунад, ки дар сурати афзудани энергияи майдони электрикӣ энергияи майдони магнитӣ мекоҳад (ва баръакс). Ва маҳз хамин аст, ки энергияи пурра тағйир намеёбад.

Ҳосилаи ҳарду тарафи муодилаи (2.5)-ро ёфта¹, ин хел менависем:

$$\frac{L}{2} 2i i' = -\frac{1}{2C} 2q q' \quad (2.6)$$

Аммо ҳосилаи замони барқа (бори электрикӣ) қувваи чараёнро ифода мекунад:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = q' \quad (2.7)$$

Бинобар ин муъодилаи (2.6)-ро чунин навиштан мумкин аст:

$$L i' i = -\frac{i q}{C} \quad (2.8)$$

Ҳосилаи замони қувваи чараён чизи дигаре нест ба чуз ҳосилаи дуёми замони барқа, мисли он ки ҳосилаи суръат (яъне шитоб) ҳосилаи дуёми замони координат мебошад². Дар муодилаи (2.8) $i' = q''$ мегузorem ва тарафҳои чапу рости ин муодиларо ба Li тақсим карда, муодилаи асосии ташхиси ларзишҳои электромагнитии дар контури ларзишзо рӯйдиҳандаро меёбем:

$$q'' = -\frac{1}{LC} q \quad (2.9)$$

Агар шумо боби «Лапишҳои механикӣ»-и китоби дарсии «Физика, 9»-ро ба ёд биёред ё онро такроран мутолиа кунед, як

1. Мо ин чо ҳосилаҳои замони, яъне ҳосилаҳои нисбат ба вақт гирифташударо дар назар дорем. Бинобар ин ҳосилаи $(i^2)'$ на ба таври сода ба $2i$ баробар аст (чунонки дар сурати нисбат ба i ҳосила гирифташуда мебуд), балки он $2i'$ ро боз ба ҳосилаи замони қувваи чараён i' низ зарб задан мебояд, он тавр ки ҳосилаи функцияи мураккаб ёфта мешавад. Дар бораи ҳосилаи $(q^2)'$ низ ҳаминро гуфташуда мебуд.
2. Шитоб дар механика чун ҳосилаи замони суръат ёфта мешавад: $a_x = v'_x$ (ниг. китоби дарсии риёзиёти синфи X). Суръат бошад, ҳосилаи замони координат аст: $v_x = x'$. Бинобар ин шитоб ҳосилаи дуёми замони координат мебошад: $a_x = x''$. Пас, бузургии q'' ба кулӣ ба шитоб a_x монандӣ дорад. Ин мутобиқатро дар ҷадв. 1 низ инъикос кардан мумкин буд.

чизи бисёр ачиб бароятон равшан мешавад. Муодилаи (2.9) ғайри ишоратҳои дар он истифодашуда бо чизи дигаре аз муодилаи таъхиси ларзиши қисми сари фанар фарқ намекунад, яъне дар сурати дар муодилаи ифодакунандаи ларзишҳои механикӣ иваз кардани x ба q , шитоби қисм $a_x = x''$ ба q'' , k ба $1/C$ ва m ба L ҳамин формулаи (2.9) ҳосил мешавад.



Ҳамин тариқ, мо ин ҷо масъалаи асосии ларзишҳои электромагнитии озодро ҳал кардем, яъне муодилае баровардем, ки ин ларзишҳоро ифода мекунад. Ин муодила низ он гуна шакли риёзӣ дорад, ки муодилаи таъхиси ларзиши қисми сари фанар ё ованги риёзӣ (раққосаки математикӣ) дошт.



1. *Суръати тағйироти энергияи электрикӣ дар контури ларзишзо ба чӣ баробар аст?*
2. *Суръати тағйироти энергияи магнитӣ дар контур ба чӣ баробар аст?*

§15. Ларзишҳои мавзун. Доманаи ларзиш. Давр ва басомади ларзиш.

Дар физикаи синфи 9 муодилаи ҳаракат (яъне ифодаи қонуни дуҷуми Нютон) барои таъхиси ҳаракати қисми сари фанар (пружин) ва ованги риёзӣ (раққосаки математикӣ) оварда шуда буд. Вале мо қўишише ҳам накардаем, ки ба воситаи он муодила вобастагии координати қисми ларзонро ба вақт муқаррар кунем. Ин корро танҳо дар асоси таҳлили риёзӣ (таҳлили математикӣ) анҷом додан имкон дорад.

Биёед аз рӯйи вобастагии маълуми q'' ба q (муодилаи 2.9) вобастагии барқа (заряди электрикӣ)-ро ба вақт муқаррар кунем. Ин кори осон нест ва қўишиши зиёд, чадал меҳонад, вале қариб ҳар яки шумо, хонандаҳои азиз, онро сомон дода метавонед.

Ларзишҳои мавзун (ларзишҳои ҳармоникӣ). Ҳосилаи дуҷуми замони барқа мувофиқи муодилаи (2.9) ба бузургии барқа мутаносиб мебошад, вале аломати ба он муқобил дорад.

Хуб, барқа бо мурури замон чӣ тавр тағйир меёбад? Равшан аст, ки ин вобастагӣ бояд рафтори даврӣ дошта бошад. Шумо синус ва косинус ворӣ функцияҳои давриро медонед. Чунонки маълум аст, ин функцияҳо он гуна хусусият доранд, ки ҳосилаи дуёми онҳо ба худӣ функцияҳо яъне ба синус ё косинус (вале бо аломати акс) мутаносиб мебошад. Дар таҳлили риёзӣ нишон дода мешавад, ки ҳаҷ функцияи дигар ин гуна хусусият надорад. Ин нуқтаҳо имкон медиҳанд бо боварии том бигӯем, ки барқа (ё ҷараён) дар ларзишҳои озод бо мурури замон аз рӯи қонуни синус ё косинус тағйир меёбанд.

Тағйироти замони даврии ин ё он бузургии физикиро дар сурати аз рӯи қонуни синус ё косинус рӯй додани он *ларзиши мавзун* мегӯянд.

Қисми сари фанар (ё ованги риёзӣ) ларзиши мавзун мекунад ва муодилаи ҳаракати он шаклан ва моҳиятан ба муодилаи (2.9) монандӣ дорад. Дар «Физика, 9» ларзишҳои мавзун маҳз чун ҳаракатҳои шарҳ ёфтаанд, ки барои онҳо шитоб ба кӯчиши «минусӣаломат» мутаносиб аст.

Доманаи ларзиш (амплитуди ларзиш). Яке аз бузургиҳои муҳими ташхискунандаи ларзиш доманаи ларзиш мебошад. Доманаи ларзиши мавзун гуфта модули қимати зиёдтарини бузургии ларзонро мефаҳманд. Ин гуна модули барқа ё ҳар бузургии дигари давритағйирёбанда буда метавонад.

Доманаи ларзиш вобаста ба он ки дар лаҳзаи аввали вақт ба конденсатор чӣ миқдор барқа дода шудааст, гуногун буда метавонад. Ба иборати дигар, доманаи ларзиш ба шароити ибтидоӣ бастагӣ дорад. Лекин қимати зиёдтарини модули синус ва косинус 1 аст. Аз ин рӯ ҳалли муодилаи (2.9)-ро танҳо бо синус ё косинус ифода кардан носаҳеҳ мебуд. Ҳал бояд дар шакли ҳосили зарби доманаи ларзиш q_m ва синус ё косинус ояд.

Ҳалли муодилаи ташхиси ларзишҳои озод. Хуб, ҳалли муодилаи (2.9) бояд чӣ гуна шакл дошта бошад? Содагирӣ карда,

$$q = q_m \cos t \quad \text{ё ин ки} \quad q = q_m \sin t$$

пиндоштан дуруст нест, зеро дар ин сурат ба ҷойи

$$q'' = -\frac{1}{LC}q$$

таносуби

$$q'' = -qmc\omega t = -q$$

хосил мешуд. Аммо агар шакли халро каме тағйир диҳем, «лаъл ба даст меояд». Барои он ки дар ифодаи ҳосилаи дуёми q'' зареби $1/LC$ ояд, ҳалли муъодилаи (2.9)-ро дар шакли зайл менависем:

$$q = q_m \cos \sqrt{\frac{1}{LC}} t \quad (2.10)$$

Дар ин сурат ҳосилаи яқум шакли зайл мегирад:

$$q' = -\sqrt{\frac{1}{LC}} q_m \sin \sqrt{\frac{1}{LC}} t$$

Ҳосилаи дуём

$$q'' = -\frac{1}{LC} q_m \cos \sqrt{\frac{1}{LC}} t = -\frac{1}{LC} q$$

мешавад, ки ин ҳамон муъодилаи (2.9) аст. Пас, ифодаи (2.10) ҳалли муъодилаи ибтидоӣ, яъне ҳалли муъодилаи (2.9) мебошад. Фаҳмост, ки ифодаи

$$q = q_m \sin \sqrt{\frac{1}{LC}} t \quad (2.11)$$

низ ҳалли муъодилаи аввала буда метавонад. Бузургии дойимии $\sqrt{\frac{1}{LC}}$ -ро, ки ба хусусиятҳои система бастагӣ дорад, бо ω_0 ишорат мекунем:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.12)$$

ки ин ифодаи (2.10)-ро шакли содатар медиҳад:

$$q = q_m \cos \omega_0 t \quad (2.13)$$

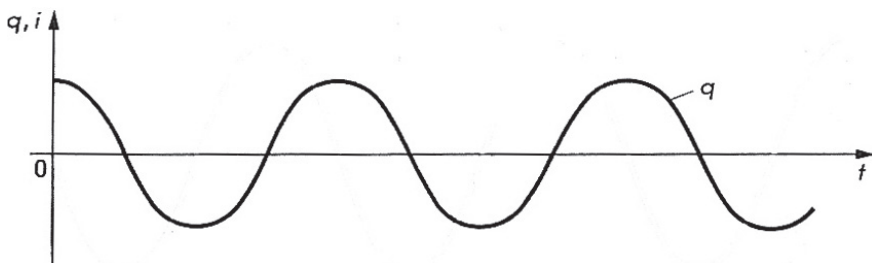
Худи муъодилаи (2.9), ки ларзишҳои электромагнитии озодро ифода мекунад, дар ин сурат баста мешавад:

$$q'' = -\omega_0^2 q \quad (2.14)$$

Хатти вобастагии барқа ба вақт мувофиқи (2.13) косину-сишакл аст (рас.29).

Давр ва басомади ларзишҳои мавзун. Акнун ба сари мазмуни физикии бузургии ω_0 биёем.

Дар натиҷаи ларзишҳои электрикӣ қиматҳои барқаи конденсатор ба таври даврӣ такрор мешаванд. Кӯтоҳтарин муддати вақте (T), ки дар тӯли он ларзиш қомилан такрор мешавад, *даври ларзиш* ном гирифтааст.



Рас. 29

Даври ларзиш агар маълум бошад, *басомади ларзиш*, яъне адади ларзишҳои дар воҳиди вақт рӯйдихандаро муайян кардан осон аст. Бигзор, барои рӯй додани як ларзиш муддати вақти T зарур ояд – ба ин шарт адади ларзишҳои дар муддати 1 с рӯйдиханда ν -ро чунин ифода кардан мумкин аст:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (2.15)$$

Ба ёд меорем, ки дар Манзумаи байналмилалӣ воҳидҳо (SI) басомади ларзише ба сифати воҳид пазируфта шудааст, ки барои он адади ларзишҳо дар ҳар сония яқтост. Ин воҳидро *ҳертз* меноманд ва бо Ҳз (аз исми Х. Ҳертз) ишорат мекунанд. Пас аз муддати вақти баробар ба як даври ларзиш T , яъне дар сурати ба кадри $\omega_0 T$ афзудани аргументи косинус қимати барқа такрор мешавад ва косинус қимати пешинаи худро соҳиб мегардад. Аз риёзиёт маълум аст, ки кӯтоҳтарин даври косинус 2π аст. Пас,

$$\omega_0 T = 2\pi$$

ё аз ин ҷо:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad (2.16)$$

Ҳамин тариқ, бузургии ω_0 адади ларзишхост, аммо на дар 1 с, балки дар муддати 2π с. Ин бузургӣ *басомади доиравӣ*¹ ном гирифтааст.

Басомади ларзишҳои озодро басомади хусусӣ ё басомади хоси системаи ларзишзо мегӯянд.

1. Минбаъд мо дар мақоми басомади доиравӣ танҳо басомад хоҳем гуфт, ки мучазтар (кӯтоҳтар) аст. Басомади доиравӣ ω_0 -ро аз басомади ν фарқ кардан мушкил нест, зеро ки ишоратҳо гуногунанд.

Формулаи Томсон. Мо дидем, ки зариб (коэффисент)-и мутаносибӣ дар муодилаи (2.9) маънии квадрати басомади доиравӣ дорад:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

Даври ларзишҳои озоди контурӣ ин аст:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (2.17)$$

Ин ифода *формулаи Томсон* ном дорад (ба исми олими инглис Уилям Томсон).

Афзудани даври ларзиш T -ро ба қадри зиёд шудани L ва C чунин шарҳ додан мумкин аст. Дар сурати зиёд шудани индуктивият (илқо) чараён бо мурури замон оҳистатар меафзояд ва то қимати сифрӣ оҳистатар кам мешавад. Ва ҳар қадре ки гунҷойиш зиёд бошад, барои тағйири барқаи рӯяхҳои конденсатор ҳамон кадр вақти тӯлонитар зарур мебошад.

Ларзишҳои хомӯшшаванда. Ларзишҳои озоди барқа ва чараён ба сабаби имкон доштани талафоти энергия дар асл начандон мавзун (начандон ҳармоникӣ) мебошанд. Онҳо рафта-рафта хомӯш мешаванд. Густариши замони ларзишҳои хомӯшшавандаро мо дар рас.23 (дар тасвири осиллографӣ) дида будем.

Ҳар қадре ки муқовимати контур R зиёд бошад, даври ларзиш ҳамон кадр тӯлонитар хоҳад буд. Дар сурати ба қадри кофӣ зиёд будани муқовимат дар контур ларзиш ба вучуд намеояд. Конденсатор холӣ (бебарқа) мешавад, вале дар ин маврид аз сари нав барқаманд намешавад.



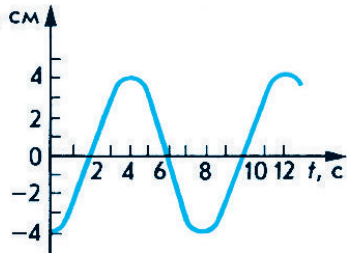
Шумо хуб меҳнат кардед. Муодилаи дифференциалиро ҳал кардед, ки ларзишҳои мавзунро тавсиф медиҳад. То охири китоб шумо ягон масъалаи аз ҷиҳати риёзӣ душвортареро дучор намеоед.

Исбот шуд, ки ларзишҳои электромагнитии озод дар контур аз рӯйи қонуни синус ё косинус рӯй медиҳанд. Мо даври ларзиш ва инчунин басомади хусусии ларзишҳоро муқаррар кардем.



1. Чӣ гуна ларзишҳо ларзишҳои мавзунанд?
2. Басомади доиравии ларзиш бо даври ларзиш чӣ алоқамандӣ дорад?

3. Дар сурати бо конденсатори гунҷоишаш ду мартаба камтар иваз кардани конденсатори контур даври ларзишҳои озод чӣ тағйирот мебинад?
4. Барқои бо кулонҳо ифодашуда бо мурури замон чунин тағйир меёбад: $q=3,5 \cdot 10^{-5} \cos 4\pi t$. Ларзиши ин барқа чӣ гуна домана (амплитуд) ва басомади доиравӣ дошта метавонад?
5. Дар рас.30 рафтори хатти ифодакунандаи ларзиши мавзуне тасвир ёфтааст. Домана ва даври ларзишҳои мавзунро муайян кунед.
6. Аз рӯи он ки муодилаҳои ташихискунондаи ларзиши ҷисми сари фанар (пружин) ва ованги рибзӣ (раққосаки математикӣ) ва инчунин муодилаи ифодакунандаи ларзиши барқа (2.9) монанд ҳас-танд, даври ларзиши ҷисми сари фанар ва овангро ёбед.



Рас. 30

§16. Фази ларзиш

Мо бо бузургҳои асосии ташихискунондаи ларзишҳои мавзун, яъне бо домана (амплитуд)-и ларзиши барқа (заряди электрикӣ), даври ларзиши T , басомади ларзиши ν ва басомади доиравии ларзиши ω_0 шинос шудем. Дар ин қатор бояд бузургии дигаре бо номи **фази ларзиш** низ бошад. (Ин ном аз калимаи юнонии *phasis* баромадааст, ки маънии зуҳур, пайдоиш, марҳалаи инкишофи ин ё он падида дорад).

Дар сурати қимати муайян доштани доманаи ларзишҳои мавзун барқои конденсаторро аз рӯи аргументи синус ё косинус муайян кардан мумкин аст:

$$\varphi = \omega_0 t$$

Бузургии φ -ро, ки дар аргументи синус (ё косинус) меояд, **фази ларзишҳои** аз рӯи қонуни синус (ё косинус) рӯйдиханда меноманд. Фази ларзишро бо воҳидҳои кунҷӣ – **радианҳо** ифода мекунад.

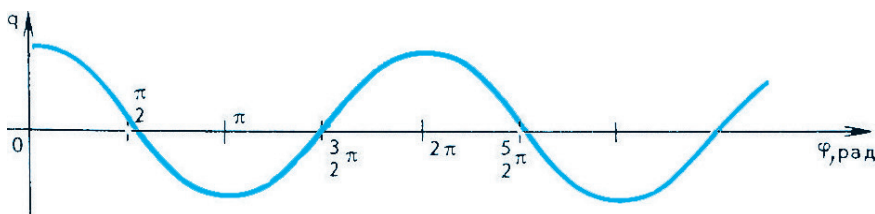
Аз рӯи қиматҳои фаз на танҳо барқа, балки қувваи ҷараён ва волтажро низ, ки ларзиши онҳо ҳам мавзун (ҳармоникӣ) мебошад, ёфтани мумкин аст. Бинобар ин гуфтан мумкин аст, ки дар сурати маълум будани доманаи ларзиш фази ларзиш ҳолати системаи ларзишзоро (барои ҳар лаҳзаи вақт) ифода мекунад. Моҳияти мафҳуми «фаз» (*phase*) маҳз дар ҳамин аст.

Ларзишҳои якдомана (яъне ҳамқад) ва ҳамбасомад аз якдигар бо фази худ фарқ карда метавонанд.

Азбаски $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ мебошад, пас:

$$\varphi = \omega_0 t = 2\pi \frac{t}{T}. \quad (2.18)$$

Нисбати $\frac{t}{T}$ нишон медиҳад, ки аз ибтидои ларзиш чӣ ҳиссаи давр гузаштааст. Ба ҳар қимати муддати вақти бо ҳиссаҳои даври ларзиш ифодашуда қимати муайяни бо радианҳо ифодашудаи фаз рост меояд. Чунончи, пас аз муддати $t=T/4$ (чаҳоряк давр) $\varphi=\pi/2$, пас аз муддати ним давр $\varphi=\pi$, пас аз як даври пурра $\varphi=2\pi$ ва ғ. мешавад. Дар нигора (график)-и ларзишҳо вобастагии барқаророна ба вақт (чун рас. 29 ва 30), балки ба фаз сохтан мумкин аст. Дар рас.31 ҳамон хатти косинусие тасвир ёфтааст, ки дар рас.29 омада буд, вале дар тири уфуқӣ ба ҷойи вақт қиматҳои фаз гузошта шудааст.



Рас. 31

Тасвири ларзишҳои мавзун ба воситаи функсияҳои синус ва косинус. Шумо аллақай медонед, ки дар ларзишҳои мавзун барқа бо мурури вақт ба қонуни синус (ё косинус) тағйир меёбад.

Акнун, ки моҳияти фази ларзиш дарк шуд, дар ин хусус муфассалтар суҳан меронем.

Синус аз косинус бо он фарқ мекунад, ки аргументаш аз аргументи он ба қадри чаҳоряк давр, яъне ба қадри $\pi/2$ пешӣ дорад:

$$\cos \varphi = \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.19)$$

Бинобар ин дар ташҳиси ларзишҳои мавзун ба ҷойи формулаи $q=q_m \cos \omega_0 t$ формулаи зайлро истифода кардан мумкин аст:

$$q = q_m \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.20)$$

Аммо дар ин маврид фази ибтидоӣ, яъне қимати фаз дар лаҳзаи $t=0$ на ба сифр, балки ба $\pi/2$ баробар мебошад.

Одатан мо ларзишхоро бо роҳи барқаманд кардани конденсатори контур меангезем. Барқай конденсатор дар лаҳзаи аввали вақт зиёди зиёд аст. Аз ин рӯ, барои таҳсис кардани ларзишҳо формулаи (2.13)-и бакосинус назар ба формулаи басинус хубтар аст.

Аммо агар мо ларзишҳои контуриро бо роҳи дар майдони магнители тағйирёбанда ҷой додани ғалтаки контур биангезем, гап дигар аст. Дар ин маврид конденсатор дар лаҳзаи аввали вақт ҳолӣ аз барқа мебошад ва бинобар ҳамин ларзишҳои барқаро бо формулаи (2.11) ифода кардан матлубтар мебуд.

Ғеҷиши фаз. Ларзишҳое, ки бо формулаҳои (2.10) ва (2.11) таҳсис мешаванд, аз якдигар танҳо бо фази худ фарқ доранд. Фарқи фазҳо, ё чунон ки аксаран мегӯянд, ғеҷиши фазҳои ин ларзишҳо $\pi/2$ аст. Дар рас. 32 хатҳои ифодакунандаи тағйироти замони ду ларзиши мавзуне тасвир ёфтааст, ки фазҳои ба қадри $\pi/2$ ғеҷида доранд. Хатти 1 тасвири ларзишест, ки аз рӯйи қонуни синус

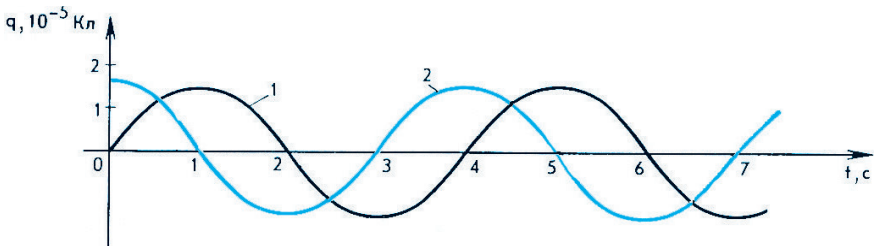
$$q = q_m \sin \omega_0 t$$

воқеъ мешавад ва хатти 2 ларзиши мувофиқи қонуни

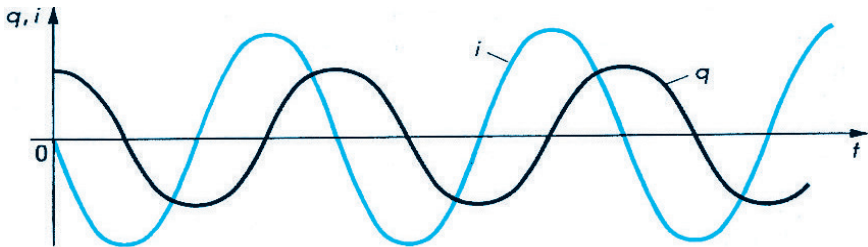
$$q = q_m \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) = q_m \cos \omega_0 t$$

рӯйдихандаро ифода мекунад. Барои ёфтани фарқи фазҳои ду ларзиш бузургии ларзонро ба воситаи ҳамон як функцияи тригонометрӣ – синус ё косинус ифода кардан мебуд.

Ларзишҳои мавзунӣ қувваи ҷараён. Дар сурати ба таври мавзун ларзидани қимати барқа қувваи ҷараён низ ҳамон тавр меларзад, яъне



Рас. 32



Рас. 33

$$i = q' = -q_m \sin \omega_0 t = I_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.21)$$

хоҳад буд, ки ин ҷо $I_m = q_m \omega_0$ домана (амплитуд)-и ларзиши қувваи ҷараён мебошад. Ва чунон ки аз рас.33 аён аст, ларзиши фази қувваи ҷараён назар ба ларзиши барқа ба қадри $\pi/2$ пеш аст.

Домана, давр ва басомади ларзиш мушаххасоти мафҳум ва аёнии падидаи ларзиш мебошанд. Вале мафҳуми «фаз» ба ин дараҷа аён нест. Бо вучуди ин фазро ёфтган осон аст: фаз аргументи синус ё аргументи косинус аст. Дар муоиноти физикӣ на худи фаз, балки гечиши он (ё худ фарқи фазҳо) роли муҳим дорад. Шумо ба ин ҳангоми омӯзиши чанд мавзӯи минбаъда яқин ҳосил мекунед.



1. Ларзиши барқа бо формулаи $q=3,5 \cdot 10^5 \cos 4\pi t$ (бо кулонҳо) тавсиф мешавад. Фази ин ларзишҳо баъди 5 сонияи ибтидои ларзиш ба чӣ баробар мешавад?
2. Домана (қад, амплитуд)-и ларзишҳои барқа ва қувваи ҷараён дар мавриди холӣ (бебарқа) шудани конденсатор чӣ алоқамандӣ доранд?

§17. Ҷараёни электрикии тағйирёбанда

Ларзишҳои электромагнитии озоди контурӣ ба сабаби зудхамӯшишаванда будан амалан истифода намешаванд. Дар амалия аксаран ларзишҳои маҷбурии ҳамӯшинашаванда қор меоянд.

Ларзишҳои ҷараёни тағйирёбандае, ки барои равшан гардондани хонахову корхонаҳо истифода мешавад, маҳз ҳамин гуна ларзиш ҳастанд. Қувваи ҷараён ва волтаж бо мурури замон ба

таври мавзун ё (чунон ки мегӯянд, ба таври ҳармоникӣ) тағйир меёбанд.

Ларзишҳои волтажро ба воситаи осциллограф ошкор сохтан осон аст. Агар волтажи таҳқиқшавандаро ба лавҳаҳои майли амудии осциллограф «пайвандем», мебинем, ки густараи замони он шакли синусӣ дорад (рас. 34).

Суръати экранпаймоии шуоъи осциллографро (ки он бо басомади «аррамонанд» таъйин мешавад) доништа, басомади ларзишҳои санҷиданиро муайян кардан мумкин аст.

Басомади ҷараёни тағйирёбанда гуфта адади ларзишҳои дар 1с рӯйдихандаи онро мефаҳманд. Басомади стандартии ҷараёни тағйирёбандаи саноатӣ 50 Ҳз (ҳертз) аст. Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар тӯли 1 с ҷараён 50 бор як сӯ ҷорӣ мешаваду 50 бори дигар – сӯйи муқобил. Дар бисёр мамлакатҳо мисли мамлақати мо ҳамин басомади 50 Ҳз басомади саноатист. Вале дар ИМА ба сифати ин гуна басомад 60 Ҳз қабул шудааст.

Агар волтажи нӯғҳои занҷир ба таври мавзун (ба таври ҳармоникӣ) тағйир ёбад, пас, шиддати майдони электрикӣ андаруни ноқилҳои занҷир низ ба ҳамон тарз тағйир мепазирад. Ин тағйироти мавзуни шиддати майдон боиси ларзиши мавзуни суръати ҳаракати мураттаби зарраҳои барқаманд ва аз ин рӯ боиси ларзиши мавзуни қувваи ҷараён мегардад.

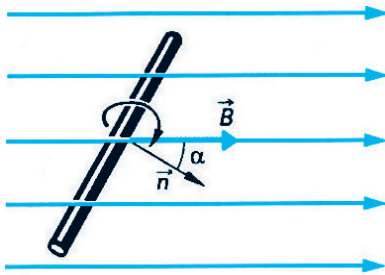
Дуруст аст, ки ҳангоми тағйир ёфтани волтажи нӯғҳои занҷир майдони электрикӣ дар саросари занҷир онан (якбора) тағйир ёфта наметавонад. Густариши тағйироти майдон бо суръати хеле баланд рӯй медиҳад. Аммо ин суръат беинтиҳо нест.

Лекин агар муддати густариши тағйироти майдон дар занҷир назар ба даври ларзиши волтаж хеле кӯтоҳ бошад, метавон гуфт, ки ҳангоми дар нӯғҳои занҷир тағйир ёфтани волтаж майдони электрикӣ дар саросари он якбора тағйир мепазирад ва дар ин маврид қувваи ҷараён дар ҳама буришҳои занҷир (занҷири содатарин, занҷири бешоха) дар ин ё он лаҳзаи вақт амалан ҳамон як қимат хоҳад дошт.

Волтажи тағйирёбандаро дар шабакаи равшаной генераторҳои неругоҳи барқ (электростансия) ба вучуд меоваранд. Ба сифати намунаи содатарин генератори ҷараёни тағйирёбанда қоб



Рас.34



Рас. 35

(рамка)-и симинеро муоина кардан мумкин аст, ки дар майдони магнитии якҷинса гардиш меҳӯрад (ниг. §11). Сели индуксияи магнитие (Φ), ки ба қоби симини масоҳаташ S мезанад, ба косинуси кунчи байни нормали сатҳи қоб ва вектори индуксияи магнитӣ мутаносиб аст (рас. 35):

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Дар сурати муназзамона гардиш хӯрдани қоб кунчи α мутаносибан ба вақт меафзояд:

$$\alpha = 2\pi n t$$

ки ин ҷо n басомади гардиши қоб аст. Бинобар ин сели индуксияи магнитӣ ба таври мавзун тағйир меёбад:

$$\Phi = BS \cos 2\pi n t$$

Ин ҷо зариви $2\pi n$ адади ларзишҳои сели магнитӣ дар тӯли 2π с аст, ки ин ҳамон басомади доиравии $\omega = 2\pi n$ мебошад. Пас,

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

мешавад. Мувофиқи қонуни индуксияи электромагнитӣ қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и индуксияи дар қоб пайдошаванда ба суръати тағйироти сели индуксияи магнитӣ, яъне ба ҳосилаи замонии сели индуксияи магнитӣ баробар аст:

$$e = -\Phi' = -BS(\cos \omega t)' = BS \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

ки ин ҷо $u = U_m \sin \omega t$ доманаи ларзиши ҚуМЭ-и индуксия мебошад.

Минбаъд мо ларзишҳои электрикии маҷбуриеро меомӯзем, ки дар занҷир бо таъсири волтажи синусинизом ё косинусинизоми

$$u = U_m \sin \omega t \quad \text{ё} \quad u = U_m \cos \omega t \quad (2.22)$$

рӯй медиҳанд. Ин ҷо U_m доманаи волтаж, яъне қимати модулан зиёдтарини волтаж аст.

Агар волтаж дар занҷир бо басомади ω тағйир пазирад, қувваи чараён ҳам бо ҳамон басомад тағйир мепазирад. Аммо ларзишҳои қувваи чараён бо ларзишҳои волтаж ҳамфаз набуда ҳам метавонанд. Бинобар ин дар мавриди умумӣ қувваи чараён барои лаҳзаи дилхоҳи вақт, яъне қимати онӣ (лаҳзагӣ)-и қувваи чараён чунин шакл мегирад:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_c). \quad (2.23)$$

Ин ҷо I_m қимати модулан зиёдтарини қувваи ҷараён асту φ_c – фарқ (ғечиш)-и фазҳои ларзишҳои қувваи ҷараён ва волтаж.



Дар занҷирҳои саноатии ҷараёни тағйирёбанда қувваи ҷараён ва волтаж ба таври мавзун бо басомади 50 Ҳз (ҳертз) тағйир меёбанд. Волтажи тағйирёбандаро дар ин гуна занҷирҳо дар марказҳои барқ ба воситаи генераторҳо ҳосил мекунанд.



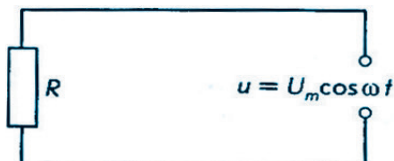
1. Дар занҷири электрикӣ дар чӣ гуна шароит ларзиши электромагнитии маҷбурӣ ба вучуд меояд?
2. Оё қимати онӣ (қимати лаҳзагӣ)-и қувваи ҷараёни тағйирёбанда дар ҳама қитъаҳои занҷири сода (занҷири бешоха) яқхела буда метавонад?

§18. Муқовимати фаъол. Қиматҳои самарбахши қувваи ҷараён ва волтаж

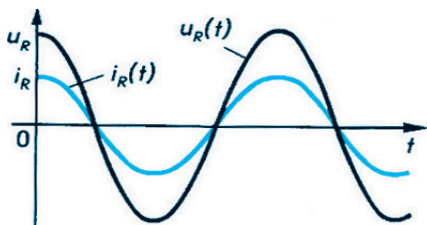
Акнун биёед ба омӯзиши муфассалтари фарояндҳои пардозем, ки дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда рӯй медиҳанд.

Қувваи ҷараён дар занҷири барезистор. Бигзор занҷир аз ноқилҳои пайваस्तкунанда ва бори дорои муқовимати муайян, вале кам-индуктивият (кам-илқо) иборат бошад (рас. 36). Ин бузургиро, ки мо онро то ҳол муқовимати электрикӣ ё мухтасаран муқовимат ном бурдем, акнун муқовимати фаъол мегӯем.

Ҳап дар он аст, ки занҷири ҷараёни тағйирёбанда муқовимати нави дигар низ дошта метавонад. Муқовимати R бошад, аз он рӯ «муқовимати фаъол» ном гирифтааст, ки дар сурати вучуд доштани он занҷир энергияи аз генератор (ба занҷир) дохилшавандаро фурӯ мебарад. Ин энергия ба энергияи дохилии ноқилҳои таркибдиҳандаи занҷир бадал мешавад – далел ин аст, ки ноқилҳо гарм мешаванд.



Рас. 36



Рас. 37.

Бигзор волтаж дар нӯғҳои занҷир аз рӯи қонуни косинусӣ-низоми

$$u = U_m \cos \omega t$$

тағйир ёбад. Қимати онӣ (лаҳзагӣ)-и қувваи ҷараёни тағйирёбанда ба қимати онии волтаж мутаносиб аст (чунон ки дар

мавриди ҷараёни доимӣ буд). Бинобар ин барои ёфтани қимати онии қувваи ҷараён қонуни Омро татбиқ кардан мумкин аст:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t \quad (2.24)$$

Дар ноқили дорой муқовимати фаъол ларзиши қувваи ҷараён бо ларзиши волтаж ҳамфаз меояд (рас. 37) ва доманаи қувваи ҷараён ин ҳел ёфта мешавад:

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (2.25)$$

Тавон дар занҷири барезистор. Дар занҷири ҷараёни тағйирёбандаи саноатӣ қувваи ҷараён ва волтаж басте зуд (бо басомади 50 Ҳз) тағйир меёбад. Бинобар ин ҳангоми аз ноқил, чунончи аз сими лампаи электрикӣ ҷорӣ будани ҷараён миқдори энергияи дар шакли гармо хориҷшаванда низ басте зуд тағйир хоҳад ёфт. Вале ин тағйироти ғайрӣ аз назари мо ниҳон мемонад.

Аксаран моро лозим меояд, ки қимати миёнаи тавони ҷараёнро барои ин ё он қитъаи занҷир ва барои муддати назар ба як даври ларзиш хеле зиёд муайян кунем. Барои ин кофист, ки тавони миёнаро барои як давр муайян кунем. Қимати миёнаи тавони якдаврӣ (тавони ба тӯли як даври ларзиш ростоянда)-и ҷараёни тағйирёбанда гуфта нисбати энергияи дар муддати як давр ба занҷир воридшударо бар муддати як даври ларзиш мефаҳманд.

Тавони ҷараёни электрикӣ дар қитъаи муқовиматаш R ҷоришаванда ин тавр ёфта мешавад:

$$P = I^2 R \quad (2.26)$$

Ҷараёни тағйирёбандаро барои фосилаи бисёр кӯтоҳи вақт собит (доимӣ) пиндоштан мумкин аст. Бинобар ин тавони онӣ дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда барои қитъаи муқовиматаш R аз рӯи формулаи зер ёфта мешавад:

$$p = i^2 R \quad (2.27)$$

Биёед, қимати тавони якдавриро ҳисоб кунем. Барои ин аввал формулаи (2.27)-ро андак тағйир медиҳем: ифодаи барои қувваи ҷараён эҷодшудаи (2.24)-ро ба (2.27) мегузорем ва бо назардошти ин ки

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

аст, ин гуна ифода ҳосил мекунем:

$$p = \frac{I_m^2}{2} R(1 + \cos 2\omega t) = \frac{1}{2} I_m^2 R + \frac{1}{2} I_m^2 R \cos 2\omega t \quad (2.28)$$

Нигора (график)-и вобастагии замони тавони онӣ дар рас. 38 бо хатти ранга тасвир ёфтааст. Дар тӯли ҷаҳорҷак давр, вақте ки $\cos 2\omega t > 0$ аст, тавон дар ҳар лаҳзаи вақт назар ба бузургии $I_m^2 R/2$ зиёд мебошад. Аммо дар тӯли ҷаҳорҷак даври оянда, вақте ки $\cos 2\omega t < 0$ мешавад, тавон дар ҳар лаҳзаи вақт назар ба $I_m^2 R/2$ кам хоҳад буд.

Қимати миёнаи бузургии $\cos 2\omega t$ барои як давр баробари сифр аст. Ин функсия дар тӯли ҷаҳорҷаки давр як қатор қиматҳои мусбат мегираду дар тӯли ҷаҳорҷаки ояндаи давр соҳиби ҳамон гуна қатори қиматҳои манфӣ мегардад. Дар натиҷа тавони миёнаи якдаврии ҷараён баробари $I_m^2 R/2$ асту энергияи дар тӯли ним давр хориҷшаванда ададан ҳамчун масоҳати росткунҷаи $0abc$ мебошад.

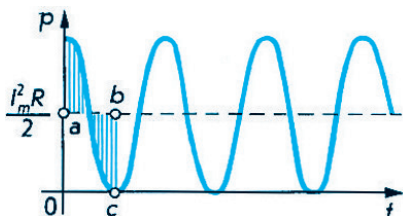
Ҳамин тариқ, тавони миёна \bar{p} ба узви аввали ифодаи (2.28) баробар будааст:

$$\bar{p} = \bar{i}^2 R = \frac{i_m^2 R}{2} \quad (2.29)$$

Қиматҳои самарбахши қувваи ҷараён ва волтаж. Аз формулаи (2.29) аён аст, ки бузургии $I_m^2/2$ қимати миёнаи якдаврии квадрати қувваи ҷараён мебошад:

$$\bar{i}^2 = \frac{I_m^2}{2} \quad (2.30)$$

Бузургии баробар ба решаи квадрати қимати миёнаи квадрати ҷараён қимати самарбахши қувваи ҷараёни тағйирёбанда ном гирифтааст. Ин бузургӣ бо ҳарфи I ишорат мешавад:



Рас.38

$$I = \sqrt{i^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \quad (2.31)$$

Бузургии қувваи ҷараёни доимиро тавре интиҳоб кардан мумкин аст, ки энергияи дар ин ё он муддат дар қитъаи муқовиматаш R хоричқардаи ин ҷараён ҳамчени энергияи дар ҳамон муддати вақт хоричқардаи ҷараёни тағйирёбанда бошад. Барои ин зарур аст, ки қувваи ҷараёни доимӣ ҳамчени қимати самарбахши қувваи ҷараёни тағйирёбанда бошад. *Қимати самарбахши қувваи ҷараёни тағйирёбанда ҳамчени ҳамон қадар қувваи ҷараёни доимист, ки дар ноқил дар ҳамон муддати вақт ҳамон миқдор энергия хорич мегардонад.*

Қимати самарбахши волтажи тағйирёбанда мисли қимати самарбахши қувваи ҷараён чунин ёфта мешавад:

$$U = \sqrt{u^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m. \quad (2.32)$$

Дар формулаи (2.25) қиматҳои зиёдтарини қувваи ҷараён ва волтажро ба қиматҳои самарбахши онҳо иваз мекунем:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.33)$$

Ҳамин аст ифодаи қонуни Ом барои қитъаи резистордори занҷири ҷараёни тағйирёбанда.

Дар муоинаи ларзишҳои электрикӣ мо аксаран бо қиматҳои барои ин ё он лаҳзаи вақт муайяншудаи қувваи ҷараён, волтаж ва м.ин. саруқор мегирем (он сон ки дар мавриди омӯзиши ларзишҳои механикӣ буд). Муоинаи хусусиятҳои умумии ларзишҳо домана (амплитуд, қад), давр ва басомади ларзиш, қиматҳои самарбахши қувваи ҷараён ва волтаж ва инчунин тавони миёна бисёр муҳим аст. Амперметрҳои волтметрҳои ҷараёни тағйирёбанда маҳз қиматҳои самарбахши қувваи ҷараёну волтажро нишон медиҳанд.

Ғайр аз ин, муоинаи қиматҳои самарбахш боз аз он ҷиҳат матлуб аст, ки барои ёфтани қимати миёнаи тавони ҷараёни тағйирёбанда p ё, чунонки мегӯянд, барои ёфтани тавони ҷараёни тағйирёбанда P маҳз ҳамин қиматҳо истеъмом мешаванд:

$$P = I^2 R = UI$$



Ларзишҳои қувваи чараён дар занҷири резистордор бо ларзишҳои волтаж ҳамфаз меоянд. Тавони чараён дар занҷири чараёни тағйирёбанда аз рӯйи қиматҳои самарбахши қувваи чараён ва волтаж ёфта мешаванд.



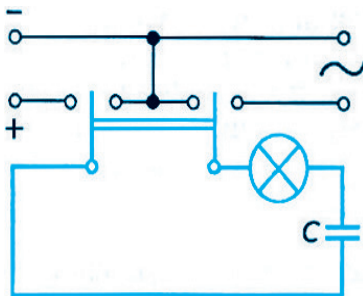
1. Қувваи чараёни тағйирёбанда ва волтаж дар занҷири барезистор (занҷири резистордор) чӣ алоқамандӣ доранд?
2. Дар шабакаҳои равшанойӣ волтажи тағйирёбандаи 220В ё 127В истифода мешавад. Домана (амплитуд)-и волтаж дар ин шабакаҳо чиқадарист?
3. Мафҳумҳои «Қимати самарбахши қувваи чараён» ва «қимати самарбахши волтаж» чӣ маънӣ доранд?

§19. Конденсатор дар занҷири чараёни тағйирёбанда

Чараёни доимӣ дар занҷире, ки конденсатор дорад, вучуд дошта наметавонад, зеро дар ин сурат занҷир канда аст (дар байни рӯяҳои конденсатор моддаи диэлектрикӣ мавҷуд аст, ки чараёнро намегузаронад).

Аммо чараёни тағйирёбанда дар занҷири конденсатордор ҷорӣ буда метавонад. Ба ин дар таҷрибаи содае бовар ҳосил кардан осон аст.

Бигзор, манбаҳои волтажи доимӣ ва тағйирёбанда дошта бошем. Бигзор, волтажи доимӣ дар нӯгҳои занҷир ҳамчун қимати самарбахши волтажи тағйирёбанда бошад. Бигзор, занҷире дошта бошем иборат аз конденсатор ва тафслампае (рас.39), ки бо якдигар пайвастанд. Дар сурати ба занҷир пайвастани манбаи волтажи доимӣ (яъне дар сурати та-



Рас. 39.

рафи чап гардондани калид) лампа дарнамегирад. Аммо агар калидро тарафи рост гардонем, яъне занҷирро бо манбаи чараёни тағйирёбанда пайвандем, лампа дармегирад, ба шарте, албатта, ки конденсатор гунҷоиши ба қадри кофӣ зиёд дошта бошад.

Биёед мулоҳиза кунем: чӣ навъ мешавад, ки чараёни тағйирёбанда дар занҷири канда ҷорӣ бошад (барқаҳои электрикӣ дар фа-

зои байни рӯяхои конденсатор ин \bar{c}_y – он \bar{c}_y кӯчида наметавонанд-ку)?

Гап дар он аст, ки конденсатор бо таъсири волтажи тағйир-ёбанда ба таври даврӣ пур (барқаманд) ва холӣ (беварқа) мешавад ва чараёне, ки ҳангоми пур шуданҳову холӣ шуданҳои конденсатор ба вучуд меояд, мӯяки лампаро метафсонад.

Акнун биёед бинем, ки қувваи чараён дар занчире, ки танҳо конденсатор дорад, чӣ тавр тағйир мепазирад (рас.40). Муқовимати ноқилҳо ва рӯяхои конденсаторро ба эътибор намегирем.

Волтажи байни рӯяхои конденсатор баробари волтажи нӯгҳои занҷир мебошад:

$$u = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{C}$$

Пас,

$$\frac{q}{C} = U_m \cos \omega t \quad (2.34)$$

аст. Барқии конденсатор бо қонуни

$$q = CU_m \cos \omega t \quad (2.35)$$

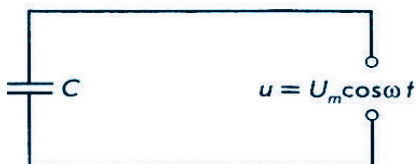
тағйир меёбад. Қувваи чараён, ки маънии ҳосилаи замони барқа дорад, чунин ифода карда мешавад:

$$i = q' = -U_m C \omega \sin \omega t = U_m C \omega \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.36)$$

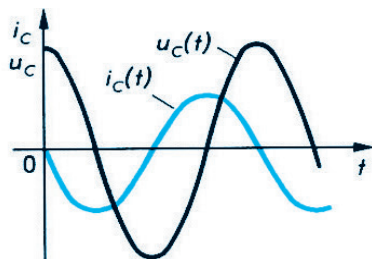
яъне ларзишҳои қувваи чараён назар ба ларзишҳои волтажи рӯяхои конденсатор ба қадри $\pi/2$ пешӣ доранд (рас. 41). Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар лаҳзаи оғози барқаманд шудани конденсатор қувваи чараён зиёди зиёд асту волтаж қимати сифрӣ дорад. Ва гоҳи ба авҷ расидани волтаж қувваи чараён сифрӣ мешавад ва ғ.

Доманаи қувваи чараён чунин ифода карда мешавад:

$$I_m = U_m C \omega. \quad (2.37)$$



Рас. 40



Рас. 41

Агар

$$\frac{1}{\omega C} = X_C \quad (2.38)$$

ишорат кунем ва ба чойи қувваи чараёну волтаж қиматҳои самарбахши онҳоро истифода кунем,

$$I = \frac{U}{X_C} \quad (2.39)$$

мешавад. Бузургии X_C , яъне бузургии чаппаи ҳосили зарби басомади доиравӣ ва гунҷоиши конденсатор муқовимати гунҷойишӣ ном гирифтааст. Роли ин бузургӣ ба роли муқовимати фаъл, яъне муқовимати R дар ифодаи қонуни Ом монанд мебошад. Қимати самарбахши қувваи чараён ва қимати самарбахши волтажи байни рӯяхҳои конденсатор айнан ҳамон тавр алоқаманданд, ки қувваи чараён ва волтажи қитъаи занҷири чараёни доимӣ мувофиқи қонуни Ом алоқамандӣ доранд. Ин имкон медиҳад, ки бузургии X_C чун муқовимати ба чараёни тағйирёбанда доштаи конденсатор (муқовимати гунҷойишӣ) муоина шавад.

Ҳар қадре ки гунҷоиши конденсатор зиёд бошад, чараёни барқаманд қардани он (он ки дар натиҷаи пур ва холӣ шудани конденсатор ба вучуд меояд) ҳамон қадр бештар хоҳад буд. Инро санҷидан душвор нест: дар сурати зиёд қардани гунҷойиши конденсатор тафси лампа зиёд мешавад. Бо вучуде ки муқовимати конденсатор ба чараёни доимӣ беҳад зиёд аст, ҳамон муқовимат ба чараёни тағйирёбанда, яъне X_C қимати ниҳой дорад. Ин муқовимат ба қадри афзудани гунҷойиш кам мешавад. Ба қадри афзудани басомад низ.

Инро низ мушоҳида қардан душвор нест, ба шарте ки барои гизо додани занҷири дар рас.39 тасвиршуда генератори танзимшаванда басомади чараёни тағйирёбанда истифода шавад. Басомади чараёни тағйирёбандаро оҳиста-оҳиста зиёд қарда, дидан мумкин аст, ки тафси лампа зиёд мешавад, зеро дар ин маврид муқовимати X_C кам ва, аз ин ҳисоб, қувваи чараён зиёд мешавад.

Дар хотимаи ин банд бояд бигӯем, ки дар тӯли чаҳоряк даври ларзиш, яъне гоҳи то ба ҳадди зиёдтарин пур (барқаманд) шудани конденсатор занҷир энергия мегирад ва онро дар шакли энергияи майдони электрикӣ захира мекунад; ва дар чаҳоряк даври дигар, яъне ҳангоми холӣ (пардаҳт) шудани конденсатор ин энергия ба шабака бозмегардад.



Муқовимати занҷири конденсатордор ба ҳосили зарби гунҷойиши ва басомад мутаносиби чаппа мебошад. Ларзишҳои қувваи ҷараён аз ларзишҳои волтаж ба қадри $\pi/2$ пешӣ доранд.

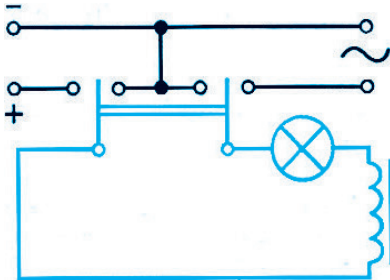


1. Қиматҳои самарбахши қувваи ҷараён ва волтажи рӯяҳои конденсатор дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда чӣ алоқамандӣ доранд?
2. Оё занҷире, ки танҳо конденсатор дорад, энергия хориҷ мекунад? Муқовимати худӣ занҷирро ба назар нагиред.
3. Калиди занҷир як навъ конденсатор аст. Пас, чаро, ки калиди занҷирро на мисли конденсатор медорад, балки онро қанда мекунад?

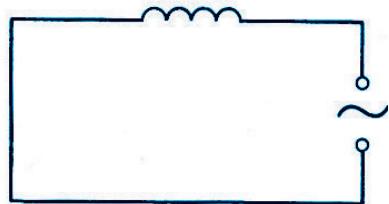
§20. Ғалтаки индуктивият (илқоғалтак) дар занҷири ҷараёни тағйирёбанда

Ғалтаки индуктивият қувваи ҷараёни тағйирёбандаро дар занҷир кам мекунад. Инро дар таҷрибаи содае озмудан мумкин аст.

Бигзор, занҷири таҷрибавии мо аз ғалтаки дорои индуктивияти зиёд ва тафслампае иборат бошад (рас.42). Ин занҷирро ба воситаи калиди дукуша ба занҷири ҷараёни тағйирёбанда ё ба занҷири волтажи доимӣ пайвастан мумкин аст. Фаҳмо, ки дар ин маврид волтажи доимӣ ва қимати самарбахши волтажи тағйирёбанда бояд байни худ баробар бошанд. Таҷриба нишон медиҳад, ки ҷароғ дар сурати истифода шудани волтажи доимӣ равшантар мешавад. Пас, дар занҷири муоинашаванда қимати самарбахши қувваи ҷараёни тағйирёбанда назар ба қувваи ҷараёни доимӣ камтар будааст.



Рас. 42.



Рас. 43.

Сабабгори ин рӯйдод падидаи худ-индуксия (худ-илқо) аст. Дар боби 1 (§8) гуфта шуд, ки дар сурати ба манбаи волтажи доимӣ пайвастанӣ ғалтаки индуктивият қувваи ҷараён дар занҷир на якбора, балки оҳиста-оҳиста зиёд мешавад. Майдони электрикии тӯфонии ҳангоми афзудани қувваи ҷараён пайдошаванда монеи ҳаракати электронҳо мегардад ва танҳо пас аз гузаштани муддате қувваи ҷараён то ба қимати зиёдтарини худ (қимати мутобиқ ба бузургии волтажи занҷир) мерасад.

Агар волтаж зуд тағйир ёбад, қувваи ҷараён то ба қиматҳое, ки дар сурати доимӣ будани волтаж бо мурури замон ба онҳо мерасид, расида наметавонад.

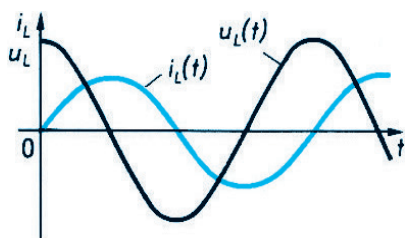
Хулоса, қимати зиёдтарини қувваи ҷараёни тағйирёбанда (яъне доманаи он) маҳдуд аст: онро падидаи индуктивият (худ-илқо)-и занҷир маҳдуд мекунад ва ҳар қадре ки индуктивият ва басомади волтажи тағйирёбанда зиёд бошанд, қувваи ҷараёни номбурда ҳамон қадр камтар хоҳад буд.

Биёед, қувваи ҷараёнро дар занҷире муайян кунем, ки як ғалтаки индуктивият (илқоғалтак) дошта бошад ва индуктивияти ғаёли онро ба назар нагирифта мумкин бошад. Ин гуна занҷир дар рас.43 тасвир ёфтааст. Аввал ҳамбастагии волтажи нӯғҳои ғалтак ва қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и худ-индуксияи дар он пайдошавандаро муқаррар мекунем.

Агар ғалтак муқовимат надошта бошад ($R=0$), шиддати майдони электрикӣ низ андаруни ноқил дар ҳар лаҳзаи вақт бояд сифрӣ бошад. Дар акси ҳол қувваи ҷараён мувофиқи қонуни Ом беҳад зиёд мебуд. Сифрӣ будани шиддати майдон аз он рӯ имконпазир аст, ки шиддати майдони электрикии тӯфонӣ (\vec{E}_i)-и зодаи майдони магнитии тағйирёбанда дар ҳар нуқта модулан баробар, вале самтан муқобили шиддати майдони қулонӣ (\vec{E}_k)-и дар ноқил офаридаи барқаҳои қутбҳои манбаъ ва барқаҳои ноқилҳои занҷир мебошад.

Аз баробарии $\vec{E}_i = -\vec{E}_k$ бармеояд, ки кори хоси майдони тӯфонӣ (яъне ҚуМЭ-и худ-индуксия e_i) модулан баробар, вале самтан муқобили кори хоси майдони қулонӣ мебошад. Азбаски кори хоси майдони қулонӣ ба волтажи нӯғҳои ғалтак баробар мебошад, пас, чунин навиштан мумкин аст: $e_i = -u$.

Дар сурати ба таври мавзун (ба таври ҳармоникӣ), яъне аз рӯйи қонуни



Рас. 44.

$$i = I_m \sin \omega t$$

тағйир ёфтани қувваи ҷараён ҚуМЭ-и худ-индуксия ин кадр хоҳад буд:

$$e_i = -Li' = -L\omega I_m \cos \omega t. \quad (2.40)$$

Азбаски $u = -e_i$ аст, пас, волтажи нўғҳои ғалтак баробари

$$u = L\omega I_m \cos \omega t = L\omega I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

мешавад, ки ин ҷо $U_m = L\omega I_m$ домана (амплитуд)-и волтаж аст.

Пас, ларзишҳои волтажи нўғҳои ғалтак аз ларзишҳои қувваи ҷараён ба қадри $\pi/2$ пешӣ доранд ё худ ларзишҳои қувваи ҷараён аз ларзишҳои волтаж ба қадри $\pi/2$ ақибанд.

Дар лаҳзаи ба нуқтаи авҷ (максимум) расидани волтаж қувваи ҷараён сифрӣ мешавад (рас.44). Ва дар лаҳзаи сифрӣ шудани волтаж қувваи ҷараён модулан зиёди зиёд хоҳад буд.

Доманаи қувваи ҷараёни дар ғалтак ҷоришаванда

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} \quad (2.41)$$

аст. Агар

$$\omega L = X_L \quad (2.42)$$

ишорат кунем ва ба ҷойи доманаҳои қувваи ҷараёну волтаж қиматҳои самарбахши онҳоро бигзорем, мебинем, ки

$$I = \frac{U}{X_L} \quad (2.43)$$

мебошад. Бузургии X_L , ки ба ҳосили зарби басомади доиравӣ ва зариби индуктивият баробар аст, *муқовимати индуктивӣ* (*муқовимати илқоӣ*) ном дорад.

Мувофиқи формулаи (2.43) қимати самарбахши қувваи ҷараён бо қимати самарбахши волтаж ва муқовимати индуктивӣ таносубе дорад, ки он ба ифодаи қонуни Ом барои занҷири ҷараёни доимӣ монанд мебошад.

Муқовимати индуктивӣ ба басомади ларзиш ω вобаста аст. Ҷараёни доимӣ индуктивияти ғалтакро умуман «ҳис намекунад». Барои қимати $\omega=0$ муқовимати индуктивӣ сифрӣ ($X_L=0$) мебошад.

Ҳар кадре ки волтаж зудтар тағйир пазирада, ҚумЭ-и худ-индуксия ҳамон кадр бештар ва доманаи қувваи чараён ҳамон кадр хурдтар меоянд.

Вобастагии муқовимати индуктивиро ба басомад дар таҷрибае ошкор сохтан осон аст, ки барои ғизо додани занчири дар рас. 42 тасвиршуда генератори танзимшавандабасомади чараёни тағйирёбандаро истифода кунем. Дар ин гуна таҷриба имкони тағйир додани индуктивияти ғалтак (чунончи, имкони тағйир додани адади печҳои он)-ро низ дар назар доштан мебояд. Дар сурати зиёд кардани басомад ё индуктивият қувваи чараён дар занчир кам мешавад ва чароғ хира месӯзад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки бо зиёд шудани L ва ω муқовимати занчир меафзояд.



Ғалтаки индуктивият (илқоғалтак) ба чараёни тағйирёбанда муқовимат мекунад. Ин муқовимат, ки мо онро муқовимати индуктивӣ номидем, ба ҳосили зарби зарби индуктивият ва басомад баробар аст. Дар занчири электрикии ғалтакдор ларзишҳои қувваи чараён аз ларзишҳои волтаж ба қадри $\pi/2$ пешӣ доранд.



1. Қиматҳои самарбахшии қувваи чараён ва волтаж дар ғалтаки индуктивият (илқоғалтак)-и муқовимати фаъолаи назарногир чӣ тавр алоқаманданд?
2. Сабаб чист, ки ҚумЭ-и худ-индуксия ва волтажи нӯгҳои ғалтак аломати муқобил доранд?

§21. Резонанс дар занчири электрикӣ

Дар муоинаи ларзишҳои механикии маҷбурӣ мо шуморо бо **резонанс** ном рӯйдоди муҳим шиносонда будем. Резонанс дар сурате рӯй медиҳад, ки басомади хусусии система ҳамчени басомади тағйироти қувваи берунӣ (қувваи ларздиҳанда) бошад. Ва агар соши кам бошад, доманаи ларзишҳои маҷбурии муқарраршуда якбора меафзояд. Ҳамранг будан, ё чунонки мегӯянд, овор омадани қонунҳои ларзишҳои механикиву электромагнитӣ имкон медиҳад хулоса бигирем, ки падидаи резонанс дар занчири электрикӣ низ ба вуҷуд омада метавонад, ба шарте ки он занчир контури ларзишзои соҳиби ин ё он басомади хусусии ларзиш бошад.

Дар ларзишҳои механикӣ резонанс барои қиматҳои ками зареби соиш ба хубӣ зоҳир мегардад. Дар занҷири электрикӣ роли зареби соишро муқовимати ғаёл R мебозад. Маҳз ҳамин муқовимат аст, ки боиси ба энергияи дохилии ноқил табдил ёфтани энергияи ҷараён мегардад (ноқил гарм мешавад). Бинобар ин дар контури ларзишзо резонанс дар сурати кам будани муқовимати ғаёл хубтар зоҳир мешавад.

Агар муқовимати ғаёл кам бошад, басомади ларзишҳои хусусии контуриро ин тавр баҳо дод кардан мумкин аст:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Қувваи ҷараён дар ларзишҳои маҷбури дар сурате ба авҷ мерасанд (максимум мегардад), ки басомади волтажи тағйирёбандаи ба контур «васлшуда» ҳамчун басомади хусусии контури ларзишзо бошад, яъне

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2.44)$$

Резонанс (дар контури ларзишзо) – ин падидаи якбора афзудани доманаи ларзишҳои маҷбурии қувваи ҷараён мебошад, ки дар натиҷаи ба басомади хусусии контури ларзишзо ҳамчун омадани басомади волтажи тағйирёбандаи берунӣ рӯй медиҳад.

Доманаи қувваи ҷараён дар лаҳзаи резонанс. Ҳангоми резонанс дар контури ларзишзо (мисли мавриди резонанси механикӣ) барои аз манбаи берунӣ ба контури ларзишзо ворид гардидани энергия шароити мусоид фароҳам меояд. Тавони ҷараёни контури дар мавриде зиёди зиёд хоҳад буд, ки қувваи ҷараён ва волтаж ҳамфаз бошанд.

Бояд фаҳмо бошад, ки баъди пайвастании волтажи тағйирёбандаи берунӣ қимати резонансии қувваи ҷараён на якбора муқаррар мешавад. Муқаррар шудани ларзишҳо ба таври тадриҷӣ рӯй медиҳад. Доманаи ларзишҳои қувваи ҷараён то даме меафзояд, ки энергияи дар тӯли як давр дар резистор хоричшаванда ба энергияи дар ҳамон муддат ба контур воридшаванда баробар ояд, яъне

$$\frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m I_m}{2}.$$

Ин муодила баъди ислоҳ кардан шакли содае мегардад:

$$I_m R = U_m, \quad (2.45)$$

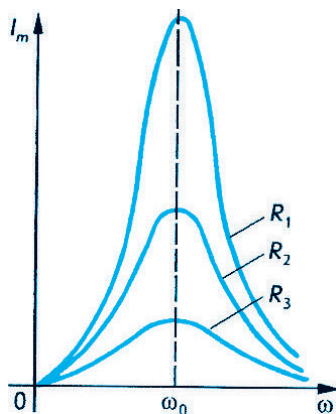
яъне доманаи ларзишҳои резонансии қувваи ҷараён бояд ин тавр ёфта шавад:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2.46)$$

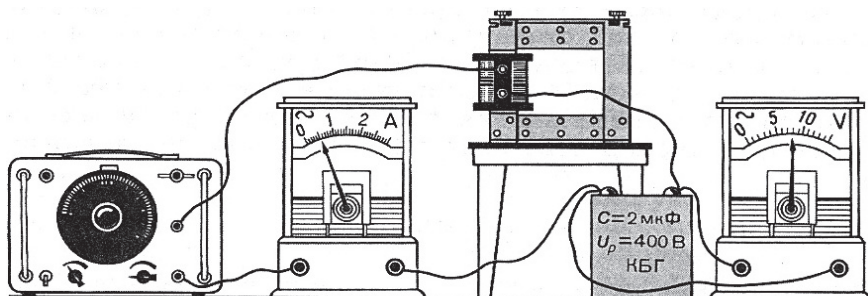
Дар мавриди $R \rightarrow 0$ доштан қимати резонансии қувваи ҷараён беҳад меафзояд: $(I_m)_{рез} \rightarrow \infty$. Ва баръакс, ба қадри зиёд шудани R қимати резонансии қувваи ҷараён кам мешавад. Дар сурати зиёд будани муқовимат дар бораи резонанс сухан рондан маъниендор аст. Вобастагии доманаи қувваи ҷараён ба басомад барои муқовиматҳои гуногуни $R_1 < R_2 < R_3$ дар рас. 45 тасвир ёфтааст.

Ҳангоми резонанс ҳамзамон бо қувваи ҷараён волтажи нӯғҳои ғалтаки индуктивият ва рӯяҳои конденсатор якбора меафзояд. Ин волтажҳо дар сурати кам будани муқовимати фаъол назар ба волтажи берунӣ қимати чандин бор зиёд гирифта метавонанд.

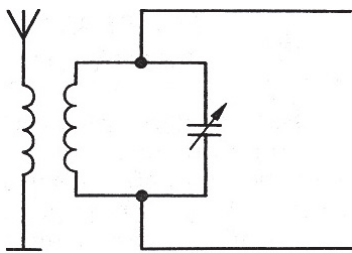
Барои дар занҷири электрикӣ мушоҳида кардани падидаи резонанс дастгоҳе истифода мешавад, ки дар рас.46 тасвир ёфтааст. Ин ҷо ба сифати манбаи волтаж манбаи берунии волтажи тағйирёбандаи танзимшаванда басомад истифода шудааст. Басомади ларзишҳои волтажи беруниро тадричан зиёд карда, дидан мумкин аст, ки дар занҷир қувваи ҷараён (ки бо амперметр чен мешавад) ва нӯғҳои ғалтаки индуктивият ё рӯяҳои конденсатор (ки ба воситаи вольтметр чен мешавад) чӣ тавр тағйир мепазиранд. Ин бузургӣҳо ҳангоми резонанс даҳҳо ва ҳатто садҳо бор меафзоянд.



Рас. 45.



Рас.46.



Рас.47.

Истифодаи резонанс дар радио-алоқа. Радиомавҷҳои афкандаи фири-стандаҳои гуногуни мавҷҳои радио дар мавҷрабо (антен)-и радиодастгоҳи қабул ҷараёнҳои тағйирёбандаи гуногунбасомад меангезанд (ҳар дастгоҳи мавҷфиристанда дар рӯи басомади муайян амал мекунад). Мавҷрабои дастгоҳи қабул бо контури ларзишзо ба таври индуктивӣ пайваст (яъне

илқопайваст) аст (рас.47). Ба василаи индуксияи электромагнитӣ дар ғалтаки контурӣ қувваҳои муҳаррикаи электрикии тағйирёбандаи хоси басомадҳои индуксияшуда ва қувваҳои ҷараёнҳои хоси ин басомадҳо ба вуҷуд меоянд. Аммо ларзишҳои қувваи ҷараён дар контур ва волтаж дар нӯғҳои контур танҳо ҳангоми резонанс бузургии зиёд доранд. Ҳаминро дар назар дошта, меғоянд, ки контур аз ҳама ларзишҳои дар мавҷрабо ангехташуда танҳо яқтоашро «интихоб мекунад» – ҳамонеро, ки басомади ларзиши он ҳамчени басомади хусусии контур бошад. Ба басомади матлуб ω_0 чӯр кардани контур маъмулан бо роҳи тағйир додани гунҷойиши контур ба даст меояд. Моҳияти амали ба ин ё он радиомавҷ чӯр кардани радиодастгоҳи қабул низ дар ҳамин аст.

Зарурати ба назар гирифтани имкони рӯйдоду резонанс дар занҷири электрикӣ. Дар баъзе мавридҳо падидаи резонанс занҷири электрикиро хароб карда метавонад (хусусан дар мавридҳои, ки ҳангоми эҷод кардани занҷир ин имкон аз назар дур монда бошад). Ҷараёнҳои дорои қувваи беш аз ҳадди муайян ноқилҳои дастгоҳро тафсонид метавонанд, волтажҳои беш аз ҳадди муайян боиси рӯй додани раҳнаи ойиқҳо (изолятсияҳо) гардида метавонанд ва ғ. Ин навъ харобихо дар асри гузашта, вақте ки на ҳама қонуниятҳои ларзишҳои электрикӣ маълум буданд ё ба назар гирифта намешуданд, борҳо рӯй додаанд.



Ҳангоми истифода кардани ларзишҳои электромагнитии маҷбури рӯй додани падидаи резонанс – афзоиши яқбори домана (амплитуд)-и ларзиши қувваи ҷараён ва волтаж имконпазир мебошад. Ин падида дар натиҷаи ҳамчен омадани басомади ларзишҳои волта-

Ҷи тағйирёбандаи берунӣ бо басомади ларзишҳои хусусии дастгоҳи истифодакунандаи мавҷҳо рӯй медиҳад. Радиоалоқа бар истифодаи падидаи резонанс асос ёфтааст.



1. *Оё домана (амплитуд)-и қувваи ҷараён ҳангоми дар контури ларзишзои муқовимати фаъолаш R рӯй додани резонанс назар ба қувваи ҷараёни доимие, ки дар занҷири дорои ҳамин гуна муқовимати фаъол ва волтажи доимии доманааш ҳамчени доманаи волтажи тағйирёбанда ҷорист, зиёд буда метавонад?*
2. *Фазҳои ларзишҳои қувваи ҷараён ва волтаж ҳангоми резонанс чӣ қадр фарқ мекунад?*
3. *Хусусиятҳои резонансии контури ларзишзо дар чӣ гуна шароит хубтар зоҳир мегарданд?*

§22. Генератори батранзистор. Ларзишҳои худбахудӣ (автоларзишҳо)

Ларзишҳои маҷбурие, ки мо то ҳол дар бораи онҳо сухан рондем, аз асари волтажи тағйирёбандаи зодаи генераторҳои дастгоҳи барқ ба вучуд меоянд. Ин гуна генераторҳо ларзишҳои баландбасомадери, ки барои воқеӣ гардонидани радиоалоқа заруранд, ба вучуд оварда наметавонанд. Барои ин мебоҷад, ки суръати гардиши ротори генератор бағоят зиёд бошад. Ларзишҳои баландбасомадро ба воситаи дастгоҳҳои навъи дигар, чунончи ба воситаи **генераторҳои батранзистор** ба вучуд овардан мумкин аст. Номини генератор аз он ҷо пайдо шудааст, ки яке аз қисмҳои он **транзистор** ном асбоби **нимноқилист** (аз калимаҳои англисии *transfer* — интиқол додан ва *resistor* – муқовимат).

Генератор асбобест мураккаб. Вале омӯзиши сохт ва дарки кори он барои шумо, хонандаҳои азиз, чандон душвор нест.

Системаҳои худларз. Дар занҷири электрикӣ ларзишҳои маҷбурии хомӯшнашаванда ба василаи волтажи даврии берунӣ ниғаҳдорӣ мешаванд. Бар иловаи ин тарзҳои дигари ба вучуд овардани ларзишҳои хомӯшнашаванда низ имконпазиранд.

Бигзор, дар системае, ки ларзишҳои электромагнитии озодро нигоҳдорӣ карда метавонад, манбаи энергия мавҷуд бошад.

Агар ҳуди система рафти ба контури ларзишзо ворид гардишани энергияро (барои пур кардани ҷойи энергияи талафшуда)

низом дода тавонад, дар ин гуна система ларзишҳои хомӯш-нашаванда пайдо шуда метавонанд.

Системаҳои, ки дар онҳо ларзишҳои хомӯшнашаванда аз ҳисоби манбаи дохилисистемии энергия нигоҳдорӣ мешаванд, *системаҳои худларз* ном гирифтаанд. Ларзишҳои хомӯшнашавандае, ки дар система бе ёрмандии қувваҳои даврии берунӣ вучуд дошта метавонанд, *автоларзиш ё ларзиши худбахудӣ* ном доранд.

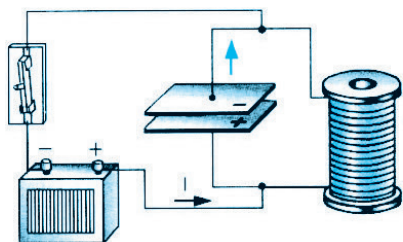
Генератори батранзистор мисоли системаи худларз мебошад. Ин генератор қисмҳои таркибии зайл дорад: транзистор, манбаи энергия ва контури ларзишзои иборат аз конденсатори дорои гуногуноии C ва ғалтаки индуктивият (яъне илқоғалтак)-и соҳиби илқои L .

Тавлиди ларзишҳои хомӯшнашаванда дар контур. Чунонки дидем, агар конденсатори контури ларзишзо барқаманд (заряднок) бошад, дар контур ларзишҳои хомӯшнашаванда ба вучуд меоянд. Дар охири ҳар як даври ояндаи ларзиш барқои рӯяҳои конденсатор назар ба аввали давр камтар мешавад. Миқдори умумии барқа бобақост, албатта, вале дар ин маврид миқдори барқои мусбат дар яке аз рӯяҳо ва барқои манфӣ дар рӯи дигар ба қадри модулан баробар кам мешавад. Дар натиҷа энергияи ларзишҳо мекоҳад, зеро он ба квадрат (яъне тавони ду)-и бузургии барқои яке аз рӯяҳо мутаносиб мебошад (ин аз формулаи 2.1 аён аст). Барои он ки ларзишҳо хомӯш нагарданд, зарур аст, ки ҷойи энергияи талафшуда дар ҳар даври ларзиш пур карда шавад.

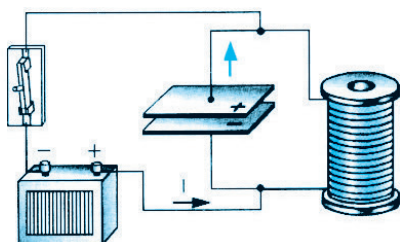
Барои пур кардани ҷойи энергияи талафшудаи контур ба конденсатор тадриҷан энергия додан мебояд. Ин дар сурате имконпазир аст, масалан, ки контур дар ҳар давр ба манбаи энергия пайваста шавад. Конденсаторро танҳо дар ҳамон фосолаҳои вақт ба манбаъ пайвастан мебояд, ки рӯи ба қутби мусбати манбаъ васлшудаи он мусбатбарқаманд бошад (рас.48). Танҳо дар ҳамин маврид контур аз манбаъ энергия гирифта, ҷойи энергияи талафшударо пур карда метавонад.

Аммо агар калидро дар лаҳзае бандем, ки рӯи ба қутби мусбати манбаъ васлшуда манфибарқа бошад, он гоҳ конденсатор ба воситаи манбаъ ҳолӣ (бепарқа, пардаҳт) мешавад (рас. 49), яъне дар ин маврид энергияи конденсатор мекоҳад.

Пас, дар сурати ба конденсатори контур ҳамеша пайваस्त будани манбаъ контур ларзишҳои хомӯшнашавандаи худро нигоҳдорӣ карда наметавонад, зеро дар тӯли ним давр контур аз манбаъ

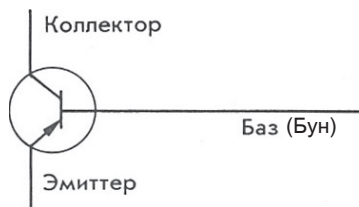


Рас.48.



Рас.49.

энергия мегираду дар муддати ним даври оянда онро «аз даст» медиҳад. Бинобар ин манбаъро ба контур танҳо дар лаҳзаҳои мусоид пайвастан мебояд. Барои ин калид (ё чунонки мегӯянд, даричаи контур)-ро худкор кардан зарур аст. Ин гуна калид бояд бағоят зудкор бошад. Транзистор маҳз ҳамин гуна калиди бешаст (беинерсия) аст.

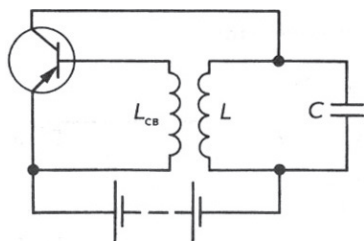


Рас.50.

Транзистор аз се нимноқили гуногун таркиб ёфтааст: *баз (бун), коллектор, эмиттер*. Дар эмиттер ва коллектор ҳомилони асосии барқа якхелаанд, чунончи *ҷавф* мебошанд (онҳоро нимноқилҳои навъи *p* ё мухтасаран *p-нимноқилҳо* мегӯянд); аммо ноқилони асосии баз аломати дигар –

аломати муқобил доранд, масалан электронанд (ва нимноқилҳои навъи *n* ё худ *n-нимноқилҳо* ном гирифтаанд). Тарҳи транзистор дар рас.50 омадааст.

Кори генератори батранзистор. Тарҳи содаи генератори батранзистор дар рас.51 тасвир ёфтааст. Контурҳои ларзишзо паёпай бо манбаи волтаж ва транзистор тавре пайвастан шудааст, ки эмиттер потенциали мусбат дошта бошаду коллектор – потенциали манфӣ. Дар ин сурат марзи эмиттер – баз (ки гузарҷойи эмиттерӣ ном гирифтааст) гузаргоҳи ростакӣ аст, вале марзи баз – коллектор (гузарҷойи коллекторӣ) гузаргоҳи чаппа мебошад ва, аз ин рӯ, дар ин маврид ҷараён дар занҷир ҷорӣ нахоҳад буд. Ин мутобиқи ҳолати қанда (қушода) будани калид дар рас. 48 ва 49 мебошад.



Рас.51.

Барои он ки дар занҷир чараён ба вучуд ояд ва ҳангоми ларзиш ҷойи энергияи талафшудаи конденсатори контурро пур карда тавонад, ба баз потенциали нисбат ба эмиттер манфӣ додан мебояд ва ин кор бояд дар лаҳзаҳои сурат бигирад, ки рӯйи болои конденсатор (рас.51) дорои барқаи мусбат бошад рӯйи поён – дорои барқаи манфӣ. Ин ҳолат мутобиқи мавриди баста будани калидест, ки дар рас. 48 омадааст.

Дар лаҳзаҳои манфӣ будани рӯйи боло ва мусбат будани рӯйи поён чараён дар занҷир набояд ҷорӣ бошад. Барои ин мебояд, ки баз потенциали нисбат ба эмиттер мусбат дошта бошад. Ҳамин тариқ, барои пур шудани ҷойи талафи энергияи ларзишҳои контурӣ волтаж дар гузарҷойи эмиттерӣ бояд аломати худро ба таври даврӣ муназзамона бо ларзишҳои контурии волтажи нӯғҳои контур тағйир диҳад. Дар ин маврид, чунонки мегӯянд, бояд *робитаи акс* вучуд дошта бошад.

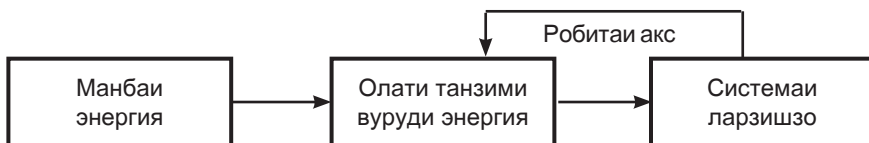
Робитаи акс (ё аксробита) дар генератори мисолшуда робитаи индуктивӣ мебошад. Ба гузарҷойи эмиттерӣ ғалтаке пайваста шудааст, ки индуксияи $L_{роб}$ дорад ва бо ғалтаки контурии соҳиби индуксияи L ба таври индуктивӣ пайваст (яъне илқопайваст) аст. Ларзишҳои контурӣ ба сабаби вучуд доштани индуксияи электромагнитӣ дар нӯғҳои ғалтаки яқум ва тавассути он дар гузарҷойи эмиттерӣ волтажро ларзиш медиҳанд. Агар фази ларзишҳои волтаж дар гузарҷойи эмиттерӣ дуруст интиҳоб шуда бошад, он гоҳ «таконҳои» энергиябахши чараён дар занҷири контур дар лаҳзаҳои мусоид рӯй медиҳанд ва ларзишҳои контуриро аз хомӯш шудан нигоҳ медоранд. Домана (амплитуд)-и ларзишҳои контурӣ бошад, баръакс, то даме меафзояд, ки ҷойи энергияи дар контур талафшуда аз ҳисоби энергияи манбаъ пур нашавад. Ҳар қадре ки волтажи манбаъ зиёд бошад, ин доманаи ларзиш ҳамон қадр зиёд хоҳад буд. Афзоиши волтаж боиси тақвияти «таконҳои» конденсаторпурқунанда мегардад.

Басомади ларзишҳои контурӣ мувофиқи формулаи Томсон ба индуктивияти ғалтак L ва гунҷойиши конденсатор C вобаста аст:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

яъне басомади ларзишҳо дар сурати кам будани L ва C зиёд хоҳад буд. Пайдоиши ларзишҳои генераторӣ (ангехтҳои генератор)-ро ба воситаи осциллограф ошкор сохтан осон аст. Барои ин рӯяҳои

конденсаторро ба лавҳаҳои амудимайлдихандаи осциллограф пайвастан мебояд. Генераторҳои батранзистор дар бисёр олатҳои дастгоҳҳои радиотехникӣ – дар дастгоҳҳои таквияти радиомавҷҳо, дастгоҳҳои қабули ирсоли радиомавҷҳо ва ғ. истифода мешаванд.



Рас.52.

Ҷузъиёти асосии системаи худларз. Ин гуна ҷузъиётро дар мисоли генератори батранзистор муоина кардан мумкин аст (рас.52):

1) манбаи энергия, ки ларзишҳои хомӯшнашаванда аз ҳисоби он нигаҳдорӣ мешаванд (дар генераторҳои батранзистор ин манбаи волтажи доимист);

2) системаи ларзишзо, яъне ҳамон ҷузъи системаи худларзишдихандае, ки воситаи офариниши ларзишҳо мебошад (ин ҳамон контури ларзишзост);

3) олати танзими вуруди энергия аз манбаъ ба системаи ларзишзо, яъне ба «дарича» (дар генератори батранзистор роли даричаро транзистор мебозад);

4) олати таъмини робитаи акс, яъне робитае, ки ба воситаи он система кори «дарича»-ро идора мекунад (дар генератори батранзистор ин робитаи индуктивии ғалтаки контур бо ғалтаке мебошад, ки дар занҷири эмиттер – баз пайваст аст).

Мисолҳои системаҳои дигари худларз. Ларзишҳои худбахудӣ (ё автоларзишҳо)-ро на танҳо дар системаҳои электрикӣ, балки инчунин дар системаҳои механикӣ низ ангехтан мумкин аст. Соатҳои раққосакдор (чархаке бо фанар, ки гоҳ як сӯ ва гоҳе сӯйи муқобил гардиш меҳӯрад) ё соатҳои овангдор аз ҳамин навъ системаҳо ҳастанд. Манбаи энергия дар ин гуна соатҳо энергияи потенциалии санги бардошта ё фанари фишурда аст.

Зангӯлаи электрикӣ (бо олати канандаи занҷири электрикӣ), хуштак, шайпурҳои аргунун ва амсоли инҳо ҳам навъе аз системаҳои худларз мебошанд. Дилу шӯши одамро низ чун системаҳои худларз муоина кардан мумкин аст.



Мо бо мураккабтарин навъи ларзиши – бо ларзишҳои худбахудӣ шинос шудем. Дар системаҳои худларз ларзишҳои бисе гуногунбасомад ба вуҷуд оварда мешавад. Бе ин гуна системаҳо на радиоалоқа вуҷуд меошуда на телевизион ва на олатҳои м.ин.



- 1. Системаи худларз чӣ гуна система аст?*
- 2. Ларзиши худбахудӣ аз ларзиши маҷбурӣ ва ларзиши озод чӣ фарқ дорад?*
- 3. Хусусиятҳои р-п-гузариширо (ки дар ниспоқилҳо рӯй медиҳад) баён кунед.*
- 4. Сохти транзистор чӣ гуна аст?*
- 5. Транзистор дар тавлиди ларзишҳои худбахудӣ чӣ зарурат дорад?*
- 6. Робитаи акс дар генератори транзисторӣ (батранзистор) чӣ таъсир медиҳад?*
- 7. Системаи худларз аз чӣ гуна қузъҳо таркиб ёфтааст?*
- 8. Шумо чӣ гуна мисолҳои системаҳои худларзро медедонед, ки аз матни дар ин ҷо мутолиакардаатон берун монда бошанд?*



Бо ҳамин мо омӯзиши ларзишҳои электромагнитиро хотима медиҳем. Аммо таваҷҷуҳи шуморо ба як ҷиҳати умумии ҳама рӯйдодҳои марбут ба ларзишҳо ҷалб мекунем. Дар омӯзиши падидаҳои давритакроршаванда асосан ҷиҳатҳои қобили таваҷҷуҳанд, ки хусусиятҳои такроршавандагии он рӯйдодҳоро тавсиф мекунанд, на онҳое, ки ба ҳолати системаи ларзон марбутанд. Ба иборати дигар, бузургихоеро доништан муҳим аст, ки падидаҳои номбурдари умуман тавсиф медиҳанд – домана (амплитуд)-и ларзиш ва даври ларзиш маҳз ҳамин гуна бузургианд. Дар омӯзиши ларзишҳои маҷбурӣ таносуби басомадҳои волтажи берунӣ ва ларзишҳои озодро доништан муҳим аст, зеро ҷараёни ин ё он рӯйдод ва суръати он маҳз ба воситаи ҳамин таносуб дарк мешавад.

Бисёр ҷолиб аст, ки фарояндҳои гуногунтабиат як рафти умумӣ доранд ва рафтори фарояндҳои механикӣ электромагнитиро бо ҳамон як навъ муодилаҳои риёзӣ (математикӣ)-и ташхисдиҳандаи рӯйдодҳои механикӣ ифода кардан имконпазир аст.

Намунаи ҳалли масъалаҳо

1. Зиёдтарин қимати барқои рӯяхои конденсатори контури ларзишзо $q_m = 10^{-6}$ Кл ва зиёдтарин қимати қувваи ҷараён дар контур $I_m = 10^{-3}$ А аст. Даври ларзишро ёбед. Талафи энергияро дар ноқилҳои пайваस्तкунанда ба назар нагиред.

Ҳал. Мувофиқи қонуни бақои энергия зиёдтарин қимати энергияи майдони электрикии конденсатор ба қимати зиёдтарини энергияи майдони магнитии ғалтаки индуктивият (илқоғалтак) баробар аст, яъне

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Аз ин ҷо:

$$LC = \frac{q_m^2}{I_m^2} \quad \text{ё ки} \quad \sqrt{LC} = \frac{q_m}{I_m}.$$

Пас:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\frac{q_m}{I_m} \approx 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

2. Қоб (рамка)-и масоҳаташ $S=3000\text{см}^2$ $N=200$ печ дорад ва дар майдони магнитии якҷинсаи дорой индуксия (илқо)-и $B=1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл гардиш меҳӯрад. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и зиёдтарин дар қоб $\varepsilon_m = 1,5B$ аст. Муддати як давр задани қобро ёбед.

Ҳал. Домана (амплитуд)-и ҚуМЭ-и индуксия барои як печи қоб ба $B\omega$ баробар аст.

Азбаски қувваҳои муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и дар печҳои алоҳидаи қоб пайдошуда зам мешаванд, пас, барои доманаи умумии ҚуМЭ дар қоби дорой N печ

$$\varepsilon_m = NBS\omega.$$

хоҳад буд. Аз ин ҷо:

$$\omega = \frac{\varepsilon_m}{NBS}.$$

Он гоҳ муддати як гардиш хӯрдани қобро ин тавр ёфтан ме-бояд:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi NBS}{\varepsilon_m} = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ с.}$$

3. Ғалтаки муқовимати индуктивиаши $X_L=500$ Ом ба манбаи волтажи тағйирёбандае пайваст аст, ки басомади $\nu=1000$ Ҳз (хертз) дорад. Қимати самарбахши волтажро $U=100$ В гирифта, доманай қувваи ҷараёни занҷир I_m ва индуктивияти ғалтак L -ро ёбед. Муқовимати ғаёли ғалтакро ба назар нагирифта мумкин аст.

Ҳал. Муқовимати индуктивии ғалтакро ин тавр ифода кардан мумкин аст:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L.$$

Аз ин ҷо:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = 0,08 \text{ Ҳн.}$$

Доманай волтаж бо қимати самарбахши он ҷунин алоқаманд аст: $U_m = U\sqrt{2}$. Бинобар ин барои доманай қувваи ҷараён натиҷаи зайл ба даст меояд:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U\sqrt{2}}{X_L} = 0,28 \text{ А.}$$

4. Ғалтаке бо индуктивияти $L=10$ м Ҳн ба занҷири ҷараёни тағйирёбандаи соҳиби басомади $\nu=500$ Ҳз пайваст аст. Дар ин занҷир конденсатори дорои ҷи гуна гунҷойишро пайвастан мебояд, ки резонанс рӯй дода тавонад?

Ҳал. Дар шартӣ масъала гап дар бораи контури ларзишзо меравад – ҳамин аст занҷири электрикӣ. Резонанс дар ин гуна занҷир он гоҳ рӯй медеҳад, ки басомади ҷараёни тағйирёбанда ҳамҷони басомади хусусии контури ларзишзо $(\nu-\nu_0)$ шавад.

Аммо азбаски

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

мебошад, пас, ν -ро низ ҳамин ҳел ифода кардан мумкин аст:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Аз ин ҷо:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\nu^2} = 10^{-5} \text{ Ф} = 10 \text{ мкФ.}$$

Машқи 2

1. Баъди он ки ба конденсатори контури ларзишзо барқои $q=10^{-5}$ Кл доданд, дар контур ларзишҳои хомӯшшаванда ба вучуд омад. То дами комилан хомӯш гардидани ларзишҳо дар контур чӣ миқдор гармо хориҷ мешавад? Гунҷойиши конденсаторро $C=0,01\text{мкФ}$ гиред.

2. Контури ларзишзо аз ғалтаки индуктивие иборат аст бо индуктивияти $L=0,003$ Ҳн (ҳенрӣ) ва конденсатори ҳамвори соҳиби гунҷойиши $C=13,4$ пФ. Даври ларзишҳои озоди контуриро ёбед. Дар сурати дар фазои байни рӯяҳои конденсатор ҷой додани диэлектрики нуфузпазирии диэлектрикиаш $\epsilon=4$ даври хамин ларзишҳо чӣ тағйирот мебинад?

3. Ҳудуди тағйироти индуксияи ғалтаки контури ларзишзо бояд чӣ қадр фароҳ бошад, ки басомади ларзишҳо дар он аз 400 то 500 Ҳз (хертз) тағйир ёфта тавонад? Гунҷойиши конденсаторро 10 мкФ гиред.

4. Қоб (рамка)-и симини масоҳаташ 100 см^2 дар майдони магнитии якҷинса бо басомади 50 гш/с гардиш меҳӯрад. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-ро ёбед, ки дар сурати 0,2 Тл будани индуксияи магнитӣ дар қоб илқо мешавад.

5. Дар қоби симини масоҳаташ $S=100\text{ см}^2$ ҚуМЭ-и индуксияе анҳхта мешавад, ки домана (амплитуд)-и $\epsilon_m=1,4$ В дорад. Қоб $N=200$ печ сим дорад ва дар майдони магнитии якҷинсаи соҳиби индуксияи $B=0,15$ Тл гардиш меҳӯрад. Дар лаҳзаи аввали гардиши қоб ҳамвори он нисбат ба вектори B мавқеи амудӣ дорад. ҚуМЭ-и дар қоб индуксияшударо барои лаҳзаи $t=0,1$ сонияи баъди оғози гардиш ёбед.

6. Ғалтаки индуктивияташ $L=0,08$ Ҳн (ҳенрӣ) ба манбаи волтажи тағйирёбандаи басомадаш $\nu=1000$ Ҳз (хертз) васл шудааст. Қимати самарбахши волтажро $U=100$ В гирифта, доманаи қувваи ҷараёни дар занҷир пайдошавандаро ёбед.

Муҳимтарин хулосаҳои боби дуум¹

1. Дар ларзишҳои электромагнитӣ барқа (заряди электрикӣ), қувваи ҷараён ва волтаж (номи пешинааш: шиддат) ба таври даврий тағйир меёбанд. Ларзишҳои электромагнитӣ ин гуна навъҳо дорад: озод, маҷбурий ва худбахудӣ.

2. Содатарин системае, ки дар он ларзишҳои электромагнитӣ ба вучуд омада метавонанд, контури ларзишзо мебошад. Контури ларзишзо аз ғалтаки симин ва конденсатор иборат аст. Муодилаи таъхиси ларзишҳои электромагнитӣ шакли зайл дорад:

$$q'' = -\omega_0^2 q$$

ки ин ҷо q барқаи конденсатор асту q'' – ҳосилаи дуҷуми замони барқа ва $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ бузургии доимиест, ки ба индуктивият (илко) ва гунҷойиши контури ларзишзо бастагӣ дорад. Айнан ҳамин гуна муодила барои таъхиси ларзишҳои ҷисми сари фанар (пружин) ва ованги риезӣ (раққосаки математикӣ) истифода мешавад.

3. Ҳалли муодилаи таъхискунандаи ларзишҳои озод ба воқеаи косинус ё синус ифода карда мешавад:

$$q = q_m \cos \omega_0 t \quad \text{ё ки} \quad q = q_m \sin \omega_0 t.$$

4. Ларзишҳои аз рӯйи қонуни косинус ё қонуни синус рӯйдиханда ларзишҳои мавзун (ларзишҳои ҳармоникӣ) ном доранд. Зиёдтарин қимати барқа q_m доманаи ларзиши барқа ном дорад. Бузургии ω_0 -ро басомади доиравии ларзиш номидаанд. Ин бузургӣ бо адади ларзишҳо дар як сония ν алоқамандии зайл дорад: $\omega_0 = 2\pi\nu$.

Кӯтоҳтарин фосилаи вақте, ки дар тӯли он як ларзиши пурра рӯй медиҳад (ё ҷараёни ларзиш қомилан тақрор мешавад), *даврии ларзиш* ном гирифтааст. Даврии ларзиш T бо басомади доиравӣ ω_0 ин тавр алоқаманд мебошад:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Бузургии таъхти аломати косинус (ё синус)-ро фази ларзиш мегӯянд. Фаз ҳолати системаи ларзишзоро барои ин ё он лаҳзаи вақт ва ин ё он қимати домана (амплитуд) ифода мекунад.

1. Ин ҷо аз рӯйи тавсияҳои амал кунед, ки мо дар поёни боби 1 оварда будем.

5. Ларзишҳои контурӣ ба сабаби дар контур вучуд доштани соиш бо мурури замон хомӯш мешаванд.

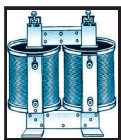
6. Ларзишҳои маҷбурӣ, яъне ҷараёни электрикии тағйирёбанда дар занҷири электрикӣ бо таъсири волтажи тағйирёбандаи берунӣ ба вучуд меоянд. Дар байни ларзишҳои волтаж ва қувваи ҷараён дар мавриди умумӣ ғеҷиши фаз (φ) вучуд дорад.

7. Тавони миёнаи ҷараёни электрикии тағйирёбанда бо қиматҳои самарбахши қувваи ҷараёни занҷир ва волтажи нӯғҳои он таъйин мешавад.

8. Дар сурати ҳамчен омадани басомади волтажи тағйирёбандаи берунӣ ва басомади контури ларзишзо доманаи ларзишҳои маҷбурии қувваи ҷараён якбора меафзояд. Ин падида резонанс ном дорад.

Баробари зиёд шудани қувваи ҷараён волтажи рӯяҳои конденсатор ва нӯғҳои ғалтак меафзояд.

9. Ларзишҳои худбахудӣ (автоларзишҳо) дар контури ларзишзои генератори транзисторӣ аз ҳисоби энергияи манбаи волтажи доимӣ ангехта мешаванд. Дар ин гуна генератор транзистор ном олате истифода мешавад, ки ду соҳаи $p-n$ гузариш дорад. Ларзишҳои ҷараёни контур боиси ларзиши волтажи байни эмиттеру баз мегардад ва ин ларзишҳо, дар навбати худ, барои идора кардани қувваи ҷараёни дар контури ларзишзо ҷоришаванда ба кор мераванд (ин гуна робита робитаи акс ном гирифтааст).



Боби 3

ИСТЕҲСОЛ, ИНТИҚОЛ ВА ИСТИФОДАИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ

Энергияи электрикӣ дар муқобили ҳама навъҳои дигари энергия бартариҳои бисёр дорад. Онро ба воситаи сим бо талафи андак ба масофаҳои тӯлонӣ нақл кардан (интиқол додан) ва дар байни истеъмолкунандагон тақсим кардан осон аст. Аммо аз ҳама муҳим ин аст, ки энергияи электрикиро ба воситаи дастгоҳҳои начандон мураккаб ба навъҳои дигари энергия – энергияи механикӣ, энергияи дохилӣ, энергияи рӯшноӣ ва ғ. табдил додан имконпазир ва осон мебошад.

Чараёни тағйирёбанда дар муқобили чараёни доимӣ он гуна бартарӣ дорад, ки дар ин маврид волтаж ва қувваи чараёно дар ҳудуди хеле фарох табдил додан мумкин аст. Ин гуна табдилот дар бисёр дастгоҳҳои электротехникиву радиотехникӣ зарурат дорад. Вале зарурати аз ҳама зиёди табдили волтаж ва қувваи чараён дар сурати ба масофаҳои дур интиқол додани энергияи электрикӣ ба миён меояд.

§23. Тавлиди энергияи электрикӣ

Пеш аз ҳама бо олатҳои шинос мешавем, ки чараёни электрикӣ ҳосил мекунад.

Энергияи электрикӣ ба воситаи генераторҳо ба вучуд оварда мешавад. Генератор (муваллид) дастгоҳест, ки ин ё он навъи энергияро ба энергияи электрикӣ табдил медиҳад. Батарҳои галванийӣ, мошинаҳои электростатикӣ, гармобатарҳо¹, батареҳои офтобӣ ва дастгоҳҳои м.ин. – ҳама ба синфи генераторҳо мансубанд.

Имкони эҷоди навъҳои усулан нави генераторҳо таҳқиқ мешавад. Чунончи, олатҳои гармохориҷкунандае бунёд карда мешавад, ки дар онҳо энергияи дар натиҷаи омезиши ҳидрогену оксиген хориҷшаванда бевосита ба энергияи электрикӣ табдил

1. Дар гармобатарҳо (батареҳои ҳароратӣ) он чихати ду тамоси ноқилҳои гуногунчинс истифода мешавад, аз ҳисоби фарқи ҳароратҳои ҷойҳои тамоси ноқилҳо қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ) ба вучуд меояд.

меёбад. Соҳаи истифодаи ҳар яки ин генераторҳо ба хусусиятҳои онҳо бастагӣ дорад. Чунончи, мошинаҳои электростатикӣ волтажи баланд ҳосил карда метавонанд, вале наметавонанд, ки дар занҷир ҷараёни камубеш пурқувват ба вучуд биёранд; батареҳои гальванийӣ ҷараёни пурқувват ҳосил карда метавонанд, вале муддати кори онҳо зиёд нест ва ғ.

Дар замони мо доираи татбиқи *генераторҳои индуксионии* электромеханикии ҷараёни тағйирёбанда торафт васеътар мешавад. Дар ин генераторҳо энергияи механикӣ ба энергияи электрикӣ бадал мешавад. Кори онҳо бар падидаи индуксияи электромагнитӣ (*илқои электромагнитӣ*) асос ёфтааст. Ин навъ генераторҳо сохти нисбатан сода доранд ва имкон медиҳанд, ки ҷараёнҳои пурқувват ва волтажҳои ба қадри кофӣ баланд ҳосил карда шаванд.

Минбаъд мо генератор гуфта маҳз хамин навъи генераторҳо – генераторҳои электромеханикии индуксиониро дар назар хоҳем дошт.

Генератори ҷараёни тағйирёбанда. Тарзи кори генератори ҷараёни тағйирёбандаро мо дар §17 муоина карда будем.

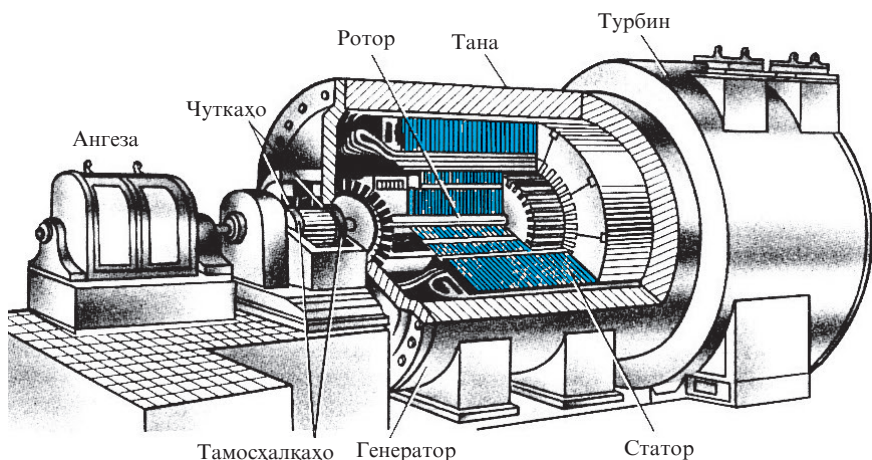
Генераторҳои индуксионӣ бисе гуногунанд. Вале онҳо ҷузъҳои якхелаи бисёр доранд. Чунончи, дар ҳамаи онҳо барои ба вучуд овардани майдони магнитӣ магнити доимӣ ё электромагнит истифода мешавад. Ё печак (печиш)-генераторро гирем, ки дар он қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и тағйирёбанда индуксия мешавад. (Дар модели муоинашудаи генератор ба сифати печак қоби симин (рамкаи симин) истифода шуда буд). Азбаски ҚумЭ-ҳои дар печҳои паёпай пайваस्तшудаи печак индуксияшаванда зам мешаванд, пас, домана (амплитуд)-и ҚумЭ-и индуксионӣ дар қоб ба адади печҳои он мутаносиб мебошад. Вай инчунин ба доманай сели магнитии тағйирёбанда $\Phi_m = BS$, ки ҳар як печи печакро «буррида мегузарад», мутаносиб аст (ниг. § 17).

Барои ба вучуд овардани сели магнитии шадид дар генераторҳои индуксионӣ системаи магнитии махсусе истифода мешавад, ки аз ду магза (дилак) иборат аст. Печакҳои офарандаи майдони магнитӣ дар комаҳо (холигоҳҳо)-и яке аз магзаҳо ҷой дода мешаванду дар комаҳои магзай дуҷум печакҳои хобонда мешавад, ки дар онҳо бояд ҚумЭ илқо (индуксия) шаванд. Яке аз магзаҳо (маъмулан магзай дарунӣ) ҳамроҳи печидай худ гирди меҳвари уфуқӣ ё амудӣ гардиш мекунад. Ҳамин аст, ки онро *ротор* мегӯянд (аз калимаи латинии *rotare* – гардидан). Мағзай беҳаракат якҷо

бо печидааш *статор* ном гирифтааст (аз калимаи лотинии stator – қарор истода, беҳаракат истода). Фосилаи байни магзаҳои статор ва ротор бояд ҳатталимкон кам бошад, то ки сели индуксии магнитӣ ҳатталимкон шадидтар ояд.

Дар модели дар рас.24 тасвирёфтаи генератор ба сифати ротор қоби симин (бе магза) истифода шудааст. Майдони магнитии дар ин генератор истифодашавандаро магнити доимӣ ба вучуд меоварад. Фаҳмост, ки агар қобро қарор нигоҳ дорему магнитро дар гирди он гардиш диҳем ҳам, худӣ ҳамон натиҷа ба даст меояд.

Аммо дар генераторҳои бузург (генераторҳои саноатӣ) маҳз электромагнитро, ки чун ротор хидмат мекунад, гардиш медиҳанд, вале печакҳое, ки ҚумЭ маҳз дар онҳо бояд ба вучуд ояд, дар қомаҳои статор хобонда шудаанд ва беҳаракатанд, яъне дар ҳоли ноҷунбон «қор мекунанд». Гап дар он аст, ки барои бо чараён таъмин кардани ротор ва аз печакҳои ротор ба занҷири берун додани чараён ногузир масъалаи истифодаи чӯткаҳои лағзон (контактҳои лағзон) пеш меояд. Барои ин нӯгҳои печакҳои роторро бо ҳалқаҳои тамос пайвастан мебояд (рас.53). Чӯткаҳо низ беҳаракатанд. Онҳоро ба тамосҳалқаҳо андак фишурда медоранд, яъне чӯткаҳо воситаи бо занҷири беруна робита додани печакҳои ротор мебошанд. Қувваи чараёне, ки дар печакҳои электромагнит (барои ба вучуд овардани майдони магнитӣ) ҳорист, назар ба қувваи чараёне, ки генератор ба занҷири беруна медиҳад, хеле кам мебошад. Бинобар



Рас.53.

ин ҷараёни тавлидшавандаро аз печакҳои беҳаракат гирифтанд (барои истифода берун баровардан) матлуб аст.

Чуткаҳои лағзон барои ба электромагнити гардон додани ҷараёни лозимӣ истифода мешаванд. Барои ба вучуд овардани ин ҷараён генератори алоҳидае корбаст мешавад, ки дар худ ҳамоно мехвар шинонда шудааст. (Ҷараёни ба ин мақсад истифодашавандаро маъмулан аз печакҳои статории худ ҳамоно генератор мегиранд ва онро ба воситаи олати якҷунанда яксӯ (рост) карда, баъд ба печакҳои ротор медиҳанд).

Дар генераторҳои камтавон майдони магнитиро магнити доимии гардон ба вучуд меоварад. Дар ин гуна генераторҳо тамосҳалқаҳо ва чутқаҳо умуман лозим намешаванд.

Дар печакҳои беҳаракати статорӣ ба вучуд омадани ҚумЭ он гуна шарҳ дорад, ки ҳангоми гардиш хӯрдани ротор сели магнитӣ тағйир меёбад ва дар печакҳои статор майдони электрикии тӯфонӣ ба вучуд меоварад.



Генераторҳои дар замони мо барои ҳосил кардани ҷараёни электрикӣ истифодашаванда дастгоҳҳои азиме ҳастанд, ки муддати дурудароз бефосила амал карда метавонанд ва назар ба ҳама гуна ишиооти дигари ҷараёнофаранда босарфатаранд.

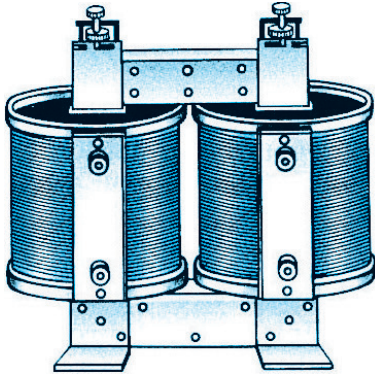


- 1. Ҷараёни тағйирёбанда дар муқобили ҷараёни доимӣ чӣ бартарихи дорад?*
- 2. Қори генератори ҷараёни тағйирёбанда бар истифодаи чӣ гуна надидаи физикӣ асос ёфтааст?*

§24. Трансформатор

Агар ҷараёни электрикиро қариб бе талафи камтарин табдил додан имкон нареданд, майдони истифодаи он ҳеҷ гоҳ он қадр фарох намебуд, ки ҳоло ҳастанд.

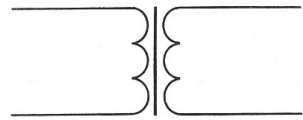
Таъйиноти трансформаторҳо. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и генераторҳои пуртавоии нуругоҳҳои барқ (электростансияҳо) хеле зиёд аст. Аммо дар амалияи зиндагонӣ дар акса-



Рас.54.

кор бурдааст.

Сохти трансформатор. Трансформатор аз мағза (дилак)-и сарбасте иборат мебошад, ки аз варақаҳои пӯлодин чида шудааст ва ба он ду (баъзан беш аз ду) ғалтаки симин – печак кашидаанд (рас.54). Яке аз ин печакҳо ба манбаи волтаж пайваста мешавад. Ин печак *печакҳои якум* ном дорад. Ҳама асбобҳову олатҳои барқистеъмолкунанда, яъне «бори занҷир» ба печакҳои дигар – *печакҳои дуюм* пайваста мешаванд. Ишорати шартии трансформатор дар рас.55 тасвир ёфтааст.



Рас.55.

Кори трансформатори бекор. Кори трансформатор бар падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) асос ёфтааст. Дар сурати дар печакҳои якум ҷорӣ будани ҷараёни тағйирёбанда дар мағза (дилак)-и трансформатор сели магнитие пайдо мешавад, ки он дар ҳар печак ҚумЭ-и индуксионӣ ҳосил мекунад. Мағзаи пӯлодин майдони магнитиро тарокум медиҳад (концентратсия мекунад), он тавр ки сели магнитӣ амалан танҳо дар даруни мағза вучуд дорад ва дар ҳама буришҳои мағза яхела аст. ҚумЭ-и онӣ (лаҳзагӣ)-и индуксионӣ e дар ҳар яке аз печакҳои якум ё печакҳои дуюм ҳамон як бузургӣ дорад ва мувофиқи қонуни Фарадей ин тавр ёфта мешавад:

$$e = -\dot{\Phi}' \quad (3.1)$$

Ин ҷо Φ' ҳосилаи замони сели индуксияи магнитӣ мебошад. Агар $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ бошад, пас,

$$\Phi' = -\omega\Phi_m \sin\omega t \quad (3.2)$$

мешавад. Он гоҳ чунин навиштан мумкин аст:

$$e = \omega\Phi_m \sin\omega t$$

ё ки

$$e = \varepsilon_m \sin\omega t. \quad (3.3)$$

Дар ин ифода $\varepsilon_m = \omega\Phi_m$ домана (амплитуд)-и ҚумЭ-и дар як печ пайдошуда мебошад.

ҚумЭ-и индуксионӣ дар печаки якум дар сурати N_1 -то печ доштани он баробари $N_1 e$ аст. Мисли ҳамин, дар печаки дуюм ҚумЭ-и пурра ба $N_2 e$ баробар мебошад (N_2 адади печҳои ин печак аст). Аз ин ҷо бармеояд, ки ҚумЭ-ҳои индуксионӣ дар печакҳои якуму дуюм чунин нисбат доранд:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3.4)$$

Муқовимати фаъоли печакҳои трансформатор чандон зиёд нест. Онро ба назар нагирифта мумкин аст. Чунин ки бошад, модули волтажи нӯғҳои ғалтак тақрибан баробари модули ҚумЭ-и индуксионӣ хоҳад буд (ниг. § 20):

$$|u_1| \approx |e_1|. \quad (3.5)$$

Дар сурати кушода будани печаки дуюми трансформатор чараён дар он чорӣ буда наметавонад. Он гоҳ

$$|u_2| \approx |e_2|. \quad (3.6)$$

хоҳад буд. Қиматҳои онии e_1 ва e_2 -и ҚумЭ ҳамоҳангона бо якдигар тағйир меёбанд – дар ҳамон як лаҳза авҷ (максимум) мегиранду дар ҳамон як лаҳза сифри мешаванд. Бинобар ин нисбати бо ифодаи (3.4) муайяншавандаи онҳоро бо нисбати қиматҳои самарбахшии ин ҚумЭ-ҳо ε_1 ва ε_2 ё, дар асоси ифодаҳои (3.5) ва (3.6), бо нисбати қиматҳои самарбахши волтажҳо U_1 ва U_2 иваз кардан ҷоиз аст:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = K. \quad (3.7)$$

Бузургии K *зариби табдилот* (коэффисенти трансформатсия) ном гирифтааст. Дар сурати $k > 1$ будан трансформатор волтажро кам мекунаду дар сурати $k < 1$ будан онро меафзояд.

Кори трансформатори бабор. Агар нӯгҳои печакӣ дуҷумро ба занҷири барқистеъмолкунанда пайвандем ё, ҷунонки мегӯянд, трансформаторро бор кунем, қувваи ҷараён дар печакӣ дуҷум дигар сифрӣ намебошад. Ҷараёни дар ин маврид пайдошаванда дар мағзаи трансформатор сели магнитии тағйирёбандаи ба худ ҳосе ба вучуд меоварад, ки он мувофиқи қоидаи Ленс бояд тағйироти сели магнитиро дар мағза кам кунад.

Лекин хурд шудани доманаи ларзиши сели магнитии натиҷавӣ, дар навбати худ, бояд ҚумЭ-и индуксиониро дар печакӣ яқум кам кунад. Вале ин имконнопазир аст, зеро мувофиқи (3.5) $|u_1| \approx |e_1|$ мебошад. Бинобар ин ҳангоми сарбаст кардани занҷири печакӣ дуҷум қувваи ҷараён дар печакӣ яқум худбахуд меафзояд. Доманаи ин ҷараён тавре меафзояд, ки қимати пешинаи доманаи ларзишҳои сели магнитии натиҷавиро барқарор кунад.

Афзоиши қувваи ҷараён дар занҷири печакӣ яқум мувофиқи қонуни бақои энергия сурат мегирад: ҷойи энергияи талафдодаи печакӣ дуҷум аз ҳисоби шабакаи барқ ба воситаи печакӣ яқум пур мешавад. Тавони занҷири печакӣ яқум дар сурати ба бори муқаррарӣ (бори исмӣ ё номиналӣ) наздик будани бори трансформатор тақрибан баробари тавони печакӣ дуҷум мебошад:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2 \quad (3.8)$$

ё худ:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}. \quad (3.9)$$

Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар сурати ба воситаи трансформатор ин ё он дараҷа зиёд кардани волтаж қувваи ҷараён ҳамон дараҷа кам мешавад (ва баръакс).

Дар трансформаторҳои пуртавоии ҳозира талафи умумии энергия аз 2-3 дарсад (%) беш нест.



Трансформатор ҷараёни электрикии тағйирёбандаро тавре табдил медиҳад, ки ҳосили зарби қувваи ҷараён ба волтаж дар ҳарду печакӣ он тақрибан якхела менамояд.



1. *Зариби табдилот (коэффисенти трансформатсия) чист?*
2. *Сабаб чист, ки трансформатори бебор (он ки ба занҷири истеъмолкунанда пайваст набошад) энергияи хеле кам истеъмол мекунад?*

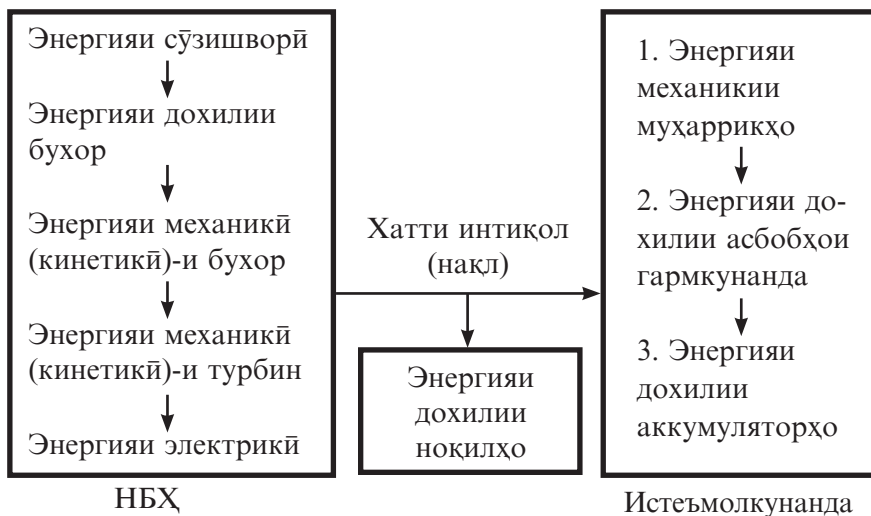
§25. Истеҳсол ва истифодаи энергияи электрикӣ

Дар замони мо дараҷаи истеҳсол ва истифодаи энергия¹ яке аз аломатҳои рушди қувваҳои истеҳсолкунанда гардидааст. Ва ин ҷо ҳиссаи энергияи электрикӣ аз ҳама беш аст, зеро ин навъи энергия ба маънии томи калима назар ба навъҳои дигар истеъмолбобтар аст. Умуман, истеъмоли энергия дар дунё дар чаҳоряк аср, вале истеъмоли энергияи электрикӣ дар ҳар даҳсола ду бор меафзояд. Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар саросари чаҳон майдони истифодаи энергияи электрикӣ торафт фарохтар шудан дорад.

Истеҳсоли энергияи электрикӣ. Энергияи электрикӣ дар неругоҳҳои хурду бузурги барқ асосан ба воситаи генераторҳои индуксионии электромеханикӣ (илқо-генераторҳои электромеханикӣ) ҳосил карда мешавад. Асосан ду навъи неругоҳи барқ (электростансияҳо) мавҷуд аст: нерӯгоҳҳои ҳароратӣ ва обӣ. Онҳо аз якдигар бо он фарқ мекунанд, ки барои гардиш додани роторҳои генераторҳои воситаҳои гуногун (гармои сӯзиш ё энергияи оби ғалтон) истифода мешавад.

Неругоҳҳои ҳароратӣ ба сифати манбаи энергия гармои сӯзиши ангишт, газ, нафт, мазут, варақсанг ва ғ.-ро истифода мекунанд. Роторҳои генераторҳои электрикӣ ба воситаи турбинҳои бухорӣ ё газӣ ва ё ба воситаи муҳаррикҳои дарунсӯз гардиш дода мешаванд. Босарфатарин неругоҳи барқ неругоҳи бухортурбини ҳароратӣ (НБХ, русиаш ТЭС) мебошад. Аксари НБХ-ҳо ба сифати сӯзишворӣ ҳокаи ангиштро истифода мекунанд. Барои ҳосил кардани 1 кВт•ст энергияи электрикӣ чандсад гиrom ангишт сарф мешавад. Беш аз 90 дарсади энергияи дар деги бухор хориҷкардаи сӯзишворӣ ба бухор дода мешавад. Дар турбин энергияи кинетикӣ ба механикӣ табдил меёбад.

1. Албатта, дар ин маврид ҳуди энергия гум намешавад. Вазифаи энергетика танҳо ин аст, ки энергияи истифодашавандаро дар шакли қобили истеъмол ҳосил кунад. Энергия ҳангоми истеъмол охири охирон асосан ба энергияи дохилӣ (яъне ба гармо) табдил меёбад.



Рас.56.

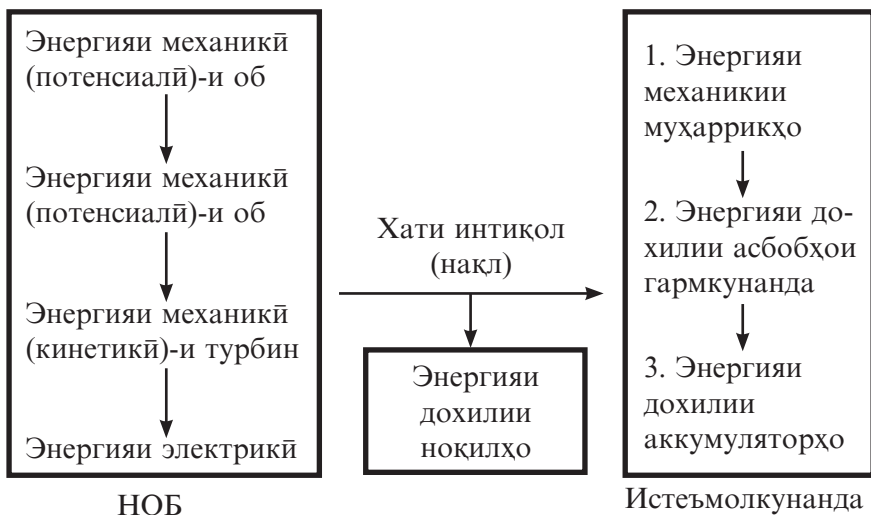
тикии тираки бухор ба ротор дода мешавад. Наварди турбин ба наварди генератор ба таври ноҷунбон маҳкам аст.

Турбогенераторҳои бухорӣ ба саръҷархишанд – адади гардиши онҳо дар ҳар дақиқа то ба чанд ҳазор мерасад. Аз физикаи синфи 10 маълум аст, ки *суд* (коэффисенти кори фоиданок)-и муҳаррикҳои ҳароратӣ ба қадри зиёд қардани ҳарорати ибтидоии ҷисми кори меафзояд. Бинобар ин бухори ба турбин равонашавандаро ҳатталимкон гармтару фишурдатар (то ҳароратҳои 550°C ва фишорҳои 25 МПа) мекунанд.

Суди НБХ-ҳо то ба 40 дарсад мерасад. Қисми зиёди гармо (энергия) ҳамроҳи бухори корхӯрда талаф мешавад. Табдилоти дар ин гуна мавридҳо рӯйдихандаи энергия дар рас.56 тасвир ёфтааст.

Неругоҳҳои ҳароратии махсуси барқ, ки термоэлектросентрал (ТЭС; русиаш ТЭЦ) ном гирифтаанд, имкон медиҳанд, ки ҳиссаи хеле зиёди бухори партовӣ (бухори корхӯрда) дар муассисаҳои саноатӣ ва эҳтиёҷоти рӯзгор (гарм қардан ва бо оби гарм таъмин қардондани биноҳои иқоматӣ ва ғ.) истифода шавад. Ин амал суди ТЭС-ҳоро то ба 60–70% мерасонад. Ҳозирҳо қариб 40 дарсади энергияи электриро ТЭС-ҳо истеҳсол мекунанд.

Дар неругоҳҳои оби барқ (НОБ) барои гардиш додани роторҳои генераторҳо энергияи потенциалии оби афтон (оби аз ин ё он баландӣ афтанда) истифода мешавад. Ротори генератори электрикӣ ба воситаи турбини ҳидравликӣ ба гардиш дароварда



Рас. 57.

мешавад. Тавони ин гуна неругоҳи барқ ба он вобаста мебошад, ки об аз чӣ қадр баландӣ поён меафтад ва ҳар сония чӣ миқдор об ба турбин мезанад. Табдилоти энергия дар неругоҳҳои обии барқ дар рас.57 тасвир ёфтааст.

Неругоҳҳои обии барқ қариб 20 дарсади энергияи электрикии истеъмолиро истеҳсол мекунанд.

Вақтҳои охир дар энергетика ҳиссаи неругоҳҳои атомии барқ (НАБ) торафт зиёдтар мешавад. Дар замони ҳозира тақрибан 15,7 дарсади энергияи электрикиро ҳамин НАБҳо ҳосил мекунанд.

Истифодаи энергияи электрикӣ. Истеъмолкунандаи асосии энергияи электрикӣ саноат аст, ки қариб 70%-и тамоми энергияи истеҳсолшавандаро «меҳӯрад». Нақлиёт низ соҳаи энергияталаб мебошад. Адади роҳҳои охани истеъмолкунандаи энергияи электрикӣ сол то сол афзуда истодааст.

Ҳиссаи зиёди энергияи электрикии истеъмолшавандаро ба энергияи механикӣ табдил додан лозим меояд. Қариб ҳама механизмиҳои саноатӣ тавассути муҳаррикҳо (генераторҳо)-и электрикӣ ба ҳаракат дароварда мешаванд. Ин муҳаррикҳо бисёр ҷоғунҷанд (ҷойи кам мегиранд), истифодабобанд ва дар олатҳои худкор (автоматӣ) низ қобили истифода ҳастанд.

Қариб сеяки энергияи электрикие, ки саноат истеъмол мекунанд, барои амалиёти технологӣ (кафшеркорӣи электрикӣ, гудозиши филизот, электролиз ва ғ.) сарф мешавад.



Зиндагонӣ ва умуман тамаддуни имрӯзаро бе истифодаи энергияи электрикӣ тасаввур кардан муҳол аст. Фаҳмост, ки дар сурати бо ин ё он сабаб аз кор баромадани неругоҳҳои барқи шахри калон тамоми муассисаҳо «фалаҷ» мешаванд.



- 1. Оё шумо мисолҳои оварда метавонед, ки «дар фалон мошин ё механизм чараёни электрикӣ тамоман истифода нашавад»?*
- 2. Сокинони шахри калон аз харобии шабакаи барқ чӣ зарар мебинанд?*

§26. Интиқоли энергияи электрикӣ

Истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ дар ҳар ҷо ҳастанд. Вале худи ин энергияро дар ҷойҳои наздик ба конҳои сӯзишворӣ ё захираҳои об истеҳсол мекунад. Ин энергияро ба миқдори зиёд захира кардан илҷ надорад. Оғро дарҳол баъди тавлид истеъмол кардан меояд. Бинобар ин зарурати ба масофаҳои дур интиқол додани ин энергия ба миён меояд.

Энергияи электрикӣ гоҳи интиқол додан камобеш талаф мешавад. Гап дар он аст, ки чараёни электрикии I ҳангоми дар нокили муқовиматаш R қорӣ будан дар муддати t ин миқдор гармо хориҷ мекунад:

$$Q = I^2 R t$$

Ин гармо беҳуда сарф мешавад (ноқилҳоро гарм мекунад). Дар сурати бисёр дароз будани хатти нақли энергия ин кор фоидаи иқтисодӣ намедихад. Ба дараҷаи назаррас кам кардани муқовимати ноқилҳо амалан басте душвор аст. Аз ин рӯ қувваи чараёнро кам кардан лозим меояд.

Азбаски тавони чараён ба ҳосили зарби қувваи чараён ва волтаж баробар мебошад, пас, барои доимӣ (собит) мондани тавони нақлшаванда волтажи хатти барқро зиёд кардан меояд. Ва ҳар қадре ки хатти барқ дароз бошад, волтажи ҳамон қадр баландтарро истифода кардан зарур меояд. Чунончи, дар яке аз хатҳои баландволти неругоҳи оби барқи Маскав (дар дарёи Волга) волтажи 500 кВ истифода мешавад. Бо вучуди ин генераторҳои чараёни тағйирёбанда барои волтажҳои на бештар аз

20 кВ сохта мешаванд, зеро волтажи аз ин бештар барои аз ҳам ҷудо нигоҳ доштани печакҳову қисмҳои дигари генераторҳо тадбирҳои махсус тақозо мекунад.

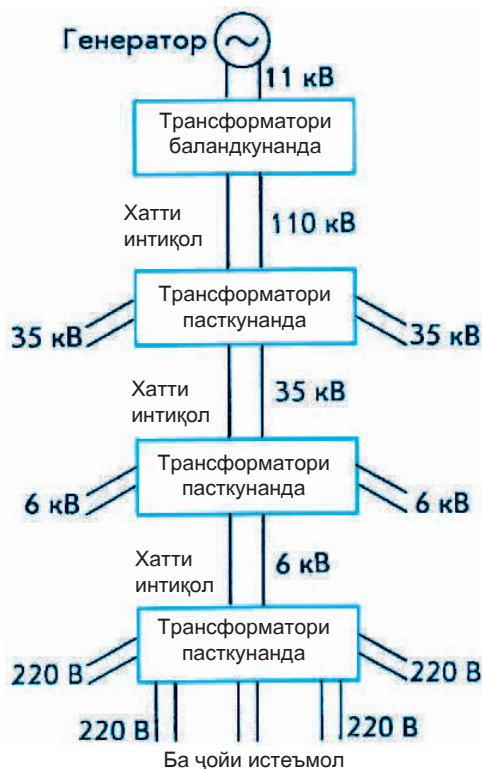
Аз ин рӯ дар нуругоҳҳои бузурги барқ трансформаторҳои волтажбаландкунанда мешинонанд, то ки волтажи хатти интиқоли барқро ба қадри кам шудани қувваи ҷараён зиёд кунанд.

Барои бевосита дар муҳаррикҳои дастгоҳҳо, шабакаи равшанӣ ва ғ. истеъмол кардани энергияи электрикӣ волтажҳои баландро паст кардан мебоҷад. Ин амал ба василаи трансформаторҳои волтажпасткунанда анҷом дода мешавад.

Амали паст кардани волтаж ва зиёд кардани қувваи ҷараён чанд зина дорад. Дар ҳар яке он зинаҳо волтаж то рафт пасттар ва масоҳати фарогирандаи шабакаи электрикӣ торафт васеътар мешавад. Реҷаи интиқол ва тақсими энергияи электрикӣ дар рас.58 тасвир ёфтааст.

Дар сурати бисёр баланд будани волтаж дар байни ноқилҳои хатти интиқол тахлия (пардаҳт, разряд)-и тоҷии электрикӣ рӯй медиҳад, ки он боиси талафи энергия мегардад. Дар ин маврид домана (амплитуд)-и волтажи тағйирёбанда бояд тавре интиҳоб шавад, ки барои ин ё он масоҳати буриши арзии ноқил талафи энергия дар натиҷаи тахлия (пардаҳт)-и тоҷӣ ҳатталимкон кам бошад.

Нуругоҳҳои барқи як қатор ноҳияҳо бо хатҳои интиқоли волтажи баланд дар як шабакаи умумӣ муттаҳид карда шудаанд, ки онро *шабакаи умумии энергия* ё мухтасаран шабакаи умумӣ меноманд (русиаш: энергосистема). Истеъмолкунандагон аз ҳамин ша-



Рас.58.

бака барқ мегиранд. Ин гуна шабака имкон медиҳад, ки бори он (яъне кори бо барқ таъмин гардондани истеъмолкунандагон) дар соатҳои «пик» – пагоҳиҳо ва бегоҳиҳо нисбатан баробар тақсим шавад. Ин боз имкон медиҳад, ки кори ба истеъмолкунандагон расондани барқ муназзам бошад.



Энергияи электрикиро ба масофаҳои дур интиқол додан бас мушкул аст. Вале дар сурати истифодаи шудани қараёни электрикии баландволтаж мурод ҳосил мегардад.



1. *Энергияи электрикиро ба масофаҳои дур чӣ тавр интиқол медиҳанд?*
2. *Ба воситаи қараёни доимӣ ба масофаҳои дур интиқол додани энергияи электрикӣ чӣ бартарӣ дорад?*

Машқи 3

1. Варақаҳои пӯлодини мағза (дилак)-и ротори генератори индуксиониро чӣ тавр қой додан мебояд, ки қараёнҳои тӯфонӣ (қараёнҳои гирдпеч) кам бошанд?

2. Қоб (рамка)-и симини росткунҷа дар майдони магнитии якҷинса гардиш меҳӯрад. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚуМЭ)-и дар ин қоб илқошаванда (индуксияшаванда) дар кадом маврид зиёд хоҳад буд – ҳангоми ба рафти хатҳои индуксияи магнитӣ амудан воқеъ гардидани қоб ё ҳангоми ба он хатҳо мувозӣ (параллел) будани он?

3. Печакҳои трансформатор аз симҳои гуногунгафсӣ печонда шудаанд. Кадоми он печакҳо печи бисёртар дорад?

4. Адади печҳои печакҳои трансформаторро (бе он ки ғалтак кушода шавад) чӣ тавр муайян кардан мумкин аст?

5. Агар трансформатор тасодуфан ба манбаи қараёни доимӣ пайваста шавад, чӣ ҳодиса рӯй дода метавонад?

6. Сабаб чист, ки агар як печи печакҳои трансформатор сарбаст шавад, трансформатор аз кор мебарояд?

7. Зариби табдилот (ё худ коэффисенти трансформатсия)-и ҳама трансформаторҳои пасткунандаи дар рас. 58 тасвиршударо ёбед. (Талафи энергияро ба назар нагиред). Сипас ҳамин масъаларо барои трансформаторҳои баландкунанда ҳал кунед.

Мухимтарин хулосаҳои боби сеюм¹

1. Чараёни электрикӣ аксаран ба воситаи генераторҳои индуксионии электромеханикӣ ҳосил карда мешавад.

Ин генераторҳо энергияи механикиро ба энергияи чараёни электрикӣ табдил медиҳанд. Кори онҳо бар падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ) асос ёфтааст.

2. Чараёни электрикии тағйирёбанда ба воситаи трансформатор табдил дода мешавад. Трансформатор ду печаке дорад, ки дар мағзаи пӯлодин кашида шудаанд. «Вазифаи» мағза бо талафи камтарин кам ё зиёд кардани волтаж мебошад. Тағйироти волтаж бо нисбати адади печҳои печаки якум N_1 бар адади печҳои печаки дуюм N_2 муайян мешавад:

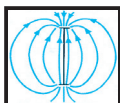
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

3. Трансформатор чанд боре ки волтажро зиёд (кам) кунад, қувваи чараён дар занчир ҳамон дараҷа кам (зиёд) мешавад:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}.$$

4. Талафи энергия дар ноқилҳо ба дараҷаи ду (ё худ тавони ду)-и қувваи чараён мутаносиб мебошад. Вале тавон (тавноӣ)-и интиқолшаванда ба ҳосили зарби қувваи чараён ба волтаж мутаносиб аст. Бинобар ин интиқоли энергия дар сурате матлуб хоҳад буд, ки волтаж зиёд бошад қувваи чараён кам. Волтажро пеш аз интиқол додан (ба масофаҳои дур) ба воситаи трансформатор зиёд мекунад, вале дар охири хатти интиқол он (волтаж)-ро пеш аз он ки ба «дасти» истеъмолкунандагон бирасад, боз ҳам ба воситаи трансформатор паст мекунад.

1. Дониши аз мутолиаи боби 3 андӯхтаи худро ин ҷо низ ҳамон тавр хулосабандӣ кунед, ки дар муқаддимаи банди «Мухимтарин хулосаҳои боби якум» гуфта будем.



Боби 4

МАВЧҶОИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ

Мо дар синфи IX бо мавҷҳои механикӣ шинос шуда будем. Мавҷҳои механикӣ дар муҳитҳои гуногун - дар газ, моеъ ё қисми сахт густариши меёбанд (пахн мегарданд). Мавҷҳои навъи дигаре низ вучуд доранд, ки **мавҷҳои электромагнитӣ** ном гирифтаанд ва барои густариши худ ба ягон навъ модда эҳтиёҷ надоранд. Радиомавҷҳо ва мавҷҳои рӯшноӣ маҳз ҳамин гуна мавҷанд. Майдони электромагнитӣ дар хало (вакуум), яъне дар ҷойи беатому бемолекула низ вучуд дошта метавонад. Мавҷҳои электромагнитӣ бо вучуди аз мавҷҳои механикӣ тафовутӣ куллӣ доштан ҳангоми густариши ёфтани худ монанди мавҷҳои механикӣ рафтор мекунад.

Ҳоло мо ба омӯзиши мавҷҳои электромагнитӣ мепардозем. Аммо аввал биёед ба хотир биёрем, ки мавҷ чист ва хусусиятҳои асосии ҳаракати мавҷӣ чигунаанд.

§ 27. Рӯйдодҳои мавҷӣ

Падидаҳои мавҷӣ дар табиат бағоят бисёр дучор меоянд, зеро барои пайдоиши мавҷҳо шароити гуногун мавҷуд аст. Бо вучуди ин ҳама навъҳои мавҷҳо бо қонуниятҳои сифатан якхела тавсиф мешаванд (он сон, ки дар омӯзиши ларзишҳо дида будем). Бисёр масъалаҳои душвордарк дар сурате рӯшан ё рӯшантар мегарданд, ки мо мавҷҳои гуногунро бо якдигар муқоиса кунем.

Мавҷ чист? Мавҷ гуфта ларзишро мефаҳманд, ки бо мурури замон дар фазо густариш меёбад (пахн мешавад).

Мавҷҳои механикӣ дар ҳаво, дар қисмҳои сахт ва дар андаруни моеъҳо дар асари қувваҳои чандирӣ ба вучуд меоянд. Ҳамин қувваҳоанд, ки қисмҳои алоҳидаи қисмро бо якдигар алоқаманд мегардонанд. Дар ташаккули мавҷҳои рӯйи об бошад, қувваи вазнинӣ ҳиссаи муҳим дорад.

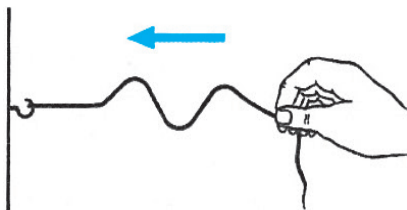
Хусусиятҳои асосии ҳаракати мавҷиро аёнигар аз ҳама дар мисоли мавҷҳои рӯйи об дидан мумкин аст. Мавҷҳо дар ин маврид чун «хокрезҳои» гирде ба назар мерасанд, ки сӯйи пеш медаванд. Зимнан, масофаи байни «хокрезҳо» ё теғаҳои мавҷ тақрибан якхелаанд. Аммо агар ба рӯйи об ягон чизи сабук, масалан, куттии

гӯгирдро партоем, вай аз паси (ё ҳамроҳи) мавч намеравад, балки такрибан дар ҳамон як ҷо болову поён (мисли об) лаппидан мегирад.

Ҳангоми густариш ёфтани мавч ҳолат (вазъ)-и муайяни муҳити лаппон (вале на модда!) ҷой иваз мекунад, мекуҷад. Изтиробе, ки дар ягон ҷойи об, масалан ҳангоми ба об партофтани санге ба вучуд меояд, ба қитъаҳои ҳамсоя дода шуда, оҳиста-оҳиста ҳар сӯ паҳн мегардад ва зарраҳои навбанами муҳитро ба ин ҳаракат ҷалб мекунад. Аммо ҳуди об ҷорӣ намешавад – танҳо шакли сатҳи он мекуҷад.

Суръати мавч. Муҳимтарин бузургии тавсифдиҳандаи мавч суръати он аст. Мавҷҳо, сарфи назар аз табиати худ, дар фазо якбора, дар як он густариш ёфта (паҳн гашта) наметавонанд – онҳо бо ин ё он суръати ниҳой (охирнок) густариш меёбанд. Метавон тасаввур кард, масалан, ки моҳихӯрак ҳамеша дар фазои рӯйи ҳамон як тегаи мавҷ парвоз мекунад. Дар ин сурат суръати густариши мавҷ ба суръати моҳихӯрак баробар хоҳад буд. Мавҷҳои рӯйи об аз он ҷиҳат мушоҳидабобанд, ки суръати густаришашон зиёд нест.

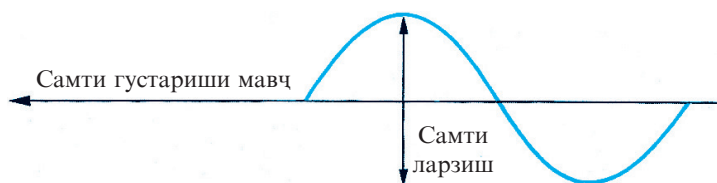
Мавҷҳои арзӣ ва тӯлӣ. Мавҷҳоеро ҳам, ки қад-қадди ресмони резинӣ медаванд, мушоҳида кардан осон аст. Агар як нӯги ресмонро маҳкам карда, нӯги дигарашро қадре кашида, онро чунбонем, мебинем, ки мавҷе пайдо шуда, ба қадди ресмон медавад (рас. 59).



Рас. 59

Ва ҳар қадре ки ресмон саҳттар кашида шуда бошад, суръати мавҷ ҳамон қадр зиёдтар хоҳад буд. Мавҷ то нуқтаи басти ресмон расида, акс мешавад ва пас мегардад. Дар ин мисол ҳангоми густариш ёфтани мавҷ шакли ресмон тағйир меёбад. Аммо ҳар як қитъаи он нисбат ба мавҷеи бетағйири мувозанати худ чунбиш мекунад. Бинед, ки ҳангоми ба қадди ресмон давидани мавҷ қитъаҳои алоҳидаи ресмон амудан ба рафти мавҷ чунбиш мекунад (рас. 60). Ин гуна мавҷҳоро *мавҷҳои арзӣ* (дурусташ: мавҷҳои ʔарзӣ) меноманд.

Аммо на ҳар мавҷ мавҷи арзӣ аст. Чунбиш (ларзиш) дар самти рафти мавҷ низ рӯй дода метавонад (рас.61). Ин навъи мавҷро *мавҷи тӯлӣ* мегӯянд. Пайдоиши мавҷи тӯлиро бо ёрии фанар (пуржин)-и дарози мулоими дар рас.62 тасвиршуда мушоҳида кар-



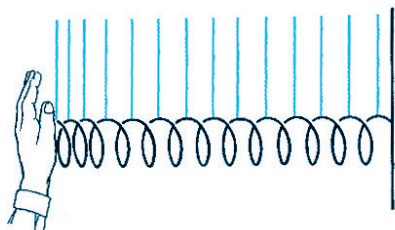
Рас. 60



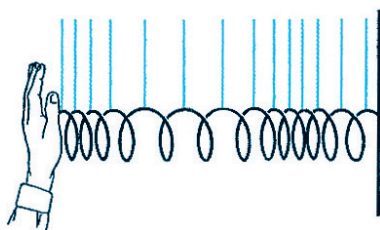
Рас. 61

дан мумкин аст. Агар як нӯги фанарро ба кафи даст андак такон диҳем, мебинем, ки фишориш (импулси чандирӣ) ба қадди фанар медавад (рас.62). Бо зарбаҳои паёпаёӣ дар фанар мавҷе ангехтан мумкин аст, ки натиҷаи фишоришҳову кашишҳои фанар бошад. Ин фишоришҳову кашишҳо дар пайи якдигар медаванд (рас.63). Ҳар як печи фанар дар самти рафти мавҷ ҷунбиш мекурад.

Энергияи мавҷ. Ҳангоми густириш ёфтани мавҷ ҳаракат аз як қитъаи ҷисм ба қитъаи дигари он дода мешавад ё, чунон ки мегӯянд, интиқол меёбад. Интиқоли ҳаракат бо интиқоли энергия алоқаманд аст. *Хосияти асосии ҳама мавҷҳо, сарфи назар аз табиаташон, ин аст, ки онҳо энергияро ба интиқоли модда интиқол медиҳанд.* Мавҷ энергияро аз манбае мегирад, ки он нӯги ресмон, тор ва ғ.-ро ҷунбиш медиҳад. Ин энергия ҳамроҳи мавҷ мекӯчад. Ба иборати дигар, аз ҳар гуна буриши арзии масалан, ресмон энергия бефосила «ҷорӣ» хоҳад буд. Ин энергия дар мисоли ресмон аз энергияи ҳаракат (энергияи кинетикӣ)-и қитъаҳои ресмон ва энергияи потенциалии тазйиқ (деформатсия)-и чандири он иборат мебошад. Ҳангоми ба қадди ресмон давиданҳои мавҷ домана (амплитуд)-и ҷунбиш оҳиста-оҳиста кам мешавад – ин бо



Рас. 62



Рас. 63

он алоқаманд аст, ки дар ин маврид як қисми энергияи механикӣ ба энергияи дохилӣ табдил меёбад.

Дарозии мавҷ. Агар нӯги озоди ресмони резинии кашидаро маҷбур созем, ки бо басомади муайяни ν биларзад, мебинем, ки ин ларзишҳо ба қадди ресмон ҳаракат мекунанд ва ҳар як қитъаи ресмон бо ҳамон басомаде меларзад, ки мо нӯги ресмонро бо он ларзиш додаем. Вале дар ин маврид фази ларзишҳо нисбат ба якдигар гечида меоянд. Ин гуна мавҷҳоро *мавҷҳои якбасомад* (мавҷҳои монохроматӣ – ба маънои «якранг») мегӯянд.

Дар сурати баробари 2π будани фосилаи фазии байни фазҳои ларзиши ду нуқтаи ресмон ин нуқтаҳо ба куллі якхела ларзиш меҳӯранд, зеро

$$\cos(2\pi\nu t + 2\pi) = \cos 2\pi\nu t.$$

мебошад. Ин навъ ларзишҳоро ларзишҳои ҳамфаз мегӯянд. Масофаи байни ду нуқтаи ба якдигар наздиктаринеро, ки бо фази якхела ларзиш меҳӯранд, дарозии мавҷ меноманд.

Робитаи байни дарозии мавҷ λ , басомади ларзиш ν ва суръати гузариши мавҷ v . Мавҷ дар як даври ларзиш масофаи баробар ба λ -ро мепаймояд. Пас, суръати онро ин тавр ёфта мумкин аст:

$$v = \frac{\lambda}{T}.$$

Даври ларзиш T ва басомади ларзиш ν ин тавр алоқаманданд:

$$T = \frac{1}{\nu}.$$

Пас,

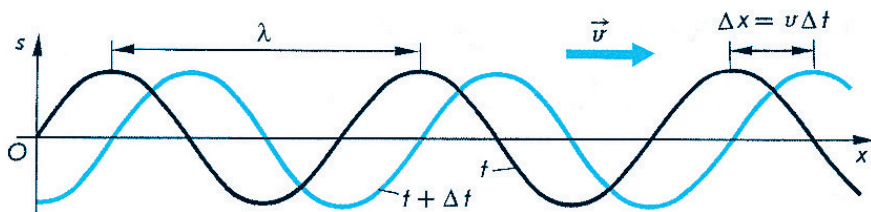
$$v = \lambda\nu$$

будааст, яъне *суръати мавҷ ба ҳосили зарби дарозии мавҷ ва басомади ларзиш баробар мебошад.*

Ҳангоми ба қадди ресмон давидани мавҷ мо бо ду навъ даврият дучор меоем:

Аввалан, ҳар як зарраи ресмон ҳаракати замонан (нисбат ба вақт) даврӣ мекунад. Дар ларзишҳои мавзун ё худ ларзишҳои ҳармоникӣ (ин ларзишҳо аз рӯйи қонуни косинус ё қонуни синус рӯй медиҳанд) басомад ва доманаи ларзиш дар ҳама нуқтаҳо якхелаанд; онҳо танҳо бо фази худ фарқ мекунанд.

Сониан, дар ин ё он лаҳзаи вақт шакли мавҷ дар фазо пас аз ҳар порчаи дарозиаши λ такрор мешавад. Дар рас.64 нимрӯйи мавҷ барои лаҳзаи муайяни вақт тасвир ёфтааст (хати сиёҳ). Ин хат бо мурури замон бо суръати v сӯйи рост мекӯчад. Мавҷ пас



Рас.64.

аз фосилаи вақти Δt ба мавқеи меояд, ки он бо хатти ранга тасвир ёфтааст.



Мо ба хотир овардем, ки мавҷ чист, басомад ва доманаи ларзиши мавҷ чӣ маънӣ доранд. Барои дарозии мавҷ басомади ларзиши ва суръати гузариши мавҷ ин гуна таносуб муқаррар кардем: $v = \lambda \nu$. Ҳамаи ин мафҳумҳо барои мавҷҳои механикӣ ва электромагнитӣ умумианд.



1. *Мавҷ чист?*
2. *Мавҷҳои арзӣ ва тўлӣ аз якдигар чӣ фарқ доранд?*
3. *Хусусиятҳои асосии ҳаракати мавҷӣ чигунаанд?*
4. *Дарозии мавҷ чӣ гуна бузургист?*
5. *Суръати мавҷ ва дарозии мавҷ чӣ алоқамандӣ доранд?*
6. *Оё ҳангоми гузариши ёфтани мавҷ домана (амплитуд)-и он ҳамеша хурд мешавад?*

§28. Мавҷҳои электромагнитӣ

Мавҷҳои механикӣ ба туфайли таъсири мутақобили байни зарраҳои модда ба вуҷуд меоянд. Ҳоло биёед бинем, ки мавҷҳои электромагнитӣ чӣ тавр пайдо мешаванд.

Таъсири мутақобили электромагнитӣ чӣ тавр гузариши меёбад? Қонунҳои бунёӣ (фундаменталӣ)-и табиат, аз ҷумла қонунҳои электромагнетизм (ки Максвелл кашф кардааст) аз ин ҷиҳат ҷолиби таваҷҷуҳ ҳастанд: онҳо назар ба далелҳои, ки заминаи дарк ва кашфи худ ин қонунҳо гардидаанд, маълумоти бештар дода метавонанд.

Дар байни натиҷаҳои сершумори бисе ачибу муҳими қонунҳои максвеллии майдони электромагнитӣ якеаш шоёни тавачҷуҳи зиёдест. Ин ҳулосаест дар бораи он, ки *таъсири мутақобили электромагнитӣ бо суръати ниҳойӣ густариши меёбад*.

Мувофиқи назарияи таъсири дур қувваи кулонии ба зарраи барқаманд (зарраи электрон) таъсиркунанда дарҳол баъди аз ҷой ҷунбондани зарраи барқаманди ҳамсоя тағйир меёбад. Таъсир онан (дар як он) нақл мешавад. Аз нуқтаи назари назарияи таъсир аз масофае таври дигар буда ҳам наметавонад: ин ҳолатро ҷӣ тавр фаҳмидан мебояд, ки як зарраи барқаманд ҳамин гуна зарраи дигарро бевосита аз тариқи ҷойи ҳолӣ «ҳис» мекунад?

Аммо аз нигоҳи назарияи таъсири наздик гап ба қулӣ дигар ва бисо мураккаб аст. Кӯчиши зарраи барқаманд майдони электрикии назди онро тағйир медиҳад ва ин майдони электрикии тағйирёбанда сабабгори пайдоиши майдони магнитии тағйирёбанда (дар фазои атрофи он зарра) мегардад. Ва майдони магнитии тағйирёбанда, дар навбати худ майдони электрикии тағйирёбанда ҳосил мекунад ва ғ.

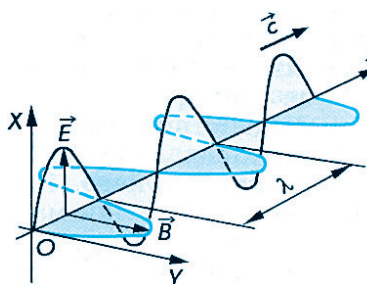
Ҳамин тариқ, ҳар як кӯчиши зарраи барқаманд (кӯчиши барқа) боиси якбора «шалаппас» кардани майдони электромагнитӣ мегардад, ки он гоҳи густариш ёфтани соҳаҳои торафт дуртари фазои атрофи он зарраро фаро мегирад ва дар «роҳи» рафти худ майдони то лаҳзаи ҷунбиши барқа вучуддоштаро сохтори дигар медиҳад. Ва дар охир ин «шалаппас» то ба барқаи дуҷум мерасад, ки маҳз ҳамин боиси тағйир ёфтани қувваи ба барқа таъсироваранда мегардад. Аммо ин на дар лаҳзаи кӯчиши барқаи аввал рӯй медиҳад. Густариши изтиробии электромагнитӣ (ки механизми онро Максвелл дарк кардааст) бо суръати ниҳойӣ рӯй медиҳад (бо вучуде ки ин суръат хеле зиёд аст). Ҳамин аст он ҳосияти асосии майдони электромагнитӣ, ки ҳама гуна шакку шубҳаи алоқаманд бо воқеияти онро аз миён мебардорад.

Максвелл ба тарзи соф риёзӣ (математикӣ) нишон дод, ки суръати густариши изтиробии электромагнитӣ баробари суръати вакуумии рӯшноӣ аст.

Мавҷи электромагнитӣ. Тасаввур кунед, ки барқа (яъне зарраи барқаманд) аз нуқтае ба нуқтаи дигар на умуман кӯчидааст, балки ба рафти ягон хатти рост ба ларзиш (ба ларзиши баландбасомад) дароварда шудааст – мисли бори сари фанар (пуржин), вале назар ба он хеле тез ҳаракат мекунад. Он гоҳ майдони электрикӣ

дар наздикии бевоситаи барқа ба таври даврӣ тағйир меёбад, яъне меларзад. Яқин аст, ки даври ин тағйирот ба даври ларзиши барқа баробар меояд. Майдони электрикии тағйирёбанда майдони давритағйирёбандаи магнитӣ ҳосил мекунад – ин бошад, дар навбати худ, сабаб мешавад, ки майдони электрикии тағйирёбанда акнун дар масофаҳои дуртар аз барқа ба вуҷуд ояд ва ғ.

Мо ин ҷо чараёни мураккаби пайдоиши майдони электромагнитии зодаи барқаи ларзонро муоина намекунем, балки тавачҷуҳи шуморо, хонандаи азиз, танҳо ба натиҷаи ниҳой ҷалб мекунем.



Рас.65.

Дар фазои атрофи барқа маҷмӯи майдонҳои даврӣ тағйирёбандаи электрикӣ ва магнитии нисбат ба якдигар амудие ба вуҷуд меояд, ки он соҳаҳои торафт васеътари фазоро фаро мегирад. Дар рас.65 «сурати онӣ» (сурати якҷаҳзаина)-и ҳамин гуна маҷмӯи майдонҳо барои масофаҳои дур аз барқаи ларзон тасвир ёфтааст.

Дар ин маврид *мавҷи электромагнитӣ* ном мавҷе ба вуҷуд меояд, ки аз барқаи ларзон ба ҳама тараф паҳн мешавад.

Мавҷи электромагнитии дар рас.65 тасвиршуда монанди мавҷе нест, ки дар натиҷаи ғалаён (ё изтироб)-и ин ё он муҳит дар сатҳи об пайдо мешавад. Дар расм векторҳои E ва B барои лаҳзаи муайяни вақт ва нуқтаҳои гуногуни дар рӯи тири OZ хобидаи фазо (бо масшоби муайян) тасвир ёфтаанд. Ин ҷо ҳам, чунонки барои мавҷҳои рӯи об буд, муҳит ҳеҷ гуна хамидагӣ ё дунгӣ надорад, яъне ҳаму нӯк доштани ҷи мавҷҳои рӯи об ва ҷи мавҷҳои электромагнитӣ аз табиати худи онҳост¹.

Дар ҳар нуқтаи фазо майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ бо мурури замон ба таври даврӣ тағйир меёбанд. Ҳар қадре ки нуқта аз барқа дуртар бошад, ларзиши майдонҳо то ба он ҳамон қадр дертар мерасад. Пас, ларзишҳо дар масофаҳои гуногун (аз барқа) фази гуногун доранд.

Векторҳои E ва B дар ҳама гуна нуқтаҳои фазо ҳамон гуна ларзиш меҳӯранд; онҳо ҳамфазанд. Фосилаи байни наздиктарин

1. Иловаи мо (С. Қ.).

нуктаҳое, ки дар онҳо ларзишҳо ҳамфаз мебошанд, дарозии мавҷ λ -ро ифода мекунад. Барои мавриди дар рас.65 тасвируда метавон гуфт, ки векторҳои E ва B дар фазо бо даври λ тағйир меёбанд.

Векторҳои шиддати майдони электрикӣ ва индуксияи майдони магнитӣ нисбат ба самти густариши мавҷ ҳамеша амудона (перпендикуларан) равонаанд. *Мавҷи электромагнитӣ мавҷи арзӣ мебошад.*

Ҳамин тариқ, векторҳои E ва B дар мавҷи электромагнитӣ ҳам нисбат ба якдигар самти амудӣ доранд ҳам нисбат ба самти густариши мавҷ. Агар пармачаи ростпечро аз вектори E сӯйи вектори B тоб диҳем, пешрафти он бо вектори суръати мавҷ с ҳамсамт меояд (ниг. рас.65).

Афканиши мавҷҳои электромагнитӣ. Мавҷҳои электромагнитӣ аз ларзиши барқа ба вучуд меоянд. Ин ҷо он чиз муҳим аст, ки суръати ҳаракати ин гуна барқаҳо бо мурури замон тағйир менамояд, яъне онҳо бо шитоб ҳаракат мекунанд. *Буди шитоб шартӣ асосии афканда шудани мавҷҳои электромагнитӣ аст.* Майдони электромагнитӣ на танҳо ҳангоми ларзидани барқа, балки инчунин дар ҳар гуна тағйироти тези он (барқа) низ ба вучуд меояд (афканда мешавад) ва, зимнан, ҳар қадре ки шитоби барқа зиёд бошад, шиддати мавҷи хоричгарданда ҳамон қадр бештар хоҳад буд. Хуб, инро чӣ тавр тасаввур кардан мумкин аст? Гап дар он аст, ки ҳангоми бо суръати доимӣ ҳаракат кардани зарраи барқаманд майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ зодаи он монанди қабои лаппишхӯранда ҳамроҳи зарра будан мегиранд, аз он ҷаҳат намешаванд. Аммо дар сурати бо шитоб ҳаракат кардани зарра як хосияти ба худ хоси майдони электромагнитӣ – хосияти инерсиадорӣ – хосияти шастдорӣ майдони электромагнитӣ зухур мекунад. Майдон аз зарра «канда» мешавад ва аз ҳамин лаҳза сар карда дар шакли мавҷҳои электромагнитӣ вучуд доштан мегирад.

Энергияи майдони электромагнитӣ (дар ин ҷо он лаҳзаи вақт) ҳамоҳангона бо тағйироти векторҳои E ва B ба таври даврӣ тағйир меёбад. Мавҷи давон бо худ ин ҷо он миқдор энергия мебарад ва ба самти густариши мавҷ бо суръати с ҳаракат мекунад. Ба тӯлаи ин мавҷи электромагнитӣ бо мурури замон дар ҳар гуна соҳаи фазо ба таври даврӣ тағйир ёфта метавонад.

Максвелл ба ин ки мавҷҳои электромагнитӣ вучуд доранд, шакке надошт. Вале танҳо пас аз даҳ соли вафоти ӯ ин мавҷҳо дар таҷриба ҳосил карда шудаанд. Ин корро Ҳерц анҷом дод.



Мавҷҳои электромагнитӣ дар он замина ба вучуд меоянд, ки майдони электрики тағйирёбанда майдони магнитии тағйирёбанда ҳосил карда метавонад. Ва ин майдони магнитии тағйирёбанда, дар навбати худ, майдони электрики тағйирёбанда ба вучуд меоварад.



- 1. Векторҳои E , B ва s дар мавҷи электромагнитӣ нисбат ба якдигар чӣ гуна самт доранд?*
- 2. Зарраи барқаманд бояд чӣ тавр ҳаракат кунад, ки мавҷи электромагнитӣ афканда тавонад?*

§29. Кашфи таҷрибавии мавҷҳои электромагнитӣ

Акнун биед бинем, ки мавҷҳои электромагнитӣ нахустин бор чӣ тавр ҳосил карда шудаанд. Чараёни пайдоиши ин мавҷҳо мураккаб аст. Бинобар ин мо онро танҳо ба таври умумӣ муоина мекунем.

Мавҷи электромагнитӣ дар заминаи робитаи мутақобили майдонҳои электрикӣ ва магнитии тағйирёбанда ба вучуд меоянд. Тағйироти яке аз ин майдонҳо боиси пайдоиши майдони дигар мегардад. Чунонки дар §5 гуфтем, ҳар қадре ки индуксияи магнитӣ (яъне илқои магнитӣ) бо мурури замон зудтар тағйир ёбад, шиддати майдони электрикии ҳосилшаванда ҳамон қадр зиёд хоҳад буд ва, дар навбати худ, ҳар қадре ки шиддати майдони электрикӣ зудтар тағйир пазирада, индуксияи магнитӣ ҳамон қадр зиёдтар хоҳад буд. Пас, *барои ба вучуд овардани мавҷҳои электромагнитии шадид ларзишҳои электромагнитии ба қадри кофӣ баландбасомад ҳосил кардан зарур аст. Маҳз ба ҳамин шарт шиддати майдони электрикӣ E ва индуксияи майдони магнитӣ B зуд тағйир ёфта метавонанд.*

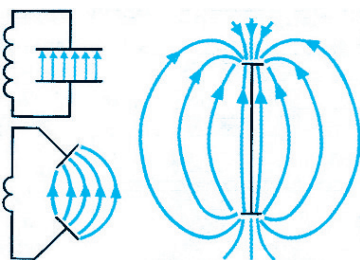
Ларзишҳои басомадашон назар ба басомади чараёни саноатӣ (50 Ҳз) хеле зиёдро ба воситаи контури ларзишҳо ба вучуд овардан мумкин аст. Ҳар қадре ки индуктивият ва гунҷоиши контур кам бошанд, басомади ларзиш ҳамон қадр зиёдтар хоҳад буд:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Контури кушодаи ларзишзо. Аммо баландбасомад будани ларзишҳои электромагнитӣ тавлиди бошиддати мавҷҳои электромагнитиро ҳанӯз таъмин намекунад. Дар контури муқаррарӣ, он ки дар рас.25 тасвир ёфтааст (онро *контури баста* номидан мумкин аст) майдони магнитӣ қариб битамом дар даруни ғалтак фароҳам омадаасту майдони электрикӣ – дар даруни конденсатор. Дур аз контур майдони электромагнитӣ амалан вучуд надорад. Ин гуна контур чун манбаи мавҷҳои электромагнитӣ басте сустан аст.

Х. Ҳерц барои ба вучуд овардани мавҷҳои электромагнитӣ дастгоҳи одие – контури кушодаи ларзишзо, контури бозро истифода кард. Ин контурро ҳоло *вibratorи Ҳерц* мегӯянд.

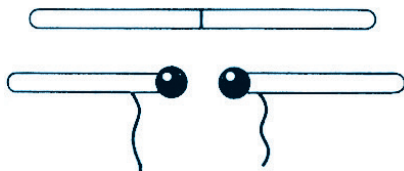
Агар оҳиста-оҳиста рӯяҳои конденсатори контури бозро аз ҳам дур ва масоҳати онҳоро кам кардан гирему дар айни ҳол адади печҳои ғалтакро низ кам кунем, контур боз шуда охири охирон ба як сими рост табдил меёбад (рас.66). Ҳамин аст контури кушодаи ларзишзо. Гунҷоиш ва индуктивият (яъне илқо)-и vibratorи Ҳерц кам аст. Аз ин рӯ басомади ларзиши он бағоят зиёд мебошад.



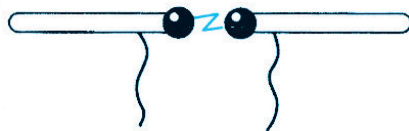
Рас.66.

Дар контури боз барқҳо дар нӯғҳои ноқил ҷамъ буда наметавонанд, балки дар тамоми ноқил тақсим мешаванд. Ҷараён дар ҳамон як лаҳзаи вақт дар ҳама буришҳои ноқил як сӯ раван мебошад. Аммо қувваи он дар буришҳои гуногуни ноқил якхела нест. Дар нӯғҳои ноқил ҷараён сифрӣ асту дар мобайни он қимати зиёдтарин дорад. (Хотиррасон бод, ки дар занҷирҳои муқаррарии ҷараёни тағйирёбанда қувваи ҷараён дар ҳамон як лаҳза дар ҳама буришҳои ноқил якхела аст). Майдони электромагнитӣ тамоми фазои атрофи контурро фаро мегирад.

Барои дар ин гуна контур ангехтани ларзиш дар замони Ҳерц миёни симро тавре мебуриданд, ки фосилаи нисбатан танги ҳавой ё худ фосилаи шарархез (фосилаи шарарзо) пайдо шавад (рас.67); баъд ҳар ду қисми ноқилро бо қимати хеле баланди фарқи потенциалҳо барқаманд (электрон) мекарданд. Вақте ки фарқи потенциалҳо аз қимати муайян зиёд мешуд, дар фосилаи шарархез шарора ба вучуд меомад (ё чунонки мегӯянд, аз фосила шарар



Рас.67.



Рас.68.

мехест). Он гоҳ занҷир сарбаст мешуд (рас.68) ва дар контури кушода ларзиш ба вучуд меомад.

Ларзишҳои контурӣ хомӯшшавандаанд ва ин ду сабаб дорад: аввал ин ки контур муқовимати ғайбдор дорад; дуюм ин ки вибратор мавҷи электромагнитӣ меафканад – дар натиҷа энергияи он талаф меёбад. Баъди қатъ гардидани ларзишҳо ҳарду ноқил то дами дар фосилаи шарархез ба вучуд омадани шарораи нав аз манбаъ барқа (бори электрикӣ) мегиранд ва ин падида аз сари нав такрор мешавад.

Дар замони ҳозира барои дар контури кушодаи ларзишзо ҳосил кардани ларзишҳои хомӯшнашаванда онро ба таври индуктивӣ бо контури ларзишзои генератори лампагӣ ё генератори транзисторӣ ё генераторҳои навъи дигар алоқаманд мегардонанд (яъне илқопайваст мекунанд).

Таҷрибаҳои Хертз. Хертз мавҷҳои электромагнитиро дар натиҷаи дар вибратор бо ёрии манбаи шиддати баланд ангехтани силсилаи импульси чараёни зудтағйирёбанда ба вучуд оварда буд. Ларзиши барқаҳои электрикӣ дар вибратор боиси пайдоиши мавҷи электромагнитӣ мегардад. Аммо дар вибратор на як зарраи барқаманд, балки адади бағоят зиёди электронҳои ҳамохангона ҳаракаткунанда ларзиш меҳӯранд. Дар мавҷи электромагнитӣ векторҳои E ва B нисбат ба якдигар самти амудӣ доранд ва зимнан вектори E дар ҳамвории аз вибратор гузаранда мехобаду вектори B нисбат ба ин ҳамворӣ амудӣ (перпендикуляр) аст. Шиддати афканиши мавҷҳо дар самти нисбат ба меҳвари вибратор амудӣ зиёди зиёд мебошад. Ба қадди меҳвари вибратор ҳеч гуна мавҷ афканда намешавад.

Хертз мавҷҳои электромагнитиро бо ёрии вибратори қабул (резонатор), ки ба вибратори фиристанда монанд буд, қайд мекард. Бо таъсири майдони электрикӣ тағйирёбандаи мавҷ дар вибратори қабул ларзиши чараён рӯй медиҳад. Дар сурати бо басомади ларзиши мавҷи электромагнитӣ баробар омадани басомади ху-



Ҳайнрих Ҳертз (1857-1894) – олими барҷастаи олмонӣ, ки мавҷудияти мавҷҳои электромагнитиро бори нахуст (с.1886) ба таври таҷрибавӣ исбот кардааст. Ӯ мавҷҳои электромагнитиро таҳқиқ карда ошкор сохт, ки ҳосиятҳои асосии ин мавҷҳо ва мавҷҳои рӯшноӣ айнан якхела ҳастанд. Таҷрибаҳои Ҳертз дуруст будани назарияи майдони электромагнитӣ ва, аз ҷумла, назарияи электромагнитии рӯшноиро тасдиқ кардаанд. Ҳертз аввалин касе буд, ки муодилаҳои Максвелро дар ҳамон шакле, ки ҳозир истифода мешаванд, навиштааст. Соли 1886 ӯ падидаи фотоэлектрикӣ (фотоэффект)-ро мушоҳида кардааст. Мушоҳидаҳои Ҳертз аввалин мушоҳидаи падидаи номбурда буданд.

сусии вибратори қабул резонанс мушоҳида мешавад. Ларзишҳои резонаторӣ дар сурати бо вибратори нурафкан мувозӣ (параллел) будани резонатор бо домана (амплитуда)-и зиёд рӯй медиҳанд. Ҳертз ин ларзишҳоро аз мушоҳидаи шарораҳое дарёфт, ки дар фосилаи хурди байни ноқилҳои вибратори қабул пайдо мешуданд.

Ҳертз мавҷҳои электромагнитиро на танҳо ба вучуд овард, балки боз ошкор сохт, ки рафтори онҳо ба рафтори мавҷҳои дигар монандӣ дорад ва, аз ҷумла ӯ ошкор сохт, ки мавҷҳои электромагнитӣ аз варақаҳои филизӣ инъикос мешаванд, интерференс мешаванд ва ғ. Дар сурати бо мавҷи аз вибратор оянда замшудани мавҷи аз варақаи филизӣ инъикосшуда максимумҳо ва минимумҳои ларзиш ба вучуд меоянд. Резонатор (вибратори қабул)-ро ин ё он сӯ кӯчонда, максимумҳои мавҷи истода ва аз рӯйи он дарозии мавҷро ёфтани мумкин аст.

Суръати мавҷҳои электромагнитӣ. Дар таҷрибаҳои Ҳертз дарозии мавҷ чанд даҳяки метр буд. Ҳертз басомади хусусии ларзиши электромагнитии вибраторро ҳисоб карда, аз рӯйи формулаи $v = \lambda \nu$ суръати мавҷи электромагнитиро ёфт. Ин суръат (с) тақрибан 300.000 км/с баромад.

Таҷрибаҳои Ҳертз пешгӯиҳои Максвелро ба хубӣ тасдиқ кардаанд.



Барои ба вучуд овардани мавҷҳои электромагнитӣ дар контури кушодаи ларзишзо ларзишҳои электромагнитии баландбасомад ба вучуд овардан мебояд.



1. *Сабаб чист, ки контури муқаррариш ларзишзо (контури сарбаст) барои хориҷ гардондани мавҷҳои электромагнитӣ ва қайд кардани онҳо истифода намешавад?*
2. *Суръати густариш (пахншавӣ)-и таъсири мутақобили электромагнитӣ чӣ қадр аст?*
3. *Вибраторҳои фиристанда ва қабулқунанда нисбат ба якдигар мавқеъи амудӣ доранд. Оё дар ин маврид дар вибратори қабул ларзиш ба вучуд меояд?*

§30. Зичии сели тобиши электромагнитӣ

Тобиши электромагнитӣ ҳомили ин ё он миқдори энергия мебошад. Мушаххасоти энергия тобишро ба се муҳиманд, зеро дараҷаи ба асбобҳои сабтқунанда таъсир овардани манбаи тобишро «таъйин» мекунанд. Мо ин ҷо танҳо бо яке аз ин гуна мушаххасаи тобиши электромагнитӣ ошно мешавем.

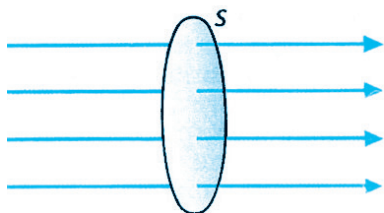
Зичии сели тобиш. Сатҳеро муоина мекунем, ки масоҳати S дорад ва аз тариқи он тобиши электромагнитӣ ин ё он миқдори энергияро мегузаронад. Ин гуна масоҳат дар рас.69 тасвир шудааст. Ин ҷо хатҳои рост самти густариши мавҷҳои электромагнитиро ифода мекунанд. Хатҳои мазкур шуоъҳои он, ки амудан ба сатҳ мезананд, ба сатҳе, ки дар ҳама нуктаҳои он ларзишро фази якхела доранд. Ин гуна сатҳро сатҳҳои мавҷӣ мегӯянд.

Зичии сели тобиши электромагнитӣ I гуфта нисбати энергияи электромагнитии ΔW -и дар муддати Δt аз сатҳи ба рафти шуоъҳо амудан воқеъшудаи S гузарандаро бар ҳосили зарби масоҳати S ва муддати Δt мефаҳманд, яъне

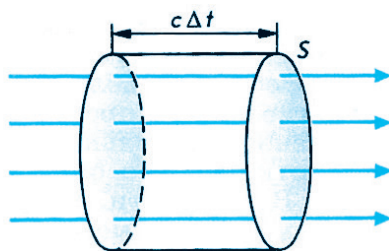
$$I = \frac{\Delta W}{S \cdot \Delta t}. \quad (4.1).$$

Ин бузургӣ аслан тавони тобиши электромагнитӣ ё худ энергияе мебошад, ки дар воҳиди вақт аз тариқи воҳиди масоҳат мегузарад. Зичии сели тобишро дар Манзумаи байналмилалӣ воҳидҳои (SI) бо ватт бар метри мураббаъ ($Вт/м^2$) ифода мекунанд. Ин бузургиро *шиддати мавҷ (интенсивияти мавҷ)* низ меноманд.

Бузургии I -ро ба воситаи зичии энергияи электромагнитӣ ва суръати густариши он с ифода мекунем. Сатҳи S -ро амудан ба рафти шуоъҳо ҷой дода, дар он цилиндре месозем бо мабдаи



Рас.69.



Рас.70.

(ташкилдиҳанда)-и $c \cdot \Delta t$ (масоҳати S -ро ба сифати асоси цилиндр интиҳоб мекунем) (рас.70). Ҳаҷми цилиндр баробари $\Delta V = Sc\Delta t$ аст. Энергияи майдони электромагнитӣ дар даруни цилиндр ба ҳосили зарби зичии энергия ва ҳаҷм баробар мебошад: $\Delta W = ws\Delta t \cdot S$.

Ҳамаи ин энергия дар муддати Δt аз асоси рости цилиндр мегузарад. Бинобар ин аз (4.1) ин гуна ифода ҳосил мешавад:

$$I = \frac{wc\Delta t S}{S \cdot \Delta t} = wc, \quad (4.2)$$

яъне зичии сели тобиш ба ҳосили зарби зичии энергияи электромагнитӣ w ва суръати гузариши он баробар будааст.

Акнун вобастагии сели тобишро ба масофаи то манбаъ муқаррар мекунем. Барои ин боз як мафҳуми дигарро доништан мебояд.

Манбаи нуқтагии тобиш. Манбаъҳои афканандаи тобиши электромагнитӣ бағоят гуногун буда метавонанд. Содатарини онҳо *манбаи нуқтагӣ* (нуқтаманбаъ) мебошад.

Манбаи тобишро дар сурате манбаи нуқтагӣ ё нуқтаманбаъ мегӯянд, ки андозаҳои он назар ба масофаи муоина шудани таъсираш хеле кӯтоҳ бошанд. Дар баробари ин, фарз карда мешавад, ки ин гуна манбаъ мавҷҳои электромагнитиро ба ҳама тараф бо шиддати якхела меафканад¹. Манбаи нуқтагӣ ҳам мисли нуқтаи моддӣ (нуқтаи материалӣ), гази ҳаёли (гази идеалӣ) ва монанди инҳо як навъ муболиға (идеализатсия) мебошад. Ин гуна моделҳо дар физика бисёр истифода мешаванд.

Ситораҳо рӯшноӣ (мавҷи электромагнитӣ) меафкананд ва он рӯшноӣ то ба мо низ меояд. Азбаски масофаи маскани мо то

1. Вибратори Ҳерц ба сифати ин гуна манбаъ хидмат карда наметавонад, зеро энергияи афканандаи он дар ҳар самт (масалан, нисбат ба меҳвари вибратор) ҳар хел аст.

ситораҳо назар ба андозаҳои ситораҳо ҳазорҳо бор зиёд аст, пас, метавон гуфт, ки ситораҳо беҳтарин модели манбаи нуқтагианд.

Вобастагии зичии сели тобиш ба масофаи то манбаъ. Энергияе, ки онро мавҷҳои электромагнитӣ бо худ доранд, ба қадри аз манбаъ дур шудани тобиш дар масоҳати торафт бештар тақсим мешавад (шуоъҳо тит мешаванд). Бинобар ин энергияе, ки онро шуоъҳо аз тариқи масоҳати воҳидӣ дар воҳиди вақт интиқол медиҳанд (яъне зичии сели тобиш), ба қадри аз манбаъ дур шудан мекоҳад.

Вобастагии зичии сели тобишро ба масофаи то манбаъ омӯхтан дар сурате осонтар аст, ки манбаъ дар маркази кӯра (сфера)-и радиусаш R ҷой дода шавад. Масоҳати сатҳи кӯра $S=4\pi R^2$ аст. Бигзор, манбаъ ба ҳама тарафҳо дар муддати Δt ба қадри Δw энергия афканад. Он гоҳ чунин навиштан мумкин аст:

$$I = \frac{\Delta w}{S\Delta t} = \frac{\Delta w}{4\pi\Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}, \quad (4.3)$$

яъне зичии сели тобиши афкандаи манбаи нуқтагӣ чаппа мутаносибан ба квадрати масофаи то манбаъ кам мешавад¹.

Вобастагии зичии сели тобиш ба басомад. Мавҷҳои электромагнитӣ дар натиҷаи ҳаракати шитобдор қардани зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) афканда мешаванд (ниг. §29). Шиддати майдони электрикӣ ва индуксия (яъне илқо)-и магнитии мавҷи электромагнитӣ ба шитоби зарраи нурафкан а мутаносибанд. Шитоб дар ларзишҳои мавзун (ларзишҳои ҳармоникӣ) ба квадрати басомад мутаносиб мебошад. Бинобар ин шиддати майдони электрикӣ ва индуксияи магнитӣ ба квадрати басомад мутаносибанд:

$$E \sim a \sim \omega^2, \quad B \sim a \sim \omega^2. \quad (4.4)$$

Зичии энергияи майдони электрикӣ ба квадрати шиддати майдон мутаносиб асту (ниг. «Физика, 10», §51) энергияи майдони магнитӣ – ба квадрати индуксияи магнитӣ. Зичии сели энергияи майдони электромагнитӣ ба ҷамъи зичиҳои энергияҳои майдонҳои электрикиву магнитӣ баробар мебошад. Бинобар ин зичии сели нурҳо I -ро бар асоси (4.2) ин тавр ифода қардан мумкин аст:

$$I \sim w \sim (E_2 + B_2). \quad (4.5)$$

1. Зичии сели тобиши вибратори Хертз низ дар ин ё он самт ба қадри афзудани масофа айнан ҳамин тавр кам мешавад.

Азбаски мувофиқи (4.4) $E \sim \omega^2$ ва $B \sim \omega^2$ мебошанд, пас,
 $I \sim \omega^2$, (4.6)

яъне зичии сели тобиш ба дараҷаи чаҳоруми басомад мутаносиб аст. Ба иборати дигар, дар сурати ду бор зиёд шудани басомади ларзиши зарраҳои барқаманд энергияи афкандашаванда 16 бор меафзояд! Ҳамин аст, ки дар мавҷрабо (антен)-и радио ларзишҳои баландбасомад – аз даҳҳо ҳазор то даҳҳо миллион Ҳз (ҳертз) ангефта мешавад. Ҷараёнҳои тағйирёбандаи саноатӣ (50 Ҳз) амалан нур намеафкананд.



Мавҷҳои электромагнитӣ ҳомили энергия мебошанд (энергияро нақл мекунанд). Зичии сели тобиш ё худ шиддати тобиш ба ҳосили зарби зичии энергия ва суръати гузариши он баробар аст. Шиддати мавҷҳо ба дараҷаи чаҳоруми басомад мутаносиб мебошад ва ҳамзамон ба ин мутаносибан ба дараҷаи дуҷуми масофаи то манбаъ кам мешавад.



1. *Зичии сели нури электромагнитӣ чӣ гуна бузургист?*
2. *Чӣ гуна манбаи нурҳоро манбаи нуқтагӣ (ё худ нуқтаманбаъ) мегӯянд?*
3. *Сабаб чист, ки ҷараёни тағйирёбандаи шабакаи равшанӣ амалан нур намеафканад (тобиши электромагнитӣ надорад)?*

§31. Ихтирои радио (А.С.Попов, 7 майи 1895)

Таҷрибаҳои Ҳертз, ки шарҳи онҳо с.1888 нашр шуд, тавачҷуҳи физикдонони тамоми ҷаҳонро ба худ ҷалб кард. Бисёр олимони ба ҷустуҷӯи роҳҳои такмили дастгоҳҳои фиристанда ва қабулкунандаи мавҷҳои электромагнитӣ пардохтанд.

Дар Русия омӯзиши мавҷҳои электромагнитиро яке аз аввалин шуда омӯзгори мактаби афсарони Кронштадт А.С. Попов оғоз кард. Ӯ таҳқиқотро аз такрори таҷрибаҳои Ҳертз сар кард ва баъдтар усули боэътимодтару ҳассостари сабти мавҷҳои электромагнитиро ба майдони истифода овард.

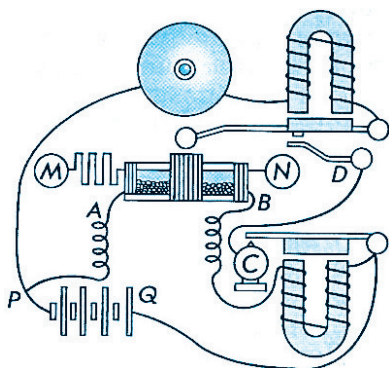
Попов ба сифати ҷузви бевосита «ҳискунандаи» мавҷҳои электромагнитӣ кохерер ном найчаи шишагинеро истифода кард,



Попов Александр Степанович (1859 – 1906) физик-дони машҳури рус, ихтироъкори радио. Попов, ки ба имконияти ба воситаи мавҷҳои электромагнитӣ, яъне ба имкони бе сим алоқа кардан бовар дошт, коҳерер ном чузви хассосеро истифода карда, тавонист, ки аввалин радиоро бисозад.

Ҳангоми бо ёрии асбоби ихтироъкардаи Попов муқаррар кардани радиоалоқа ошкор гардид, ки радио мавҷҳо аз киштиҳо инъикос мешаванд.

ки он ду электрод дошт ва дар дарунаш оҳанреза (суниш) рехта шуда буд. Кори ин асбоб бар таъсири тахлия (пардаҳт, разряд)-и электрикӣ ба хокаи филизӣ (хокаи металлӣ) асос ёфтааст. Дар шароити муқаррарӣ коҳерер муқовимати зиёд дорад, зеро расиши байни зарраҳои хока хуб нест. Мавҷи электромагнитӣ дар коҳерер чараёни тағйирёбандаи баландбасомад ба вучуд меоварад. Дар байни оҳанрезаҳо шарорачаҳои хурд-хурде пайдо мешаванд – дар натиҷа онҳо бо якдигар мечаспанд, ки ин муқовимати коҳерерро якбора (дар таҷрибаҳои Попов аз 100 000 Ом то 1000-500 Ом, яъне 100-200 бор) кам мекунад. Барои ба ҳолати аввала (яъне ба ҳолати зиёдмуқовимат) бозовардани асбоб онро такон додан кофӣ буд. Ба мақсади худкор шудани асбоби қабули мавҷҳо, ки алоқаи бесимро имконпазир мегардонад, Попов баъди қабули сигнал барои такон додани коҳерер зангӯлаи электрикиро ба кор бурд. Занҷири зангӯла дар лаҳзаи ворид гаштани мавҷи электромагнитӣ ба воситаи релеи хассосе сарбаст мешуд. Кори



Рас.71.

зангӯла дар лаҳзаи хотима ёфтани амали қабули мавҷ қатъ мегардид, зеро болғачаи зангӯла на танҳо кулоҳаки он, балки худ коҳерерро низ мекубид. Он гоҳ коҳерер барои қабули мавҷи нав тайёр мешуд. Тарҳи содашудаи дастгоҳи қабул дар рас. 71 тасвир ёфтааст.

Попов барои афзудани хассосияти дастгоҳи худ яке аз нӯғҳои коҳерерро замин карду нӯғи дигари онро ба порчаи сими баландпояе

пайваст. Ин аввалин мавҷрабо (антен)-и қабул барои алоқаи бе-сим буд. Замин кардани асбоб сатҳи ҷараёнгузаронандаи Замиро ба қисми контури кушодаи ларзиш табдил медиҳад, ки ин дурии қабули мавҷоро меафзуд.

Радиоҳои ҳозира ба дастгоҳи Попов монандие надоранд, аммо сохти кори онҳо аслан як аст. Радиои имрӯза низ мавҷрабое дорад, ки дар он мавҷи воридшаванда ларзишҳои электрикии бисёр суст ба вучуд меоварад. Ин ҷо низ мисли дастгоҳи Попов энергияи ларзишҳо барои бевосита қабул кардани онҳо корбаст намешавад. Сигналҳои суст танҳо барои танзими кори манбаҳои энергияи ҷузыиёти дигари занҷири электрикии радио истифода мешаванд. Дар аксари радиодастгоҳҳои замони мо ин гуна тарзи идора кардани кори асбобҳо ба воситаи асбобҳои нимноқилӣ сураат мегирад.

7 майи с.1895 дар маҷлиси Ҷамъияти физикдонону кимиёдонони Рус Попов кори асбоби ихтироъкардаи худро, ки воқеан аввалин радио буд, намоиш дод. Рӯзи 7 май рӯзи ихтирои радиост ва ҳар сол ҷашн гирифта мешавад.

Попов дастгоҳҳои қабулқунандаву фиристандаро суботкорона такмил меод. Ӯ дар пеши худ вазифа гузошт, ки асбоби ихтироъкардаашро барои ба масофаҳои дур нақл кардани сигналҳои электромагнитӣ созгор гардонад.

Радиоалоқа аввал барои масофаи 250 м метр воқеӣ гардонда шуд. Попов дере нагузашта дурии алоқаро то ба 600 м расонд. Баъд, с.1899 дар манёврҳои Флоти баҳри Сиёҳ ӯ дар масофаи 20 км радиоалоқа муқаррар кард. Соли 1901 бошад, дурии алоқаи радиой ба 150 км расид. Дар ин дастовард роли муҳимро сохти нави дастгоҳи фиристандаи мавҷ бозид. Фосилаи шарарҳез дар контури ларзише интиҳоб шуд, ки он ба антени мавҷферистанда робитаи индуктивӣ (яъне илқо-робита) дошт ва бо он дар резонанс буд. Тарзҳои сабти сигнал низ моҳиятан тағйир дода шуда буданд. Мувозан (параллелан) бо зангула дастгоҳи телеграфие пайваста буданд, ки сигналҳоро ба таври автоматӣ сабт мекард. Соли 1899 имкони бо ёрии телефон қабул кардани сигналҳо ошкор гашт. Аввали с.1900 радиоалоқа дар халиҷи Фин барои наҷот додани ғарқшавандагон бомуваффақият истифода шуд. Ҳамон вақт бо иштироки А.С.Попов татбиқи радиоалоқа дар қушунҳои Русия, аз ҷумла дар амалиёти неруҳои баҳрӣ оғоз ёфт.

Дар хориҷа ба кори такмили ин гуна асбобҳо ширкати таъсисдодаи инженерии италийӣ Г.Марконӣ машғул гашт. Таҷрибаҳои

сершумор имкон дод, ки аз фарози укёнуси Атлас (Атлантик) алокаи радиотелеграфӣ муқаррар карда шавад.

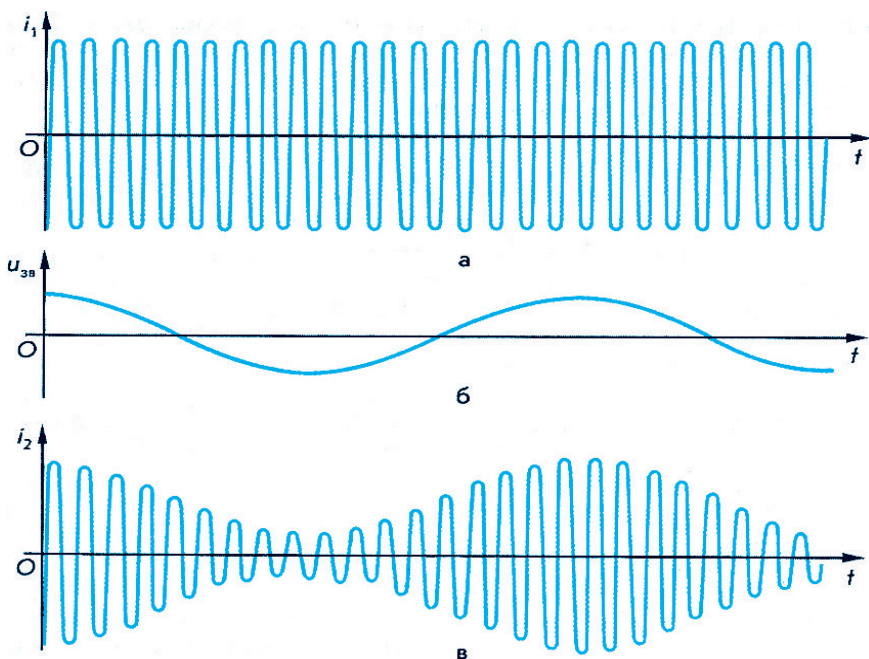
§32. Қоидаҳои бунлодӣ (принсипҳо)-и радиоалоқа

Инҳоанд қоидаҳои бунлодии радиоалоқа: чараёни тағйирёбандаи баландбасомаде, ки дар антени фиристанда ба вуҷуд меояд, дар фазои атроф майдони электромагнитии зудтағйирёбандае ҳосил мекунад, ки он дар шакли мавҷҳои электромагнитӣ паҳн мегардад. Ин мавҷҳо ба мавҷрабо (антени қабул) расида, дар он чараёни тағйирёбанда ҳосил мекунанд бо басомади баробар ба басомади кориш дастгоҳи фиристанда.

Дар тараққиёти радиоалоқа муҳимтарин марҳала бунёди генератори ларзишҳои электромагнитии хомӯшнашаванда буд (с. 1913). Дар баробари нақли сигналҳои телеграфии иборат аз импульсҳои кӯтоҳ ва импульсҳои нисбат ба онҳо тӯлонитар боз алокаи радиотелефонии боэътимод ва хушсифат низ имконпазир гардид. Ин имкон фароҳам овард, ки тавассути мавҷҳои электромагнитӣ сухан ва мусиқӣ низ нақл карда шавад.

Алокаи радиотелефонӣ. Дар алокаи радиотелефонӣ ларзишҳои ҳаво (дар мавҷи садо ё худ мавҷҳои савтӣ) бо ёрии микрофон ба ларзишҳои электрикии ҳамонгунашакл табдил дода мешаванд. Чунин ба назар мерасид, ки агар ин ларзишхоро тақвият дода, ба антени фиристанда равона созем, дар он сурат ба воситаи мавҷҳои электромагнитӣ нутқ ва мусиқиро аз ҷойе ба ҷойе нақл кардан имконпазир мегардад. Вале ин тарзи интиқол (нақл)-и мавҷҳои радио қобили амалӣ шудан нест, зеро басомади ларзишҳои садо (ларзишҳои савтӣ) нисбатан паст аст ва мавҷҳои электромагнитии пастбасомад (яъне басомадҳои мутобиқи мавҷҳои садо) қариб тамоман хорич гашта наметавонанд.

Таҳмил (модулатсия). Барои амалӣ гардондани алокаи радиотелефонӣ ларзишҳои баландбасомадро истифода кардан мебоҷад. Ин гуна мавҷхоро антени фиристанда бо шиддати зиёд афканда метавонад. Ларзишҳои мавзун (ҳармоникӣ)-и баландбасомади хомӯшнашаванда ба воситаи генератор (чунончи, ба воситаи генератори транзисторӣ) ҳосил карда мешаванд. Барои нақл кардани садо ин ларзишхоро ба воситаи ларзишҳои электрикии пастбасомад (садобасомад) тағйир медиҳанд ё, чунонки мегӯянд, *таҳмил*

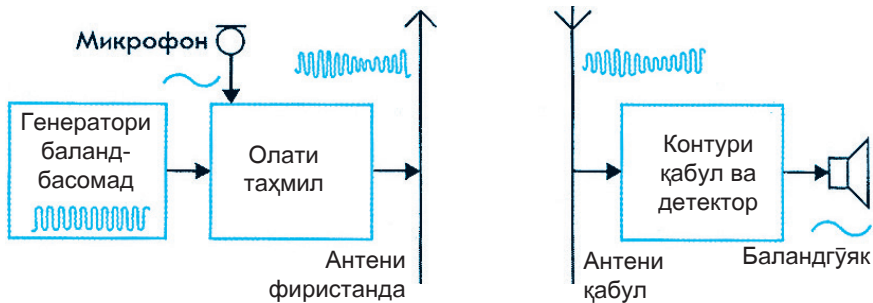


Рас.72.

(модулатсия) мекунанд. Масалан, доманаи ларзишҳои баландбасомадро бо ёрии мавҷҳои садо тағйир додан мумкин аст. Ин усули тағйир додани *домана* (амплитуд)-и ларзишҳоро *доманатаҳмил* (доманамодулатсия) мегӯянд. Дар рас. 72 се нигора (график) тасвир ёфтааст: *а* – нигораи ларзишҳои баландбасомад, ки *басомади ҳомил* ном гирифтааст; *б* – нигораи ларзишҳои садобасомад, яъне ларзишҳои таҳмилкунанда ва *в* – нигораи ларзишҳое, ки доманашон таҳмил шудааст (яъне ларзишҳои қаддан таҳмилшуда). Бе таҳмили ларзишҳо ҳатто дар мусоидтарин маврид танҳо ҳамин қадр гуфтан мумкин аст, ки дастгоҳи радио кор мекунад ё не. Бе таҳмил на намоиши телевизионӣ буда метавонаду на нақли телефонӣ ва на ирсоли телеграфӣ.

Таҳмили ларзишҳо бисёр оҳиста чараён мегирад. Ин ҳамон гуна тағйиротест дар дастгоҳи офарандаи ларзишҳои баландбасомад, ки дар муддати рӯй додани он тағйирот олати офарандаи ларзишҳо то лаҳзае ба дараҷаи намоён тағйир ёфтани доманаи ларзишҳо ба микдори хеле зиёд ларзиш хӯрда метавонад.

Детектиронииш. Дар дастгоҳи қабули мавҷҳои радио ларзишҳои пастбасомад аз ларзишҳои баландбасомади таҳмилшуда



Рас.73.

чудо карда мешаванд. Ин гуна амали табдил додани сигналро **детектирониш** мегӯянд.

Сигнали дар натиҷаи детектирониш ҳосилшуда мансуб ба ҳамон сигнали савтӣ аст, ки ба микрофони дастгоҳи фиристандаи мавҷ таъсир овардааст. Ларзишҳои пастбасомадро баъди тақвият додан ба ларзишҳои савтӣ (яъне ба овоз) табдил додан мумкин аст.



Қоидаҳои бунлодии радиоолоқа дар рас.73 (дар шакли блок-блок) тасвир ёфтааст.



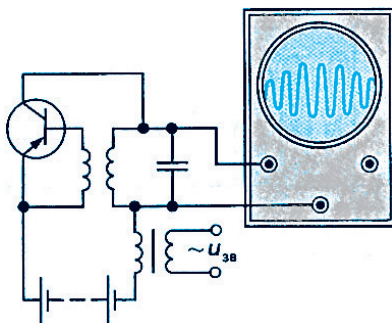
1. Таҳмил (модулатсия) кардани ларзишҳо чӣ зарурат дорад?
2. Детектирониши ларзишҳо чӣ маънӣ дорад?

§33. Мавҷҳо чӣ тавр таҳмил карда ва детектиронида мешаванд

Шумо акнун медонед, ки таҳмили мавҷҳо (модулатсия) ва детектирониши онҳо чистанд ва чӣ зарурат доранд. Ҳоло биёед бинем, ки ин фарояндҳоро чӣ тавр амалӣ гардондан мумкин аст.

Доманатаҳмил (модулатсияи амплитудӣ)-и ларзишҳои баландбасомад дар генератори ларзишҳои хомӯшнашаванда дар натиҷаи таъсири махсус воқеӣ гардонида мешавад. Аз ҷумла, волтажи офаридаи манбаъро дар контури ларзиш тағйир дода (ниг. § 22), домана ё худ амплитуди ларзишҳоро таҳмил кардан имконпазир аст. Ҳар қадаре ки волтаж дар контури генератор

зиёд бошад, дар муддати як давр аз манбаъ ба контур ҳамон қадар энергияи бештар ворид мегардад. Дар сурати паст шудани волтаж энергияи ба контур воридшаванда низ кам мешавад – ин боиси паст шудани доманаи ларзишҳои контурӣ мегардад. Агар волтажи нӯгҳои контурро бо басомаде тағйир диҳем, ки он назар ба басомади ларзишҳои зодаи генератор хеле кам бошад, он гоҳ тағйироти доманаи ин ларзишҳо ба тағйироти волтаж тақрибан мутаносиб меояд. Дар содатарин олати таҳмили доманай барои амалӣ гардондани доманатаҳмил паёпай бо манбаи волтажи доимӣ манбаи иловагии волтажи тағйирёбандаи пастбасомаде мепайванданд. Ба сифати ин гуна манбаъ, масалан печаки дуҷусти трансформаторро истифода кардан мумкин аст, ба шарте ки аз печаки якуми он ҷараёни савтибасомад ҷорӣ бошад (рас.74). Дар натиҷа доманаи ларзишҳо дар контури ларзишҳои генераторӣ ҳамоҳангона бо тағйироти волтажи транзистор тағйир меёбад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки ларзишҳои баландбасомадро бо сигнали пастбасомад доманатаҳмил кардан мумкин аст.

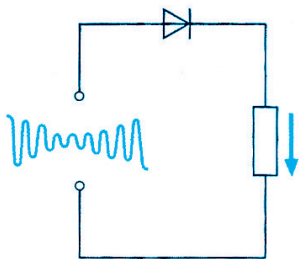


Рас.74.

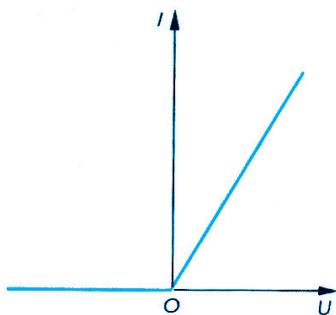
Густариши замонӣ (густариши вақтона)-и ларзишҳои таҳмилшударо дар ойинаи осиллограф бевосита мушоҳида кардан мумкин аст, ба шарте ки ба он аз худи контури ларзиш волтаж дода бошем.

Дар баробари доманатаҳмил дар баъзе мавридҳо таҳмили басомадӣ, яъне тағйири басомади ларзиш ҳамоҳангона бо тағйироти сигнали идорақунанда низ истифода мешавад. Бартарии ин навъи таҳмили ларзишҳо ин аст, ки вай аз халалоти гуногун озод мебошад.

Детектирониш. Сигнали таҳмилшудаи баландбасомаде, ки ба дастгоҳи қабули радио ворид мегардад, ҳатто баъди қувват гирифтани наметавонад, ки парда (мембран)-и телефон ё баландгӯякро бо басомади савтӣ ларзиш диҳад. Ин сигнал танҳо ларзишҳои баландбасомаде ба вучуд меорад, ки онҳоро гӯши мо ҳис намекунад. Бинобар ин дар дастгоҳи қабул аввал аз ларзишҳои таҳмилшудаи сигнали савтӣбасомадро ҷудо кардан зарур аст.



Рас.75.

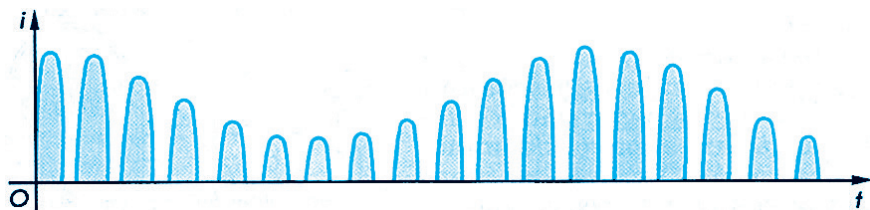


Рас.76.

Сигнал ба воситаи дастгоҳи дорои детектор ном чузве детектиронида мешавад, ки он ноқилияти яктарафа дорад. Ба сифати ин гуна чузв (элемент) лампаи электронӣ (диоди вакуумӣ) ё диоди нимноқилиро истифода кардан мумкин аст.

Биёед кори диоди нимноқилиро бинем. Бигзор ин асбоб дар занҷир ба манбаи ларзишҳои тахмилшуда (модулатсияшуда) ва бори занҷир¹ паёпай пайваस्त бошад (рас.75). Чараён дар ин занҷир асосан як сӯ (дар расм бо тирча ишорат шудааст) қорӣ мешавад, зеро муқовимати диод ба самти «роста» назар ба самти «чаппа» хеле кам аст. Мо метавонем, ки чараёни чаппаро умуман ба назар нагирем ва гӯем, ки диод ноқилияти яктарафа дорад. Мушаххаса (характеристика)-и вольт-амперии тақрибии диодро дар шакли хатти шикастае тасвир кардан мумкин аст, ки аз ду порчаи рост иборат мебошад (рас. 76).

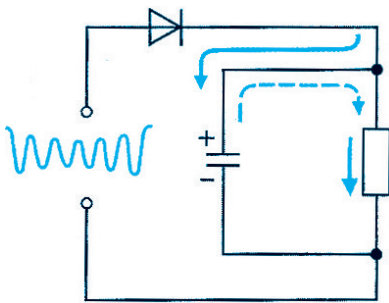
Дар занҷир (рас.75) чараёне қорӣ мешавад, ки он зарабон (набзон, тапиш) дорад. Заданҳои «набз»-и ин чараён дар рас.77 тасвир ёфтааст. Чараёни зарабондор бо ёрии софӣ (филтр) ҳамвор карда мешавад. Содатарин софӣ конденсаторест (рас.78), ки бо



Рас.77.

1. «Бори детектор» ин чо бамаънои резисторе омадааст, ки ларзишҳои савтӣ ба он ворид мегарданд.

бори занҷир, яъне бо муқовимат ба таври мувозӣ (параллелан) пайваستا шудааст. Софӣ ин тавр кор мекунад. Дар лаҳзаҳои ҷараёнгузаронии диод як қисми ҷараён аз резистор (муқовимат) мегузараду қисми дигараш сӯйи конденсатор ҷорӣ шуда, онро барқаманд (заряднок) мекунад (рас.78, тирчаҳои яклухт). Тақсим шудани ҷараён бузургии импульси аз резистор



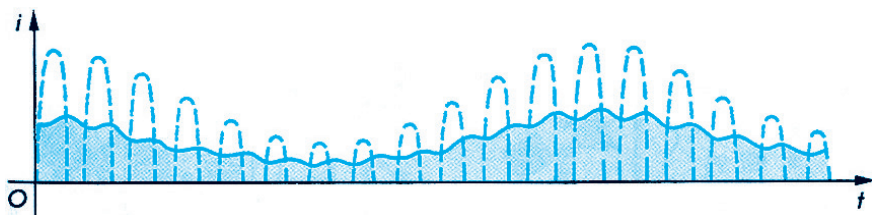
Рас.78.

гузарандаро кам мекунад. Вале дар фосилаи байни импульсо, яъне гоҳи пӯшида (баста) будани диод конденсатор ба воситаи резистор қисман ҳолӣ (пардаҳт) мешавад. Пас, дар ин фосилаҳо ҳам ҷараён дар резистор ба ҳамон самти пешина ҷорӣ мебошад (рас.78 тирчаи канда-канда). Ҳар як импульси нави ҷараён конденсаторро қадре барқаманд мекунад. Дар натиҷа аз резистор ҷараёни савтӣбасомаде ҷорӣ мешавад, ки шакли ларзишҳои он ба шакли сигнали пастбасомади дастгоҳи фиристандаи мавҷҳо хеле монанд аст (рас.79).

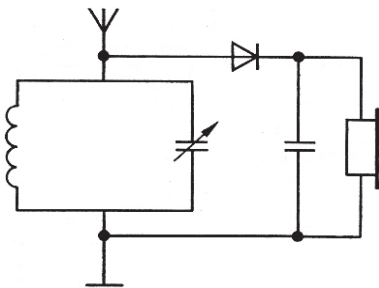
Софиҳо (филтрҳо)-и мураккабтар ларзишҳои баландбасомади начандон қавиро низ ҳамвор карда метавонанд – дар натиҷа ларзишҳои дар рас.79 тасвирёфта ҳамвортар меоянд.

Содатарин радио. Содатарин радио аз контури ларзишзое иборат аст, ки бо антен алоқаманд мебошад ва бо контури иборат аз детектору (дар мисоли мо диоди нимноқилӣ) телефон пайваस्त шудааст (рас.80).

Радиомавҷ дар контури ларзишзо ларзишҳои таҳмилшуда меангезад. Ғалтаки телефон вазифаи бори занҷирро адо мекунад. Аз тариқи ин ғалтак ҷараёни савтӣбасомад ҷорӣ мешавад. Набзон (пулсатсия)-и нисбатан сусти баландбасомади ҷараён ба ларзиши



Рас.79.



Рас.80.

ларзпарда (мембран) таъсири ночиз меоварад ва гӯши мо онро ҳис карда наметавонад.



Ҳам домана (амплитуд)-и ларзишҳо ва ҳам басомади онҳоро таҳмил кардан мумкин аст. Аз инҳо воқеӣ гардонидани таҳмили доманай осонтар аст. Ҳангоми детектирони

ниш ҷараёни тағйирёбанда рост мешавад, зарбони баландбасомади он ба воситаи софӣ (фильтр) ҳамвор мешавад.



1. Доманай автоларзишҳо дар генератори транзисторӣ ба чӣ бастагӣ дорад?
2. Радиои детекторию содатарин чӣ гуна сохт дорад?

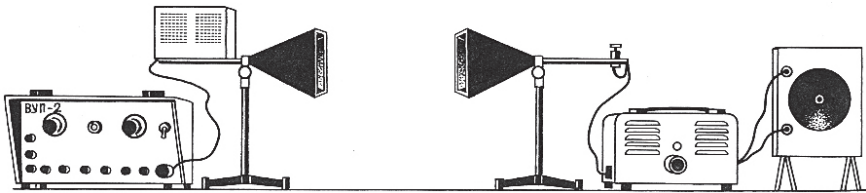
§34. Хосиятҳои мавҷи электромагнитӣ

Мавҷҳои электромагнитӣ низ мисли ҳама мавҷҳои дигар фурӯ бурда мешаванд, инъикос меёбанд, мешикананд. Ва ин рӯйдодҳоро мушоҳида кардан душвор нест.

Таҷҳизоти радиотехникии замони ҳозира имкон медиҳад, ки хосиятҳои гуногуни мавҷҳои электромагнитӣ дар таҷрибаҳои гуногун ба таври аёнӣ намоиш дода шавад. Барои ин, зимнан, мавҷҳои сантиметриро истифода кардан хубтар аст. Ин гуна мавҷҳоро генератори махсуси басомадҳои абарбаланд (БАБ) ҳосил мекунад. Ларзишҳои генераториро бо басомадҳои савтӣ таҳмил мекунанд, то ки сигнали қабулшударо баъди детектирондан ба баландгӯяк додан мумкин шавад.

Мавҷҳои электромагнитиро дар таҷрибае, ки ҳоло мо онро муойина карданем, антени карнайшакл ба самти меҳвари худ меафканад. Антени қабул низ карнайшакл аст ва мавҷҳои ба самти меҳвари худ паҳншавандаро гирифта метавонад. Шакли умумии дастгоҳи таҷриба дар рас.81 омадааст.

Фурӯбурди мавҷҳои электромагнитӣ. Барои ошкор сохтани мавридҳои фурӯрафт ва пароканиши мавҷҳо карнайҳои ном-



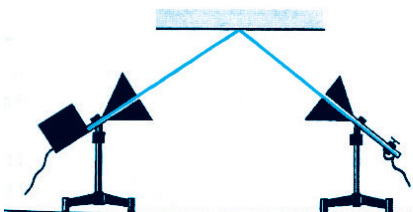
Рас.81.

бурдари рӯбарӯии якдигар тавре ҷой медиҳанд, ки садои баландгӯяк баланди баланд бошад. Баъд дар байни карнайҳо ҷисмҳои диэлектрикии гуногун ҷой дода, қобилияти садонигоҳдорандагӣ (садопастанандагӣ)-и онҳоро месанҷанд.

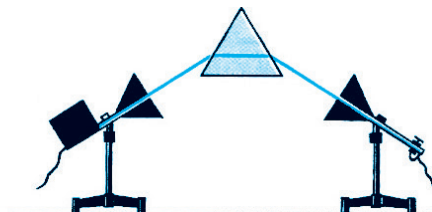
Инъикоси мавҷҳои электромагнитӣ. Вале агар ба ҷойи моддаи диэлектрикӣ ягон варақаи филизӣ (металлӣ) гузорем, мавҷҳо аз он инъикос мегарданд ва ба карнай қабул намерасанд: садо шунида намешавад. Инъикос таҳти кунҷи баробар ба кунҷи афтиш рӯй медиҳад (он сон, ки дар мавриди омӯзиши ҳосиятҳои мавҷҳои механикӣ ва рӯшноӣ мушоҳида мешавад). Барои ба ин бовар ҳосил кардан карнайҳоро нисбат ба варақаи паҳнии филизӣ таҳти кунҷҳои якхела ҷой медиҳанд (рас.82). Агар варақаро ягон сӯ гардонанд ё онро баргиранд, садо нест мешавад.

Шикасти мавҷҳои электромагнитӣ. Мавҷҳои электромагнитӣ дар сарҳадди диэлектрик самти худро тағйир медиҳанд (мешикананд). Инро бо ёрии призма (маншур)-и парафинии сеқунча ошкор сохтан осон аст. Дар ин маврид карнайҳоро нисбат ба якдигар (мисли мавриди намоиши падидаи инъикоси мавҷҳо таҳти кунҷе ҷой медиҳанд ва варақаи филизиро бо призма иваз мекунанд (рас.83). Агар призма қадре ин ё он сӯ гардонда шавад ё аз ҷояш гирифта шавад, садо нест мешавад.

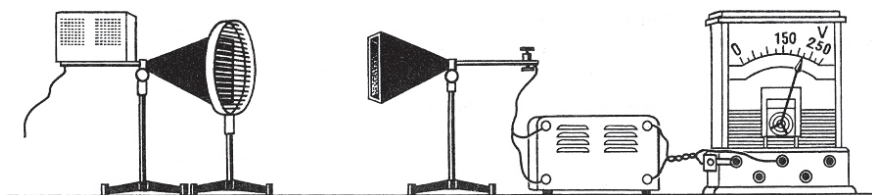
Арзияти мавҷҳои электромагнитӣ. Мавҷҳои электромагнитӣ мавҷҳои арзӣ (дурусташ: ғарзӣ) ҳастанд. Ин он гуна маънӣ дорад, ки векторҳои E ба B -и майдони электромагнитии мавҷ ҳарду нис-



Рас.82.



Рас.83.



Рас.84.

бат ба самти густариши он мавҷ ба таври амудӣ (перпендикуляр) равиш доранд. Вектори шиддати майдони электрикии мавҷи аз карнай хоричшаванда дар ин ё он ҳамворӣ ларзиш мехӯраду вектори индуксияи магнитӣ (яъне илқои магнитӣ) – дар ҳамвори нисбат ба он амудӣ. Мавҷҳоеро, ки векторҳои ташхисдиҳандаи он дар самти муайян ларзиш мехӯранд, *мавҷҳои қутбида* (қутбишуда, поляризасияшуда) меноманд. Дар рас.65 маҳз ҳамин гуна мавҷ тасвир ёфта буд. Карнаии мавҷгири детектордор танҳо мавҷи ба самти муайян қутбишударо мепазирад (қабул мекунад). Инро ошкор сохтан мушкил нест. Барои ба ин бовар пайдо кардан яке аз карнайҳоро ба қадри 90° ин ё он сӯ гардондан кофист – дар ин сурат садо нест мешавад.

Бо мақсади мушоҳидаи падидаи қутбӣ шудани мавҷҳои электромагнитӣ дар байни генератор ва карнаии қабул панҷарае иборат аз милаҳои филизии нисбат ба якдигар мувозӣ (параллелӣ) мегузоранд (рас.84). Панҷараро тавре ҷой медиҳанд, ки милаҳои он мавҷеи амудӣ ё уфуқӣ дошта бошанд. Дар яке аз ин ҳолатҳо, вақте ки вектори электрикӣ ба милаҳо мувозӣ бошад, дар ҳар як мила ҷараён ангехта мешавад – дар натиҷа панҷара мавҷҳоро мисли варақаи яклухти филизӣ инъикос мекунад.

Вале дар сурате, ки вектори E нисбат ба милаҳо амудан равона бошад, дар милаҳо ҷараён ангехта намешавад – дар натиҷа мавҷи электромагнитӣ аз панҷара мегузарад.



Мо ҳанӯз на бо ҳама хосияти мавҷҳои электромагнитӣ шинос шудаем. Таҳқиқи мукаммалтари ин мавҷҳоро то давраи омӯзишии фасли оптика мавқуф мегузорем.



1. Хосиятҳои асосии мавҷҳои электромагнитиро ном баред.
2. Мавҷи қутбида (қутбишуда, поляризасияшуда) чӣ гуна мавҷ аст?

§35. Густариши радиомавҷҳо

Дар сурати барои радиоалоқа истифода кардани мавҷҳои электромагнитӣ ҳам манбаъ ва ҳам дастгоҳи қабули мавҷҳоро аксаран дар наздикиҳои сатҳи Замин ҷой медиҳанд. Шакл ва хосиятҳои физикии Замин ва инчунин ҳолати атмосфера ҷараёни паҳн шудани радиомавҷҳоро сахт ҳалалдор карда метавонад.

Хусусан қабатҳои ион-ион шудайи гази соҳаҳои болоии атмосфера, ки аз сатҳи Замин дар баландии 100-300 км воқеанд, ба густариши радиомавҷҳо асари зиёд дошта метавонанд. Ин қабатҳоро *ионосфера* мегӯянд. Сабабгори ион-ион (ионизатсия) шудани ҳавои қабатҳои болоии тамосфера тобиши электромагнитии Офтоб ва сели зарраҳои барқаманди хуршедӣ мебошад.

Ионосфера, ки ноқили ҷараёни электрикӣ, радиомавҷҳои дарозиашон $\lambda > 10$ м-ро чун варақаи филизӣ (металлӣ) инъикос мекунад. Вале ин хосияти ионосфера – инъикос кардан ва фуру бурдани радиомавҷҳо вобаста ба соати шабонарӯз ва фасли сол тағйир мепазирад. (Ҷамин аст, ки радиоалоқа хусусан барои мавҷҳои миёнадарозии $\lambda = 100 - 1000$ м шабона ва ҳангоми зимистон боэтимодтар мебошад).

Радиоалоқаи байни маҳалҳои дури аз якдигар нонамоёни рӯи Замин ба он сабаб имконпазир аст, ки мавҷҳо аз ионосфера инъикос мешаванд ва маҳз дар натиҷаи дар ионосфера шикастанҳо сатҳи барҷастаи Заминро давр зада метавонанд. Ва ҳар қадаре ки дарозии ин радиомавҷҳо зиёдтар бошад, инъикоси онҳо ҳамон кадр рӯшантар зоҳир мегардад. Бинобар ин радиоалоқаи байни маҳалҳои дур аз ҳисоби падидаи кураи Заминро давр задани мавҷҳо танҳо дар сурате қобили имкон аст, ки онҳо назар ба 100 м хеле дароз бошанд (*мавҷҳои миёна ва дароз*).

Мавҷҳои кӯтоҳ, яъне мавҷҳои фосилаи $\lambda = 10 - 100$ м ба масофаҳои дур танҳо дар натиҷаи аз ионосфера ва сатҳи Замин чандин бор инъикос гардиданҳо паҳн мешаванд (рас.85). Радиоалоқаи маҳалҳои масофаи байнашон дилхоҳи рӯи Заминро маҳз ба воситаи мавҷҳои кӯтоҳ амалӣ гардонидан имконпазир аст.



Рас.85.

Радиомавҷҳои дароз барои ин чандон муносиб нестанд, зеро ионосфера ва қабатҳои рӯйинаи сатҳи Замин онҳоро осон фурӯ мебаранд. Бо вучуди ин дар сурати пуртавон будани радиодастгоҳи фиристанда радиоалоқаи пойдор дар масофаҳои начандон зиёд маҳз ба воситаи мавҷҳои дароз ба даст меояд.

Радиомавҷҳои ултрақӯтоҳ ($\lambda < 10$ м) аз тариқи ионосфера гузашта метавонанд. Онҳо кураи Заминро «давр зада» наметавонанд. Ҳамин аст, ки ин мавҷҳо дар алоқаи байни маҳалҳои барои якдигар намоён ва инчунин дар радиоалоқа бо киштиҳои кайҳонӣ истифода мешаванд.



Густариши радиомавҷҳо ба дарозии онҳо бастиагии сахт дорад. Мавҷҳои қӯтоҳ ($\lambda \approx 10-100$ м) аз ионосфера ва сатҳи Замин чандин бор инъикос мешаванд. Мавҷҳои дароз ($\lambda > 100$ м) рӯрӯйи сатҳи Замин «мелағзанд». Радиомавҷҳои ултрақӯтоҳ ($\lambda < 10$ м) аз тариқи ионосфера гузашта (ё чунон ки мегӯянд, ионосфераро убур карда) метавонанд.

§36. Радиопармосиш

Падидани аз монеаҳои гуногун инъикос гардидани радиомавҷҳо дар техникаи муосир майдони фароҳи татбиқ дорад. Асбобҳои бисе ҳассос сигнали инъикосгардидаро қабул карда, онро қувват медиҳанд ва аз таҳлили он дар бораи ҷойи воқеъ гаштани монеа маълумот «ба даст» меоваранд.

Бо ёрии радиомавҷҳо ошкор сохтан ва ба ҳубӣ муайян кардани ҷойи воқеъ гаштани ин ё он монеа (ё ашё)-ро *радиопармосиш* (радиолокаторсия) мегӯянд. Дастгоҳи радиопармосиш – радиолокатор ё худ *радар* аз қисмҳои фиристанда ва қабулқунанда иборат аст. Дар радиопармосиш ларзишҳои электрикии абарбаландбасомад (10^8-10^{11} Ҳз) истифода мешаванд. Генератори тавоноии ларзишҳои абарбаландбасомад бо антене пайваст аст, ки он мавҷи яксамт меафканад. Дар радарҳое, ки мавҷҳои дарозияшон 10 см ва мавҷҳои кӯтоҳтар аз инро истифода мекунанд, ин гуна мавҷро антенҳои ҳамшакли ойинаҳои параболӣ ба вучуд меоваранд. Антенҳои афканандаи мавҷҳои метридарозӣ ба шакли маҷмӯи иборат аз чандин вибратор сохта мешаванд. Дар ин сурат яксамт хориҷ

гаштани мавҷҳо дар натиҷаи зам шудани онҳо ба даст меояд. Антен тавре сохта шудааст, ки мавҷҳои афкандаи ҳар як вибратор бо мавҷҳои афкандаи вибраторҳои дигар зам мешаванд ва онҳо якдигарро танҳо дар як самт қувват медиҳанд. Дар самтҳои дигар мавҷҳо якдигарро пурра ё қисман хомӯш мекунанд.

Мавҷи инъикосшуда ба воситаи худӣ ҳамон антени фиристанда ё антени дигаре, ки он ҳам яксамт аст, қабул карда мешавад. Ба дараҷаи хуб яксамт будани тобиши антени радар (радиолокатор) имкон медиҳад, ки шуоъи радар шакли дастаи борик дошта бошад. Ва самти ҳамин даста дар лаҳзаи қабули сигнали инъикосшуда самти ҷисми шуоъинъикоскардари нишон медиҳад.

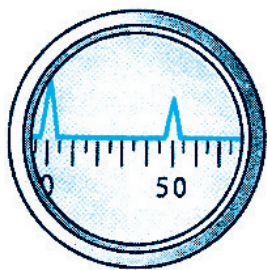
Барои муайян кардани мавҷеи ҷисм (монеа)-и шуоъинъикоскунанда, яъне барои ёфтани масофаи то монеа режими импульсии фиристодани сигналҳоро истифода мекунанд. Дар ин сурат дастгоҳи фиристандаи сигнал мавҷро дар шакли импульсҳои кӯтоҳмуддате мефиристад, ки тӯли ҳар яки онҳо ҳамагӣ чанд миллионяки сония ва фосилаи байнашон тақрибан 1000 бор зиёдтар аст. Мавҷҳои инъикосшуда дар фосилаи байни импульсҳо қабул карда мешаванд.

Барои ёфтани масофаи то монеа R муддати умумии то он монеа расидан ва бозгаштани радиомавҷҳо t -ро чен мекунанд. Азбаски суръати радиомавҷҳо дар атмосфера амалан доимист ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), пас,

$$R = \frac{ct}{2}$$

Ба сабаби он ки радиомавҷҳо дар атмосфера пароканда мешаванд, бинобар ин то ба ҷойи қабули мавҷҳо қисми хеле ками энергияи хоричкардаи дастгоҳи фиристанда бозмегардад. Ҳамин аст, ки мавҷгираки радар сигнали қабулшударо бояд миллионҳо миллион (10^{12}) бор зӯртар кунад. Равшан аст, ки ин гуна мавҷгираки ҳассос дар фосилаи фиристодани импульс бояд «кушта» бошад.

Барои муайян кардани лаҳзаҳои рафту омади сигнал лӯлаи электронишуоъро истифода мекунанд. Дар лаҳзаи фиристодани сигнал нуқтаи равшане, ки дар экрани лӯлаи электронишуоъ (масалан, дар ойнаи осциллограф) муназзамона ҳаракат мекунад, майл меҳӯрад. Дар экран дар наздики ишорати сифри шкала (микёс)-и асбоб нуқтаи равшан як хез мезанад (ё чи хеле ки меғӯянд, як қад мепарад) (рас.86). Баъд ин нуқта қадқадди шкала муназзамона ҳаракат кардан мегирад ва дар лаҳзаи қабули сигнали инъикосшуда (ки нисбатан суст мебошад) бори дигар хез мезанад. Масо-



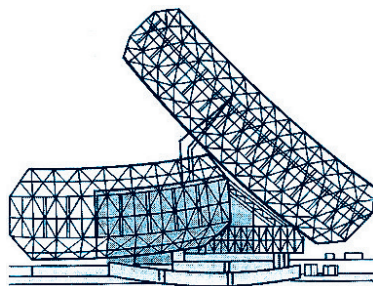
Рас.86.

фаи байни «хез»-ҳо (дар экран) ба муддати рафтуомади сигнал t ва аз ин $r\bar{u}$, ба дурии монеа R мутаносиб аст. Ин имкон медиҳад, ки шкалаи асбоб бо километрҳо дараҷабандӣ карда шавад.

Дастгоҳи радар киштиҳову ҳавопаймохоро аз дурии садҳо километр ошкор месозад. Шароити обу ҳаво ва соатҳои шабонарӯз ба кори онҳо асари кам дорад. Дар фурудгоҳҳои бузург локаторҳо рафтуомади ҳавопаймоҳои

хезанда ва фурудояндаро назорат мекунанд. Шӯъбаи хидмати рӯизаминии фурудгоҳ сарнишинҳо (пилотҳо)-ро бо радио дастури матлуб медиҳад ва ба ин васила парвозро беҳатар медорад. Шакли умумии радар (локатор)-и фурудгоҳ дар рас.87 тасвир ёфтааст. Киштиҳову ҳавопаймоҳо низ локаторе доранд, ки барои киштиронӣ истифода мешавад. Ин локаторҳо дар экрани худ манзараи ҷойгир шудани ҳаммаҷмӯи инъикоскунандаи радиомавҷоро нишон медиҳад, шароити ҳаракатро дар пеши назари ноҳудо ё пилот бо тамоми ҷузъиёташ менамояд.

Дар замони мо майдони татбиқи локаторҳо торафт васеътар гашта истодааст. Локаторҳо барои мушоҳидаи ҳаракати шихобҳо (метеорҳо), ҳаракати абрҳо, дар тадқиқоти кайҳонӣ ва ғ. истифода мешаванд. Ҳар



Рас.87.

як киштии кайҳонӣ ҳатман чанд локатор дорад. Соли 1946 дар ИМА ва Маҷористон (Венгрия) таҷрибае анҷом доданд, ки дар он сигнали аз сатҳи Моҳ инъикосшуда қабул карда шуд. Соли 1961 олимони шӯравӣ бо ҳамин усул сайёраи Зӯҳраро «пармосида», муддати гирди меҳвари худ як гардиш хӯрдани онро муайян карданд. Дар солҳои минбаъда ҳамин гуна «пармосиш»-и сайёраҳои дигари Манзумаи Офтоб низ анҷом дода шудааст.



Радиолокаторҳо (радарҳо) барои ошкор сохтани киштиҳову ҳавопаймоҳо, барои мушоҳидаи қардани абрҳо, барои «пармосиши» сайёраҳо ва ғ. истифода мешаванд.



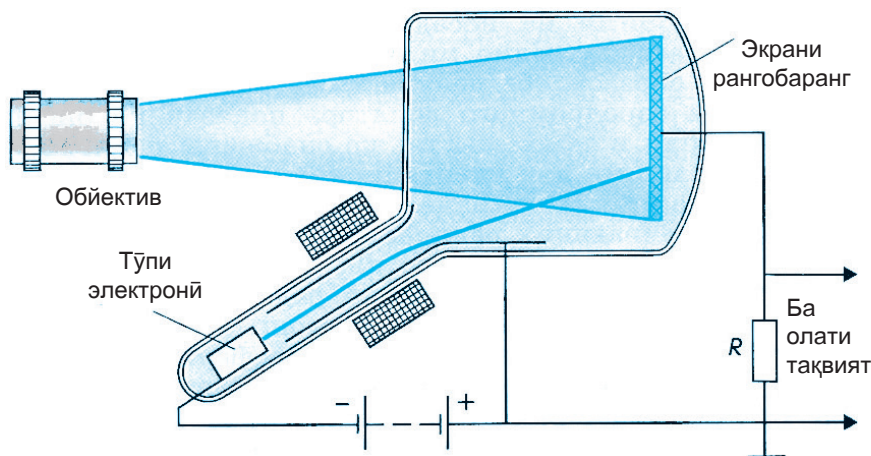
1. *Кори радиолокатор (радар) чӣ гуна заминаи физикӣ дорад?*
2. *Бо ёрии радиолокатор сатҳи ин ё он сайёраро «пармосидан» чӣ мазмун дорад?*

§37. Тасаввуроти умумӣ дар бораи телевизион

Радиомавҷҳо на танҳо барои нақл кардани садо, балки инчунин барои интиқол (нақл)-и тасвирҳо (чунончи, тасвирҳои телевизионӣ) низ истифода мешаванд.

Аз ҷойе ба ҷойи дигар интиқол додани тасвир аслан чунин аст. Дар маркази фиристандаи мавҷ тасвири нақлшавандаро ба маҷмӯи сигналҳои электрикии пайдархам табдил медиҳанд. Сипас ба воситаи ин сигналҳо ларзишҳои ҳосилкардаи генератори баландбасомадро таҳмил (модулатсия) мекунанд. Мавҷи электромагнитии таҳмилшуда ахборро ба масофаҳои дур нақл карда метавонад. Дар дастгоҳи қабули мавҷ мавҷи омадаро табдили чаппа медиҳанд: ларзишҳои баландбасомади таҳмилшударо детектирониди, сигнали ҳосилшавандаро ба тасвири намоён бадал мекунанд. Барои нақли ҳаракат тасвирҳои аз якдигар камфарқкунандаи объектҳои ҳаракаткунанда (кадрҳо)-ро, чунонки дар санъати кино истифода мешавад, сонияе чанддаҳтоӣ (дар телевизиони мо 50-борӣ) мефиристанд.

Табдили тасвири кадр ба силсилаи сигналҳои электрикӣ бо ёрии лӯла (найча)-и электронии вакуумии сигналфиристанда – *иконоскоп (аз юнониши eikon – тасвир ва scopeo – назора мекунам)*, ки речааш дар рас.88 тасвир ёфтааст, анҷом дода мешавад. (Ғайр аз иконоскоп олатҳои дигари интиқоли тасвир низ истифода мешаванд). Дар даруни иконоскоп экрани рангобаранге шинонда шудааст, ки тасвири объект сӯйи он бо ёрии системаи оптикӣ равона карда мешавад. Ҳар як чашмаки экран ҳангоми кори иконоскоп барқаманд (электроннок) мешавад ва бузургии барқаи чашмак ба шиддати нури ба он зананда вобаста мебошад. Ин барқа ҳангоми ба чашмаки экран задани дастаи электронӣ, ки онро тӯпи электронӣ ҳосил мекунад, тағйир меёбад. Дастаи электронӣ паёпай ба ҳама чашмакҳои як сатри экран, баъд ба чашмакҳои сатри дигари он ва ғ. мезанад. (Экран 625 сатр дорад). Бузургии импулси қувваи ҷараёни аз резистори R ҷоришаванда ба он вобаста аст, ки барқаи чашмак чӣ қадар тағйир меёбад. Бинобар ин



Рас.88.

волтажи нӯғҳои резистори R мутаносибан ба тағйироти равшанӣ дар тӯли сатри кадр тағйир мепазирад.

Дар дастгоҳи қабули телевизионӣ низ баъди детектиронидан хамин гуна сигнал ҳосил мешавад. Ин *видеосигнал* аст ва дар экрани лӯлаи электрони вакуумии сигналгир, ки *кинескоп* ном дорад, ба тасвири намоён табдил меёбад. Тӯпи электрони ин гуна лӯлаи электроде дорад, ки он адади электронҳоро дар дастаи электронӣ ва бад-ин васила нурафшонии экранро дар ҷойи задани дастаи нур идора мекунад. Маҷмӯи ғалтакҳои майли амудӣ ва уфуқӣ дастаи электрониро маҷбур месозад, ки тамоми чашмакҳои экранро паймояд (айнан ҳамон тавре, ки дастаи электронӣ экрани рангобарангро дар лӯлаи фиристандаи сигналҳо мепаймояд). Барои дар лӯлаҳои фиристанда ва қабулкунанда ҳамоханг омадани ҳаракати дастаҳои электронӣ онҳоро бо ёрии сигналҳои махсус ҳамоханг (синхронизатсия) мекунад.

Радиосигналҳои телевизиониро танҳо дар фосилаи мавҷҳои метридарозӣ (мавҷҳои ултрақӯтоҳ)¹ нақл кардан мумкин аст. Ин гуна мавҷҳо маъмулан дар ҳудуди диди ростакҳои антен паҳн мегарданд. Аз ин рӯ барои он ки намоиши телевизионӣ масоҳати

1. Видеосигнал назар ба сигнали савтӣ (сигнали садо) ахбори бештаре дар худ дорад ва фосилаи басомадии фарохтареро ишғол мекунад. Дар сурати истифода кардани мавҷҳои паस्तбасомад ин соҳаҳо яқдигарро мепӯшонанд, яъне дар ин маврид мавҷҳои афкандаи марказҳои алоҳидаи паҳши ахбор яқдигарро халалдор месозанд.

ҳарчи фарохтарро фаро бигирад, зарур аст, ки адади марказҳои ирсолӣ ахбори телевизионӣ ҳарчи бештар ва антенҳои онҳо ҳарчи баландтар бошанд. Манори телевизионии Останкино (ш. Маскав), ки 540 м баландӣ дорад, имкон медиҳад, ки намоиши телевизионӣ аз дурии то 120 км боэътимодона гирифта шавад. Доираи қабули боэътимоди намоишҳои телевизионӣ торафт фарохтар гардида истодааст. Дар ин кор хусусан радиҳои кайҳонӣ воситаи хубанд.

Доираи истифодаи телевизиони ранга низ майли фарох шудан дорад. Барои ба вучуд овардани тасвири ранга се навъ видео-сигнале нақл карда мешавад, ки онҳо ҳомили се ранги асосии таркибдихандаи тасвир – сурх, сабз ва кабуд ҳастанд.

§38. Рушди воситаҳои алоқа

Барои барпо кардани Системаи ягонаи автоматизидаи алоқа воситаҳои нави алоқаро тараққӣ ва такмил додан ва майдони истифодаи онҳоро торафт васеъ гардондан зарур аст.

Чанде қабл алоқаи телефони байнишаҳрӣ танҳо бо роҳҳои ҳавоии алоқа анҷом дода мешуд. Вале ин воситаи алоқа аз яхбандихову раъду барқ эмин набуд. Ҳозирҳо дараҷаи автоматӣ шудани ин навъи алоқа боло рафта истодааст, хатҳои кабелӣ ва радиорелей торафт бештар шуда истодаанд.

Дар хатҳои радиорелеи алоқа мавҷҳои ултрақӯтоҳ (десиметрӣ ва сантиметрӣ) истифода мешаванд. Ин мавҷҳо дар ҳудуди диди ростакӣ паҳн мешаванд. Бинобар ин хатти нақли онҳо аз силсилаи радиодастгоҳҳои камтавоне иборат аст, ки ҳар яки онҳо сигналро ба ҳамсоия ояндаи худ гӯё «аз даст ба даст» медиҳад. (Манори ин гуна радиодастгоҳ 60-80 м баландӣ дорад ва масофаи байни онҳо 40-60 км аст).

Комебиҳои соҳаи радиоалоқаи кайҳонӣ бунёди системаи нави алоқа – системаи «Орбита»-ро имконпазир гардонд. Дар ин система радиҳои радиорелей (ретранслаторӣ)-и алоқа «Молния» (ки мадори бисе дарозрӯ доранд ва даври гардишашон қариб 12 соат аст) истифода мешаванд (рас.89).

Ҳоло системаҳои пуртавон ва боэътимод бунёд шудаанд, ки намоишҳои телевизиониро барои сокинони Сибири Шарқи Дур имконпазир гардондаанд. Алоқаи телефониву телеграфӣ бо

ноҳияҳои дурдасти мамлакат маҳз ба василаи ҳамин системаҳо барқарор аст.

«Радуга» ном радифҳои нави алоқа, ки дар баландии 36 000 км гирди Замин мегарданд, даври гардиши 24 ст (соат) доранд ва ба ҳамин сабаб ҳамеша дар рӯи ҳамон як нуқтаи сатҳи Замин муаллақ мебошанд.

Телеграф ва фототелеграф ворӣ воситаҳои нисбатан кӯҳнаи алоқа низ такмил дида, соҳаҳои нави истеъмоли ёфта истодаанд. Вусъати истеъмоли фототелеграф дар мавриди нақли тасвирҳои беҳаракат аз рақамҳои зайл аён мешавад: соле ба воситаи фототелеграф акси даҳҳо ҳазор газитсафҳа интиқол дода мешавад, ки аз рӯи онҳо садҳо миллион нусха газит (рӯзнома) чоп мекунад. Телевизион қариб ҳама маҳалҳои мамлакатро фаро гирифтааст.

Машқи 4

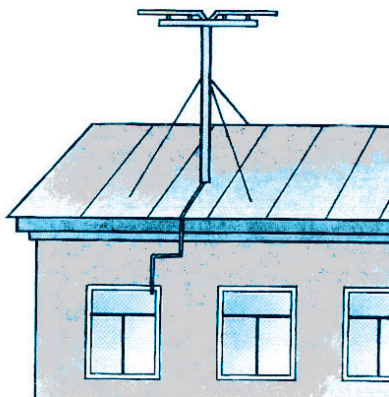
1. Дар речаи дар рас. 80 тасвиршудаи радиои содатарин $L=0,0004$ Ҳн (хенрӣ) асту гунҷойиши конденсатори тағйирёбанда C аз 12 то 450 пФ тағйир меёбад. Ин радио барои қабул кардани чӣ гуна мавҷҳо тағйир шудааст?

2. Дар рас.90 антени телевизор тасвир ёфтааст. Шумо дар бораи самтгирии ларзишҳои вектори индуксияи магнитӣ (яъне илқои магнитӣ)-и мавҷи аз маркази телевизионӣ оянда чӣ гуфта метавонед?

3. Оё шароити дар фазои Моҳ ва Замин паҳн гардидани радиомавҷҳо ягон тафовути кулӣ дорад?



Рас.89.



Рас.90.

Муҳиматарин хулосаҳои боби чаҳорум¹

1. Дар мавҷи электромагнитӣ векторҳои шиддати майдони электрикӣ E ва индуксияи майдони магнитӣ (илқои магнитӣ) B ларзиш меҳӯранд. Векторҳои E ва B ҳам нисбат ба якдигар ва ҳам нисбат ба самти рафти мавҷ равиши амудӣ доранд. Мавҷҳои электромагнитӣ мавҷҳои арзианд.

2. Мавҷҳои электромагнитӣ дар натиҷаи ларзишҳои зуд-зуди зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон)-и шитобдор афканда мешаванд. Барои тавсифи энергияи тобиши электромагнитӣ мафҳуми зичии сели тобиш истеъмоли мешавад.

3. Зичии сели тобиши электромагнитӣ (I) гуфта нисбати энергияи электромагнитии дар муддати Δt аз тариқи сатҳи S -и ба рафти нурҳо амудан воқеъшударо бар ҳосили зарби масоҳати S ва муддати Δt мефаҳманд, яъне

$$I = \frac{\Delta W}{S \cdot \Delta t}.$$

Зичии сели тобиши электромагнитӣ ба дараҷаи чаҳоруми басомади ларзиш мутаносиби роста асту ба дараҷаи дуҷуми масофаи то манбаъ – мутаносиби чаппа:

$$I \sim \frac{\omega^4}{R^2}.$$

4. Мавҷҳои электромагнитиро бори аввал Х.Хертз ҳосил кардааст. А.С.Попов дар заминаи истифодаи таҷрибаҳои Хертз радиоро ихтироъ кард.

5. Алоқаи радиотелеграфӣ чунин сурат мегирад: ларзишҳои баландбасомади зодаи генератор ба василаи ларзишҳои пастбасомади савтӣ таҳмил (модулатсия) карда мешаванд; антени маркази фириандаи мавҷҳо мавҷи электромагнитии таҳмилшуда меафкананд; дар дастгоҳи қабули мавҷҳои радио ларзишҳои баландбасомади таҳмилшуда ба ларзишҳои пастбасомад табдил дода мешаванд – ин амал *детектиронии* ном гирифтааст.

6. Мавҷҳои электромагнитӣ воситаи воқеъ гардонидани радиоалоқа, радиошунавой, алоқаи кайҳонӣ ва заруриёти дигари м.ин. шудаанд.

1. Ин ҷо низ ҳамон тавсияҳоеро, ки мо дар хотимаи боби якум оварда будем, ба ёд биёред ва аз ин боб ҳам 5-6 хулоса бароред.

ОПТИКА

Боби 5. Мавҷҳои рӯшноӣ

Боби 6. Чузӣиёти назарияи нисбият

Боби 7. Тобишҳо ва тайфҳо (спектрҳо)

Дар ин фасл мо омӯзиши мавҷҳои электромагнитиро идома медиҳем. Аммо акнун сухан дар бораи мавҷҳои кӯтоҳе меравад, ки мавҷҳои рӯшноӣ ном гирифтаанд.

Тақомули ақидаҳо дар бораи табиати рӯшноӣ. Тасаввуроти ибтидоии олимони даврони қадим дар бораи табиати рӯшноӣ бас содалавҳона буд. Ба ақидаи онҳо чашм аз худ тораҳои борикӣ махсусе меандозад, ки онҳо то ба ашё расида, баъд дар чашми бинанда эҳсосоти бинӣ ба вучуд меоваранд.

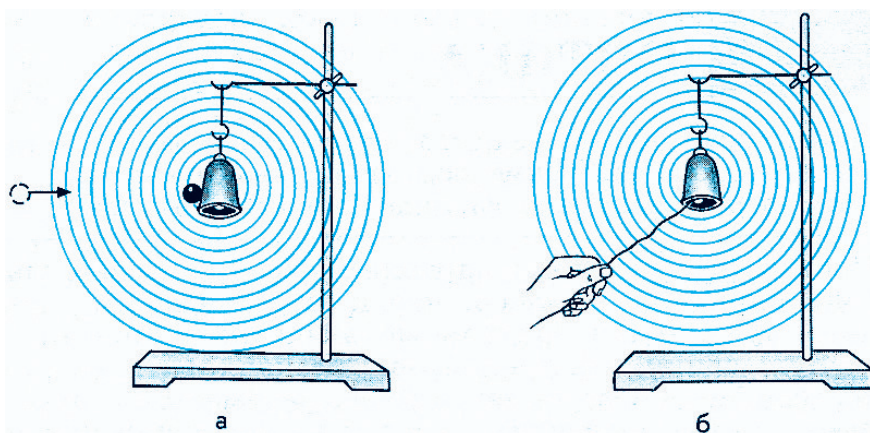
Вале ҳоло ин тасаввуротро ба таври муфассал муоина кардан хочате надорад. Биёед, тақомули тасаввуроти илмиро дар бораи ҷӣ будани рӯшноӣ муҳтасаран муоина кунем.

Ду тарзи нақли таъсир. Рӯшноӣ аз манбаъ (чунончи: аз ҷароғ) ба ҳама тараф паҳн мешавад ва ба ашё расида, онҳоро (аз ҷумла) гарм мекунад. Рӯшноӣ ба чашми мо зада, эҳсосоти бинӣ ба вучуд меоварад ва мо чизҳоро мебинем. Метавон гуфт, ки ҳангоми паҳн гаштани рӯшноӣ таъсири як ҷисм (манбаъ) ба ҷисми дигар (чашми мо, ашёи атроф ва ғ.) нақл мешавад.

Аммо умуман таъсири як ҷисм ба ҷисми дигар бо ду тарз рӯй дода метавонад: ё ба воситаи *нақли модда* аз манбаъ то ҷойи қабул (масалан, то чашми мушоҳид) ё ба сабаби *тағйир ёфтани муҳити* байни ҷисмҳо (бе нақли модда).

Чунончи, мо зангӯлаи аз худ дурро бо сақое зада, онро водор карда метавонем, ки садо барорад (рас.91,а). Дар ин маврид модда (сақо) нақл мешавад, интиқол меёбад. Вале садои зангӯларо бо роҳи дигар низ баровардан осон аст: ба забончаи зангӯла ресмоне бафта, онро мавҷ медиҳем, то ки гоҳи ларзиш хӯрдан зангӯларо маҷбур созад, ки садо бароварад (рас.91,б). Дар ин сурат модда нақл намешавад, балки дар натиҷаи амали ба воситаи ресмон то ба зангӯла расидани мавҷи фиристодаи мо ҳолат (шакл)-и ресмон тағйир меёбад.

Ҳамин тариқ, таъсири як ҷисм ба ҷисми дигар ба воситаи мавҷҳо нақл шуда метавонад.



Рас.91.

Назарияи корпускулӣ ва мавҷии рӯшноӣ. Мутобиқан ба ду тарзи имконпазири аз манбаъ то ба ашё нақл шудани рӯшноӣ ва табиати он ду назария ба кулӣ гуногун пайдо шуда, инкишоф ёфт. Зимнан, харду назария қариб дар як вақт – дар а.ХVII ба миён омаданд.

Якеи ин назарияҳо бо номи Нйутон алоқаманд асту назарияи дигар – бо номи Хйуйгенс.

Нйутон мойили назарияи корпускулии рӯшноӣ буд (аз калимаи латинии *corpusculum* – зарра). Мувофиқи ин назария рӯшноӣ сели зарраҳои мебошад, ки аз манбаъ ҳар сӯ паҳн мегарданд (нақли модда).

Аммо дар тасавури Хйуйгенс рӯшноӣ сели мавҷҳои буд, ки дар *эфир* ном муҳити махсуси фарзӣ (муҳити тамоми фазоро фарогиранда ва ба даруни ҳама ҷисмҳо дохилшаванда) паҳн мешавад.

Харду назария дар баробари якдигар муддати тӯлоние вучуд доштанд ва ҳеҷ яки онҳоро ғолибият насиб намешуд. Лекин обрӯву эътибори Нйутон аксари олимонро водор месохт, ки назария корпускулиро бартар бидонанд. Қонунҳои то он замон маълуми густариши рӯшноиро, ки маҳсули таҷрибаҳои сершумор буданд, харду назария камубеш бомуваффақият шарҳ медоданд.

Дар заминаи назарияи корпускулӣ фаҳмидан душвор буд, ки чаро дастаҳои дар фазо якдигарро бурандаи рӯшноӣ ба ҳамдигар асаре надоранд. Охир, зарраҳои рӯшноӣ дар ин маврид бояд ба якдигар бархӯрда, пароканда шаванд. Аммо назарияи мавҷӣ инро бо осонӣ шарҳ медод. Мавҷҳо, масалан, дар сатҳи об ба ҳамдигар

таъсире нарасонда, аз дохили якдигар озодона гузашта метавонанд.

Аммо падидаи густариши ростхаттаи рӯшноиро, ки боиси дар паси ашё пайдо шудани соя мегардад, дар чаҳорчӯбаи назарияи мавҷӣ шарҳ додан мушкил аст, ҳол он ки назарияи корпускулӣ густариши ростхаттаи рӯшноиро чун натиҷаи шарҳноталаби қонуни инерсия (қонуни шасти ҳаракат) медонад.

Ин гуна ҳолати номуайяни дар масъалаи дарки табиати рӯшноӣ то аввалҳои а.ХІХ идома дошт, то даврае идома дошт, ки падидаи монеаҳоро давр зада тавонистан (яъне дифраксия шудан)-и рӯшноӣ ва падидаи зӯр ё суфт шудани равшани дар сурати рӯйиҳам афтидан (яъне интерференс шудан)-и дастаҳои рӯшноӣ кашф шуданд.

Ин ду падида танҳо ҳаракати мавҷиро хос ҳастанд¹. Онҳоро дар заминаи назарияи корпускулӣ шарҳ додан илоҷ надорад. Бинобар ин чунин ба назар меомад, ки гӯё назарияи мавҷӣ қомилан ғолиб омада бошад. Ва ин гуна боварӣ хусусан баъди он ки дар нимаи дуоми а.ХІХ Ҷ.Максвел ҳолати хусусии мавҷҳои электромагнитӣ будани рӯшноиро собит кард, пойдор гашт. Таҳқиқоти Максвел заминаи *назарияи электромагнитии рӯшноӣ* гардид. Баъди он ки Ҳ.Ҳертз мавҷҳои электромагнитиро ошкор сохт, шубҳае намонд, ки рӯшноӣ ҳангоми густариш ёфтани чун мавҷ рафтор мекунад. Имрӯз ҳам ба ин шакл нест.¹

Вале аввали а.ХІХ тасаввуроти мавҷуда дар бораи табиати рӯшноӣ ба қуллӣ тағйир ёфт. Ногаҳон равшан гашт, ки назарияи радшудаи корпускулӣ то дараҷае ба воқеият наздикӣ дорад. Рӯшан гашт, ки *рафтори рӯшноӣ ҳангоми хориҷ гардидан ва фуру рафтани он ба рафтори сели зарраҳо монандӣ дорад*.

Баъдтар ҳосиятҳои номуттасилӣ, ё чунонки мегӯянд, ҳосиятҳои квантии рӯшноӣ дарк шуданд.

Ва як ҳолати ғайриодӣ рӯх дод: падидаҳои дифраксияву интерференсиро мисли пештара дар чаҳорчӯбаи назарияи мавҷӣ ва падидаҳои афканишу фурубурдро дар заминаи назарияи корпускулии рӯшноӣ шарҳ додан мумкин буд.

Баъди ин замони «дудилағӣ» равшан гашт, ки ин гуна ҳосиятҳои дугунагӣ ҳама зарраҳои дигари моддиро низ хос мебошад.

1. Дар бораи падидаҳои дифраксия ва интерференси рӯшноӣ баъдтар сухан хоҳем ронд.

Мо ин чо аввал бо хосиятҳои мавҷии рӯшноӣ шинос мешавем. Дар хусуси дугунагии табиати рӯшноӣ дертар сухан меронем. Ҳоло биёед ба ёд биёрем, ки шумо аз китоби дарсии «Физика, 8» дар бораи рӯшноӣ чӣ маълумот андӯхта будед.

Оптикаи геометрӣ ва мавҷӣ. Дар шиносоии аввал бо рӯйдодҳои оптикӣ мафҳуми *шуоъи рӯшноӣ* истифода шуда буд. Шуоъи рӯшноӣ самти густариши рӯшноиро нишон медиҳад. Барои муайян кардани ин самт аввал аз сели рӯшноӣ дастаи борикче чудо кардан мебояд. (Фаҳмост, ки қутри даста назар ба дарозии мавҷи рӯшноӣ хеле зиёд аст). Баъд ин гуна дастаҳоро бо хатҳое иваз кардан мебояд, ки онҳо мехварҳои дастаҳои рӯшноианд. Ана ҳамин хатҳо шуоъҳои рӯшноиро ифода мекунанд. Нафъи истеъмоли мафҳуми шуоъҳои рӯшноӣ ин аст, ки рафтори ин шуоъҳоро дар фазо дар доираи қонунҳои бисе сода – дар доираи *қонунҳои оптикаи геометрӣ* таҳлил додан осон аст.

Оптикаи геометрӣ ҳамон фасли оптика аст, ки қонунҳои дар муҳитҳои шаффоф паҳн гаштани энергияи рӯшноиро дар заминаи истифодаи мафҳуми шуоъҳои рӯшноӣ меомӯзад.

Ин қонуниятҳо ба таври таҷрибавӣ ханӯз пеш аз дарк шудани табиати рӯшноӣ кашф шуда буданд. Зимнан, ин қонунҳо аз назарияи мавҷии рӯшноӣ дар он замина ба даст омадаанд, ки монеа аз ҷойи мушоҳида начандон дур воқеъ гашта бошад ва дарозии мавҷ назар ба андозаҳои монеа хеле кӯтоҳ бошад.

Дар синфи ҳаштум барои шумо ду қонуни оптикаи геометрӣ таъриф дода шуда буд: қонуни рафти ростхатта (ё густариши ростхатта)-и рӯшноӣ ва қонуни инъикоси он. Дар бораи шикасти рӯшноӣ бошад, он чо танҳо мулоҳизаҳои сифатӣ оварда шудааст. Он чо қонуни шикасти рӯшноӣ таъриф ҳам дода нашудааст. Ҳоло мо қонунҳои инъикос ва шикасти рӯшноиро дар доираи тасаввуроте ҳосил хоҳем кард, ки мувофиқи он рӯшноӣ чун рӯйдоди мавҷӣ муоина мешавад.



Боби 5 МАВЧҶОИ РҶШНОӢ

§39. Суръати нур (суръати рӯшноӣ)

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

Омӯзиши ин бобро аз он оғоз мекунем, ки суръати рӯшноӣ ба чӣ тарзҳо санҷида шудааст.

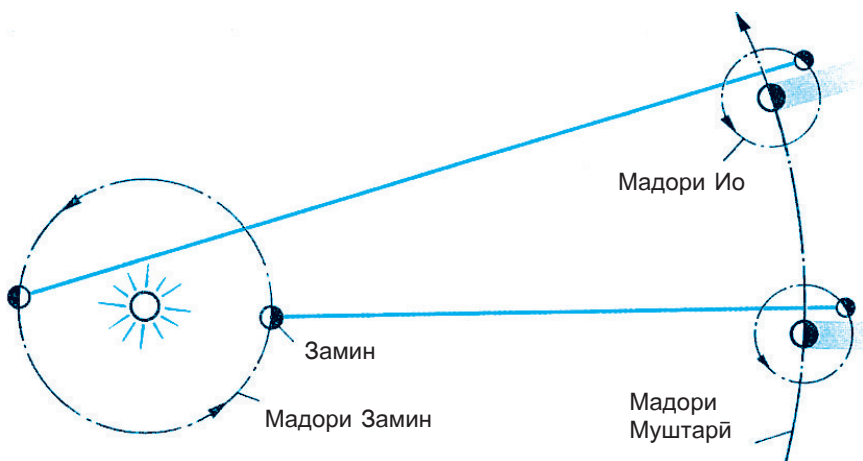
Вақте ки мо калиди ҷароғи хонаро мепайвандем, хона ҳамон дам мунаввар мешавад, пури нур мешавад. Чунин ба назар мерасад, ки барои то ба деворҳо расидани рӯшноӣ ҳеҷ гуна вақт лозим нест.

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 соатҳои 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 кайҳонӣ) буданд.

Рёмер гирифтӣ радифҳои бузургтарин сайёраи Манзумаи 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



Рас.92.

он мебарояд 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» соати 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 ёфтан мумкин буд) ба кадри 22 дақ дер мебарояд.

Ин рӯйдодро Рёмер шарҳи зайл дод:

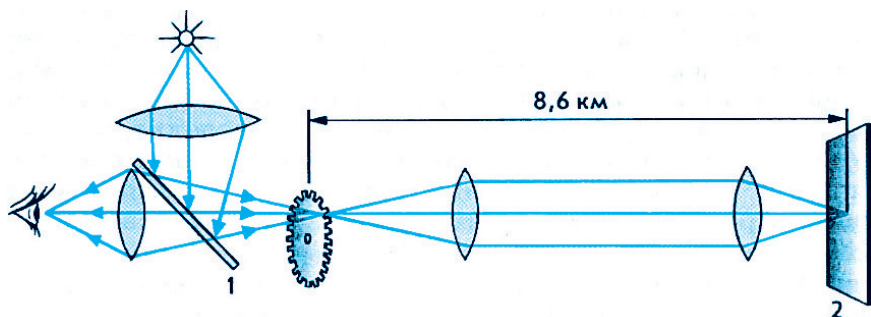
«Агар ман дар он сӯйи мадори Замин буда метавонистам, Ио ҳар дафъа пас аз ҳамон муддати муайян (42 ст 28 дақ) пайдо мешуд, яъне мушоҳиди ончойӣ Иоро 22 дақ пештар меид. Сабаби таъхир дар ин маврид он аст, ки нури Ио муддати баробар ба 22 дақиқаро барои аз ҷойи мушоҳидаи аввалии ман то мавқеи ҳозираам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

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

мумкин аст. Ин суръат фавкулода 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 истиво (экватор)-и Заминро мепаёмояд.

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



Рас.93.

шакли дастаи конунишуда, 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 ғойб 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 наменабуд.

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

Ҳангоми минбаъд зиёд кардани суръати гардиши чарх рӯшноӣ боз пайдо мегашт. Яқин буд, ки то лаҳзае ба ойна расидану аз он баргаштани рӯшноӣ ҷойи як чокро чоки дигар мегирефт. Ин фосилаи вақт ва масофаи байни чарху ойнаро (ки 8,6 км буд) дониста, суръати нурро муайян 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 ойнаҳои 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 $\frac{4}{3}$ 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 мебошад.



Муайян кардани суръати нур бисёр судманд омад. Ин қимат дар роҳи дарк карда тавонистани табиати рӯшноӣ меёри 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 муоинаи ҳамин назария бахшида мешавад.



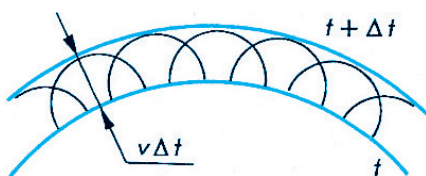
Қимати тақрибии суръати вакуумии рӯшноӣ (суръати нур) чӣ қадр аст?

1. Моҳи окт.1983 Конфронси байналмилалӣ метрологҳо таърифи зайли метрро пазируфт: «1 м масофаест, ки онро нури лазерӣ дар хало (вакуум) дар муддати 1/299792458 ҳиссаи сония мепаймояд» (ниг. китоби **С.Қодирӣ «Луғати русӣ-тоҷикӣ истилоҳоти физика»**, «Маориф», 1985 ва маҷаллаи «Квант», 1986, №2, с.28 – С. Қ.). Аз ин таъриф бармеояд, ки акнун қимати саҳеҳи суръати нур $c=299792458$ м/с пазируфта шудааст.

§40. Қоидаи (бунлодии) Хйуйгенс. Қонуни инъикоси рӯшноӣ (нур)

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 бунлодии Хйуйгенс: ҳар як нуқтае (нуқтаи муҳит), ки мавҷ то он мерасад, худ манбаи мавҷ (манбаи мавҷҳои сонавӣ, манбаи мавҷҳои дуҷумӣ) мегардад. Аз рӯйи мавқеи дар лаҳзаи t ишғолкардаи сатҳи мавҷӣ мавқеи онро барои лаҳзаи ояндаи $t + \Delta t$ дар сурате ёфттан 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.

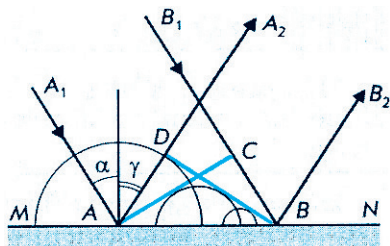


Рас.94.

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 мебароранд.

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

Биёед, инъикоси шудани мавҷи ҳамворро муоина 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 – шуъбаҳои мавҷи ҳамвори ба сатҳи MN зананда.



Рас.95.

Қунҷи байни шуои афтон ва хатти амуд (перпендикуляр)-и дар нуқтаи афтиш ба сатҳи инъикоскунанда кашидашуда α -ро қунҷи афтиш меноманд.

Барои ёфтани сатҳи мавҷии мавҷи инъикосшуда рӯрӯӣи мавҷҳои сонавӣ (ки марказҳошон дар сарҳадди муҳитҳо меҳобанд) хатти фарогир (хатти ҳовӣ) кашидан мебояд.

Қитъаҳои гуногуни сатҳи мавҷии AC ба сарҳадди инъикоскунанда на дар як вақт мерасанд. Пас, мавҷҳо дар нуқтаи A назар ба нуқтаи B ба қадри

$$\Delta t = \frac{CB}{U} \text{ (} v \text{ – суръати мавҷ)}$$

пештар ангехта мешаванд.

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

$$r = AD = v \cdot \Delta t = CB.$$

Тағйироти радиусҳои мавҷҳои сонавии зодаи манбаъҳои байни нуқтаҳои A ва B дар рас.95 тасвир ёфтааст. Хатти фарогири мавҷҳои сонавӣ ҳамвории DB аст, ки расандаи сатҳҳои кӯравӣ мебошад. Ин фарогир сатҳи мавҷии мавҷи инъикосгаштaro ифода мекунад. Шуоъҳои инъикосгаштаи AA_2 ва BB_2 нисбат ба сатҳи мавҷии DB мавқеи амудӣ доранд. Кунҷи байни хатти амуди ба сатҳи инъикоскунанда кашидашуда ва шуоъи 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 дорои тарафи амудӣ).

Пас, **кунҷи инъикос ба кунҷи афтиш баробар аст:**

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

Ғайр аз ин, чунонки аз тасвирҳои сохтаи Хйуйгенс бармеояд, шуоъи афтида, **шуоъи инъикосгашта ва хатти амуде, ки ба нуқтаи афтиши шуоъи кашида шудааст, дар як ҳамворӣ меҳобанд.** Ва ҳамин аст қонуни инъикоси рӯшноӣ.

Агар самти рафти шуоъҳоро чаппа гардонем, он гоҳ шуоъи 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.





Кристиан Хйуйгенс (1629–95) – физикдон ва риёзидони барҷастаи ҳоландӣ, эҷодкунандаи нахустин назарияи мавҷии рӯшноӣ. Ӯ бунёди назарияи худро дар китоби «Рисолаи рӯшноӣ» (с.1690) баён кардааст. Хйуйгенс барои мурағаб гардондани гашти соат ованг ё худ раққосакро ба кор бурд, барои ёфтани даври чунбиши 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 калами Хйуйгенс аст. Ӯ бо ёрии лӯлаи нучумии такмилдодаи худ Титан ном радифи Зуҳалро кашф кардааст.

Қоидаи умумии густариши мавҷҳои гуногунтабиат, ки мо муайян 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 пешини вақт ба воситаи сохтмони содаи геометрӣ (сохтмони ҳандасӣ) ёфта шавад. Қонуни инъикоси мавҷҳои рӯшноӣ аз ҳамин қоида баромадааст.



1. *Тасвири манбаи нуқтагиро дар ойнаи ҳамвор дар асоси қонуни инъикос чӣ тавр сохтан мумкин аст?*
2. *Сабаб чист, ки ойнаи ҳамворро ба сифати экрани кино истифода кардан нумумкин аст?*

§41. 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 муҳити яқум бармегардад, яъне дар ин маврид инъикоси рӯшноӣ рӯй медиҳад. Агар муҳити дуҷум шаффоф бошад, қисми дастаи ба сарҳадди муҳитҳо 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 мавқеи ашё мегардад. Ин аз мушоҳидаҳои одӣ бармеояд. Дар

тахи 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 мавқеи чашмро тағйир нодода, дар истакон об резед. Он гоҳ мебинед, ки хангоми баланд шудани сатҳи об тахи истакон ва танга гӯё боло мебароянд. Танга, ки аввал танҳо қисман менамуд, акнун пурра намудор мегардад.

Дар худи ҳамин истакони обдор қаламеро моил мегузорем. Агар ба ин зарф аз паҳлу нигарем, мебинем, ки қисми дар об ғӯтидаи қалам сӯе гечида менамояд. Шарҳи ин падидаҳо он аст, ки шуоъҳои рӯшноӣ дар сарҳадди ду муҳит мешикананд.

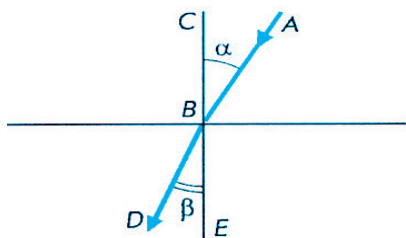
Қонуни шикасти нур мавқеи нисбии шуоъи афтон AB (рас. 96), шуоъи шикаста DB ва хатти амуди CE -ро, ки ба сатҳи ҷудоии муҳитҳо то нуқтаи афтиш кашида шудааст, муайян мекунад. Кунҷи α – кунҷи афтиш ном дораду, кунҷи β – кунҷи шикаст.

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).

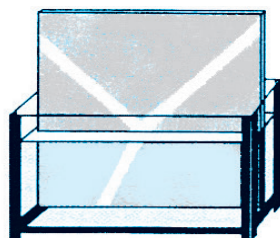
Бароварди қонуни шикаст. Қонуни шикаст ба роҳи таҷриба ханӯз а.ХVII муқаррар шудааст. Мо онро дар заминаи қоидаи бунлодии Ҳййгенс ҳосил мекунем.

Шикасти шуоъҳои рӯшноӣ дар мавриди аз як муҳит ба муҳити дигар гузаштани он бо ин алоқамандӣ дорад, ки суръати рафти рӯшноӣ дар ҳар муҳит ҳар хел аст. Суръати рафти рӯшноиро барои муҳити якум бо v_1 ишорат мекунему барои муҳити дуюм – бо v_2 .

Бигзор, ба сарҳадди ду муҳит, масалан, аз ҳаво ба об мавҷи ҳамвори рӯшноӣ бизанад. Сатҳи мавҷии AC нисбат ба шуоъҳои



Рас.96



Рас.97.

A_1A ва B_1B мавқеи 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. Бинобар ин дар лаҳзаи дар нуктаи B сар шудани ангехти мавҷи сонавӣ (мавҷи дуҷумӣ) мавҷи нуктаи A аллақай шакли қурае 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 воқеанд). 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. Бинобар ин

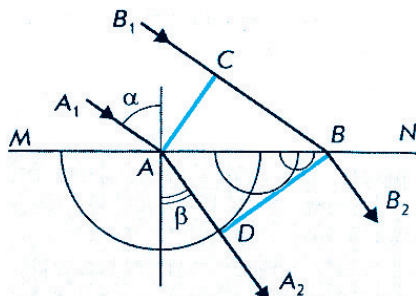
$$AD = U_2 \Delta t = AB \sin \beta \quad (5.3)$$

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

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{U_1}{U_2} = n \quad (5.4)$$

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

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



Рас.98.

Ин нукта ҳамроҳи муодилаи (5.4), ки мувофиқи *он нисбати синуси кунҷи афтиш бар синуси кунҷи шикаст барои ду муҳит бузургии собит (доимӣ) 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 доимӣ дорад.

Қобилияти шуоъшиканӣ (аслаш: *тавоғи шуоъшиканандагӣ, қобилияти шуоъшиканандагӣ*). Бузургии собите, ки дар ифодаи қонуни шикасти рӯшноӣ омадааст, маънии қобилияти шуоъшикании нисбӣ ё худ қобилияти шуоъшикании муҳити дуюм бар муҳити якум 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 муҳитҳои баробар мебошад, ки рӯшноӣ дар сарҳадди онҳо мешиканад:

$$n = \frac{U_1}{U_2} \quad (5.5)$$

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

Қобилияти шуоъшикании муҳит нисбат ба ҳало (вакуум) қобилияти шуоъшикании мутлақӣ (*ҳамин*) муҳит ном гирифтааст. Ин бузургӣ дар мавриди аз ҳало 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 мутлақӣ муҳити якум n_1 ва муҳити дуюм n_2 ифода кардан осон аст. Дар ҳақиқат, азбаски

$$n_1 = \frac{c}{U_1} \quad \text{ва} \quad n_2 = \frac{c}{U_2}$$

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

$$n = \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5.6)$$

Муҳити қобилияти мутлақӣ шуоъшиканиаш хурдтар *муҳити оптикӣ* тунуктар ном дорад.

Қобилияти мутлақӣ шуоъшикании муҳит ба суръати дар ҳамин муҳит гузариш ёфтани рӯшноӣ бастагӣ дорад ва суръати ин гузариш, дар навбати худ, ба ҳолати физикии муҳит, яъне ба ҳарорати модда, зичии он, шиддатҳои чандир ва ғ. бастагӣ до-

рад. Қобилияти шуоъшиканӣ ба мушаххасоти худи рӯшноӣ низ вобаста аст. Вай барои нури сурх назар ба сабз ва барои нури сабз назар ба бунафш камтар аст.

Бинобар ин дар чадвали қиматҳои қобилияти шуоъшикании моддаҳои гуногун маъмулан ранги нури рӯшноӣ ва ҳолати муҳит нишон дода мешавад. Агар чадвал 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 – қисми саҳт ё ҳаво – моеъ гузаштани рӯшноиро муоина кунем. Аммо қобилияти мутлақи шуоъшикании моддаи саҳт ё моеъ n_2 аз қобилияти шуоъшикании ҳамин модда нисбат ба ҳаво кам фарқ мекунад. Чунончи, қобилияти мутлақи шуоъшикании ҳаво n_1 дар шароити муътадил барои нури зард тақрибан 1,000292 аст. Пас,

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

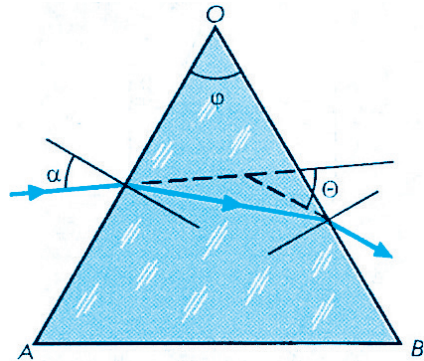
Қиматҳои қобилияти шуоъшикании баъзе моддаҳо нисбат ба ҳаво дар чадв. 2 (барои нури зард) оварда шудааст.

Чадв. 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

Рафти шуоъҳо дар манишури секунҷа. Қонуни шикасти рӯшноӣ 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 шу-
дааст, ки он нисбат ба теғаҳои пахлуи маншур мавқеи амудӣ
(перпендикулярона) дорад. Шуоъ дар рӯяҳои OA ва OB сӯи асоси
маншур мешиканад. Кунҷи байни ин рӯяҳо ϕ кунҷи шуоъшикани
маншур ном гирифтааст. Кунҷи майли шуоъ θ ба кунҷи шуоъ-
шикани маншур ϕ , қобилияти шуоъшикани моддаи маншур n
ва кунҷи афтиши шуоъ α бастагӣ дорад. Онро ба василаи қонуни
шикасти рӯшноӣ (5.4) ёфтан мумкин аст.



Рас.99.



Қонуни шикастро хотирнишон мекунем. Ин қонун чӣ аҳамият дорад? Формулаи (5.4) дар таъхиси мавридҳои сершумори шикасти шуоъҳо кор 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.



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

§42. Инъикоси пурра

Қонуни шикасти рӯшноӣ имкон медиҳад, ки рӯйдоди бисе аҷиб ва амали муҳим – падидаи инъикоси пурраи рӯшноӣ ба хубӣ маънидод 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 $v_1 > v_2$ мебошад ва он гоҳ мувофиқи қонуни шикасти (5.4)

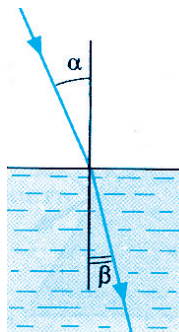
$n > 1$ хоҳад буд. Бинобар ин $\alpha > \beta$ мешавад (рас. 100): шуоъи шикаста сӯйи хатти амуди дар сарҳадди ҳарду муҳит кашидашуда майл меҳӯрад. Агар шуоъро самти чаппа диҳем, яъне онро ба роҳи рафти шуоъи шикастаи собиқ аз муҳити оптикан зичтар ба муҳити оптикан тунуктар равона созем (рас.101) он гоҳ қонуни шикастро чинин навиштан мумкин аст:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{n}. \quad (5.8)$$

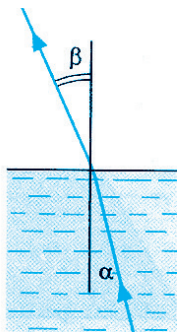
Шуоъи шикаста баъди аз муҳити оптикан зичтар баромадан бо роҳи рафти шуоъи афтидаи собиқ равона мешавад. Бинобар ин дар ин маврид $\alpha < \beta$ хоҳад буд, яъне шуоъи шикаста ба самте равона мегардад, ки он аз хатти амуд дуртар аст.

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

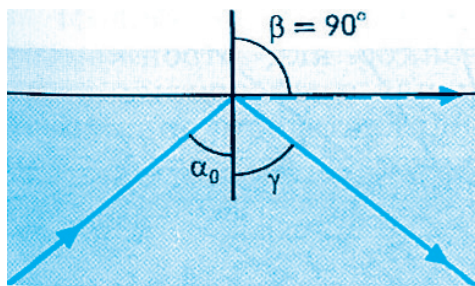
Биёед, мулоҳиза кунем, ки дар сурати $\alpha < \alpha_0$ будан чӣ падида мушоҳида мешавад. Хангоми ба сарҳадди ҷудоии ду муҳит задани рӯшноӣ шуоъ, ҷунонки дар боло зикр шуд, қисман мешиканад ва қисман инъикос мегардад. Дар сурати $\alpha > \alpha_0$ будан шикасти рӯшноӣ имконнопазир аст. Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар ин маврид шуоъ бояд пурра инъикос шавад. Маҳз хамин рӯйдод *инъикоси пурраи рӯшноӣ* ном гирифтааст.



Рас.100.



Рас.101.



Рас.102.

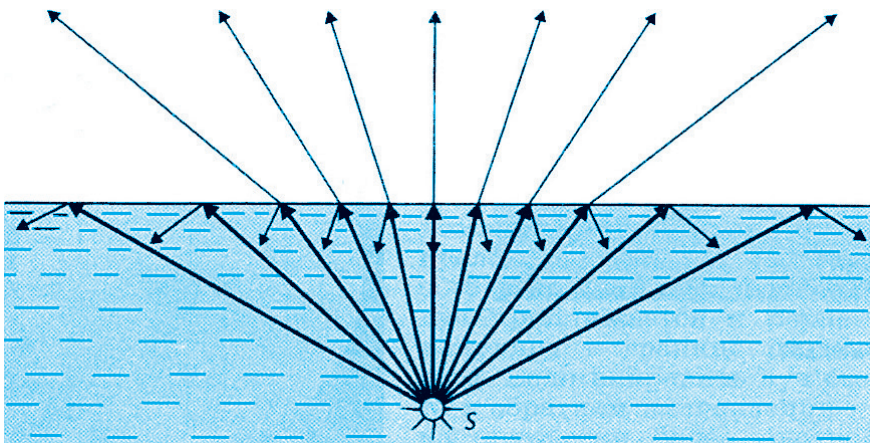
Барои мушоҳидаи инъикоси пурра нимсилиндри шишагини девори ақибаш тирагунро истифода кардан мумкин аст. Нимсилиндриро дар рӯи гирда (диск) чунон устувор мекунад, ки миёнаи сатҳи ҳамвори он дар маркази гирда бихобад (рас.103). Дасти борики рӯшноиро аз поён сӯи сатҳи паҳлуии нимсиліндр амудан ба сатҳи он равона мекунад. Шуоъ дар ин сатҳ намешиканад. Дар сатҳи ҳамвор шуоъ қисман мешиканаду қисман инъикос мегардад.



Рас.103.

Мушоҳидаҳои дақиқ нишон медиҳад, ки бо зиёд кардани кунҷи афтиш дурахшонӣ ё худ энергияи дастаи инъикосшуда меафзояд, ҳол он ки дурахшонӣ (энергия)-и дастаи шикаста кам мешавад. Энергияи дастаи шикаста хусусан дар сурати ба 90° наздик омадани кунҷи шикаст зуд кам мешавад. Ва ниҳоят, вақте ки дастаи шикаста ба қадди сарҳадди ҷудоии муҳитҳо равона мешавад (ниг. рас.102), ҳиссаи энергияи инъикосшуда ба 100% наздик меояд.

Чойи манбаи рӯшноиро тағйир дода, то мавқеи расидан мумкин аст, ки кунҷи афтиш α назар ба α_0 зиёд ($\alpha > \alpha_0$) шавад. Он гоҳ мебинем, ки дастаи шикаста гум мешавад ва тамоми рӯшноӣ аз



Рас. 104

сарҳадди ҷудой инъикос мегардад, яъне дар ин маврид инъикоси пурра рӯй медиҳад.

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

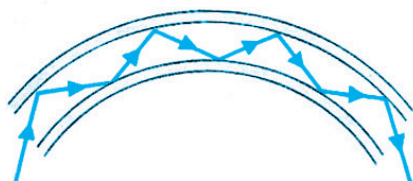
Кунҷи афтиш α_0 -и мутобиқ ба кунҷи шикасти 90° кунҷи ҳудудии инъикоси пурра ном гирифтааст. Барои қимати $\sin\beta=1$ формулаи (5.8) шакли зайл мегирад:

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

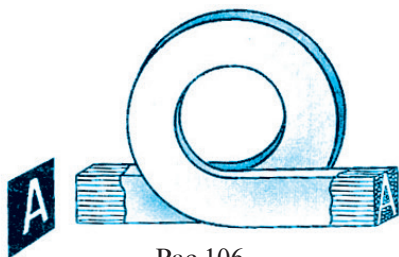
Қимати кунҷи ҳудудии инъикоси пурра α_0 маҳз аз ҳамин баробарӣ ёфта мешавад. Ин кунҷ барои об ($n = 1,33$) $48^\circ 35'$, барои шиша ($n = 1,5$) $41^\circ 51'$..., барои алмос ($n = 2,42$) $24^\circ 40'$ аст. (Дар ҳамаи ин мавридҳо ба сифати муҳити дуюм ҳаво гирифта шудааст).

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

Инъикоси пурра барои ба воситаи найчаҳои борики нарми шаффоф – *шуоълӯла* нақл кардани рӯшноӣ ва тасвирҳо истифода мешавад. Шуоълӯла найчаи шишагини бисёр борики цилиндришаклест, 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 чандқарата) бо ҳар гуна роҳи рост ё қавқавона кардан мумкин аст (рас.105). Найчаҳо маъмулан дар шакли бандча истифода мешаванд. Ҳар як найча (наҳ)-и бандча яке аз ҷузъҳои тасвирро нақл мекунад (рас.106). Ин гуна бандчаҳо, масалан, дар тиб барои таҳқиқи узвҳои дарунӣ истифода мешаванд.



Рас.105.



Рас.106.

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 ҳангоми гузариши 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. Кунҷи ҳудудии инъикоси пурра барои сарҳади 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 гузариши ростхаттаи рӯшноӣ ва қонунҳои инъикосу шикаст ҳалли чанд масъаларо бинем.

1. Бинои дар рас.107 тасвиршуда дар партави Офтоб сояе меафканад, ки он $L=36$ м дарозӣ дорад. Дар ҳамон шароит чӯби 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:

$$H = \frac{L}{l} h = 30 \text{ м.}$$

2. Дар канори ҳавз ҷароғпояе истодааст, ки дар нӯкаш фокуси тобон дорад. Мушоҳиде аз канори дигари ҳавз тасвири фокусро дар об наззора мекунад. Шуоъҳои афкандаи фокус аз сатҳи об инъикос гашта, ба ҷашми мушоҳид мерасанд. Бо усули сохтмони геометрӣ мавқеи нуқтаеро дар сатҳи об ёбед, ки шуоъ аз он инъикос гашта ба ҷашми мушоҳид мерасад. Баландии ҷароғпояро бо H , қадди мушоҳидро бо h ва масофаи байни ҷароғпояву мушоҳидро бо l ишорат карда, масофаи нуқтаро то ҷароғпоя 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. Тасвири S_1 дар идомаи хатти амуд дар масофаи ҳамчени CD меҳабд, 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. Бинобар ин барои ёфтани самти рафти шуоъи инъикосшуда аз нуқтаи S_1 то нуқтаи B (яъне то ҷашми мушоҳид) хатти рост мекашем – ин хат маҳз аз ҳамон нуқтае (дар сатҳи об) мегузарад, ки мо онро ҷӯём.

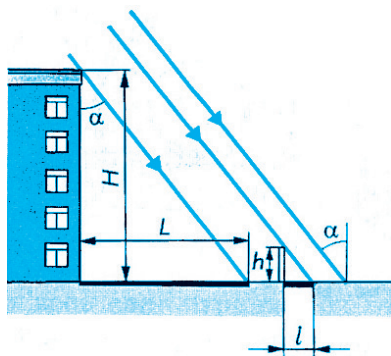
Секунҷаҳои ADS ва ACB секунҷаҳои монанданд, зеро кунҷи тези яқеаш ҳамчени ҳамон гуна кунҷи секунҷаи дигар аст. Пас,

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

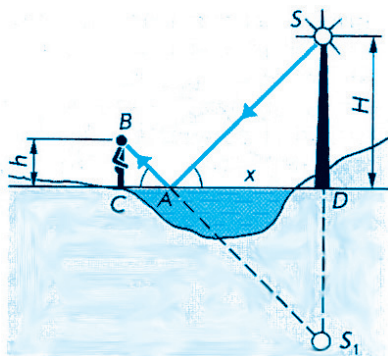
ё ки

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

яъне нуқтаи матлуб аз ҷароғпоя ин кадр дурӣ дорад:



Рас.107.

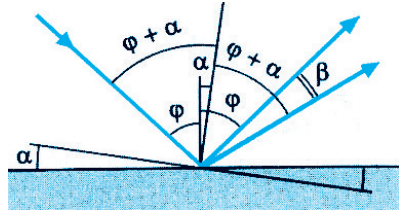


Рас.108.

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

3. Ойнаи ҳамворро дар гирди меҳваре, ки дар ҳамвори ойна меҳобад, ба кунчи $\alpha=17^\circ$ гардиш медиҳем. Дар сурати доимӣ (бетағйир) мондани самти шуоъи афтон шуоъи инъикосшаванда чӣ дараҷа гардиш меҳӯрад?

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



Рас.109.

4. Шуоъи рӯшноӣ ҳангоми аз ҳаво ба об задан аз самти аввали рафти худ чӣ дараҷа майл меҳӯрад? (Кунчи майлро бо θ ишорат мекунем). Кунчи афтишро $\alpha=75^\circ$ гиред.

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

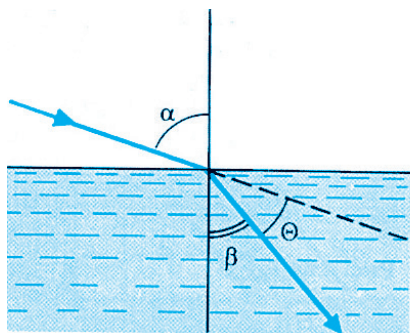
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

(n – қобилияти шуоъшикани об) аст. Пас,

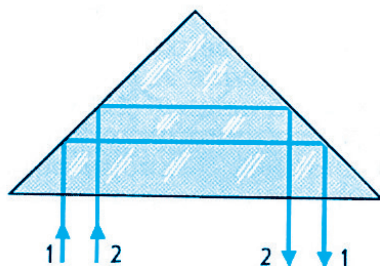
$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \approx 0,727.$$

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

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



Рас.110.



Рас.111.

5. Рафти шуоъҳои рӯшноиро дар маншур (призма)-и шишагини сеқунҷае нишон диҳед, ки асоси он сеқунҷаи росткунҷаи баробарпахлуст. Шуоъҳои рӯшноӣ ба рӯяи васеи маншур (амудан ба ҳамин рӯя) мезананд.

Ҳал. Шуоъҳо ҳангоми ба рӯяи васеи маншур зада, аз сарҳадди ҳаво–шиша гузаштан самти худро тағйир намедиханд, зеро дар ин маврид кунҷи афтиш сифрӣ мебошад (рас.111). Ин шуоъҳо аз рӯяи оянда пурра инъикос мешаванд, зеро дар ин маврид кунҷи афтиш 45° , яъне назар ба кунҷи ҳудудии инъикоси пурра барои шиша ($\alpha_0 = 41^\circ 51'$) зиёд аст. Сипас шуоъҳо ба рӯяи тарафи рост зада, боз пурра инъикос мегарданд ва аз он ҷо амудан сӯйи рӯяи васеъ равона мешаванд. Азбаски дар ин маврид низ кунҷи афтиш сифрӣ мебошад, шуоъҳо аз рӯяи васеъ бе тағйири самти худ берун меоянд. Ҳамин тариқ, дар ин маврид самти рафти дастаи шуоъҳо 180° тағйир меёбад. Ин хусусияти самттағйирдиҳандагии маншурӣ росткунҷа татбиқи бисёр дорад ва масалан, дар дурбинҳои маншурӣ истифода мешавад.

6. Муайян кунед, 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 ҳатти 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 зохирии он $S_1A=h$ ифода кардан мумкин аст:

$$AB=Htg\alpha=htg\beta$$

Аз ин ҷо:

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

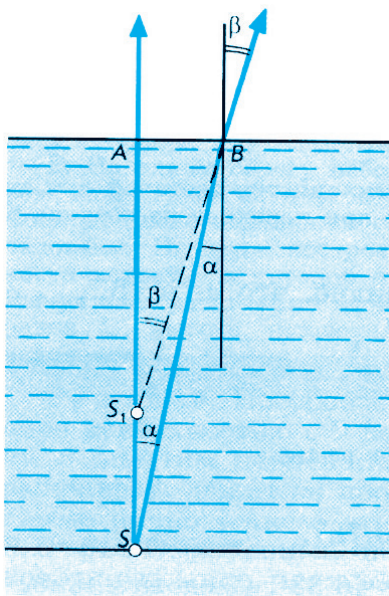
Азбаски кунҷҳои α ва β кунҷҳои хурданд, пас, чунин навиштан ҷоиз аст:

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

ё худ

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

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



Рас.112.

Машқи 5

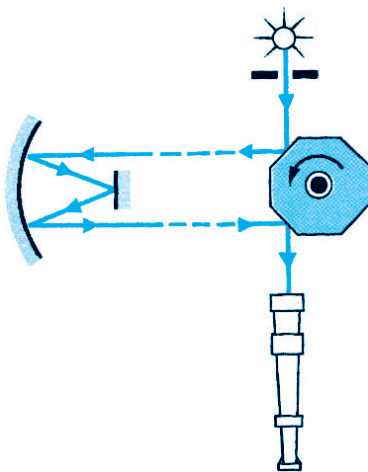
1. Дастаи рӯшноӣ ба қуттиё аз сӯрохи девори паҳлу даромада, аз сӯрохи девори муқобили он мебарояд. Агар ҳавои даруни қуттӣ соф бошад ва шумо ба даруни қуттӣ аз сӯрохи девори пеш нигаред, дастаи рӯшноиро дида метавонед ё не?

2. «Хонае, ки Иван Иванович ба он ворид гашт, тамоман торик буд, зеро бодгона (табақаҳои тахтагӣ ё оҳанин барои маҳкам кардани тиреза ё ба гуфти Муҳаммадҷон Раҳимӣ – роға) маҳкам

буд ва шуоъи Офтоб аз сӯрохи он гузашта, ранги тирукамон мегирифт ва ба девори муқобил зада, дар он манзараи ранго-баранги бомҳо, дарахтҳо ва либосҳои овезони 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 падида ро шарҳ диҳед.

3. Сабаб чист, ки дар партави фонус сояи одам возеҳ меояду сояи сари \bar{y} – не?

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

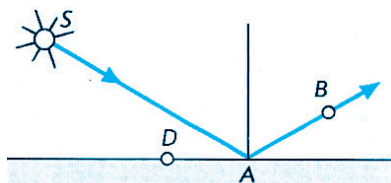


Рас.113.

5. Дасти шуоъҳои мувозии фонуси аксандоз (фонуси проексионӣ) ба самти уфуқӣ раван аст. Ойнаи ҳамворро нисбат ба ҳамвори уфуқӣ таҳти кадом кунҷ устувор кардан мебояд, ки дасти 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 таҳти кунҷи $\alpha=30^\circ$ расонда шудаанд. Дар байни онҳо дар як хел дурӣ аз сатҳи ҳарду ойна дар масофаи $l=10$ см аз хатти расиши ойнаҳо қисми хурде воқеъ аст. Тасвирҳои мавҳуми ин қисм дар ойнаҳо аз якдигар чӣ қадр дурӣ хоҳанд дошт?

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



Рас.114.

1) қонуни инъикос риоя наменшуд;

2) шуоъ барои паймудани роҳи SDB назар ба роҳи SAB вақти бештар сарф мекард.

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

9. Қобилияти шуоъшикании обро дар нисбат бо алмос ва қобилияти шуоъшикании карбони сулфуриро дар нисбат бо ях баҳоодод кунед.¹

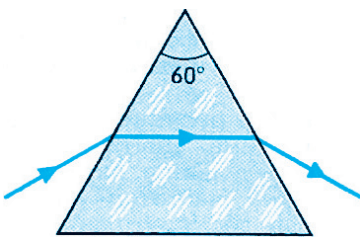
10. Кунчи ба сафҳачаи ҳамвори мувозирӯя (параллелрӯя) афтидани шуоъҳои мувозӣ $\alpha=60^\circ$ ва масофаи байни шуоъҳои аз тариқи сафҳача гузаштаи рӯшноӣ $l=0,7$ см аст. Масофаи байни нуқтаҳоеро ёбед, ки дар онҳо шуоъҳои мувозӣ аз сафҳача берун меоянд.

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

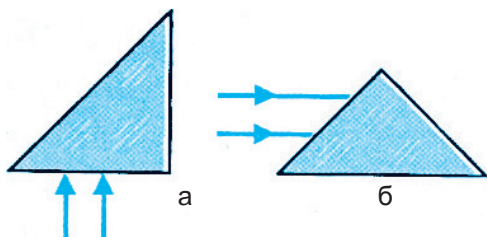
12. Шуоъи аз қабати ғафси об бароянда дар сатҳи он пурра инъикос мешавад. Агар дар рӯи об як қабат равшани чалғӯза резем, он шуоъ боло (ба ҳаво) мебарояд ё не?

13. Буриши маншур шакли секунҷаи баробартараф дорад. Шуоъи рӯшноӣ дар мавриди аз маншур гузаштан дар нуқтаҳои мешиканад, ки онҳо аз қуллаи секунҷа як хел дуранд (рас.115). Зиёдтарин қимати имконпазири қобилияти шуоъшикании моддаи маншур n чӣ қадар аст?

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



Рас.115.



Рас. 116.

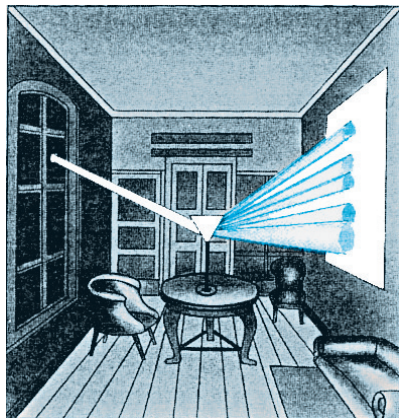
1. Ҳамаи шумо дар бораи ранг камобеш тасаввурот доред. Ранг хосияти эҳсосоти муайяни бинобавучудоварандагии чисмхост, ки худ рӯшноӣ меафкананд ё рӯшноии ба сатҳашон расидаро инъикос мекунанд. Ин ё он рангро одам аз рӯи эҳсосоти бинии худ «ба ашё мебахшад».

§43. Дисперсияи рӯшноӣ

Қобилияти шуоъшиканиши модда ба кунҷи афтиши дастаи рӯшноӣ бастагӣ надорад, аммо ба ранги рӯшноӣ вобаста мебошад. Ин кашфи Нйутон аст.

Нйутон дар мавриди такмили телескоп (дурбини нучумӣ) ошкор сохт, ки канорҳои объективи асбоб¹ ба рангҳои басте 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 сарзанандаи рангҳоро, ки онҳоро то он дам касе ҳатто гумон намебурд, таҳқиқ кард» (аз навиштаҷоти рӯйи оромгоҳи Нйутон). Падидаи гуногунии рангҳои тасвири ҳосилкардаи линза пеш аз Нйутон низ мушоҳида шудааст, албатта. Пеш аз Нйутон инчунин ошкор гашта буд, ки канорҳои чисмҳои 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 борики рӯшноиро равона кардан мебояд. Дар таҷрибаи ӯ дастаи рӯшноии Офтоб ба хонаи торик аз сӯрохи танги бодгонаи тиреза мебаромад. Шуоъ ба маншури шишагин зада, мешикаст ва дар девори муқобил тасвири дарозрӯи рангоранг (ба тартиби рангҳои тирукрамон) ба вучуд меовард.



Рас.117.

Тасвири шаклии таҷрибаи Нйутон дар рас.117 омадааст. Аз рӯйи расму одати дерине, ки тирукрамонро аз ҳафт ранг иборат медонистанд, Нйутон низ шуои аз маншур гузаштаре 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

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

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, чунонки то он дам мепиндошанд. Маншур рӯшноиро тағйир намедихад, балки онро ба ҷузъҳои таркибӣ ҷудо мекунад (ниг. варақаи 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 яқум 180° гардонда шудааст, ҳама дастаҳои спектр (тайф)-ро ҳамчун биёрем, мебинем, ки боз рӯшноии сафед ҳосил мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. II). Вале агар мо ягон қисми тайф, чунончи, сабзашро ҷудо кунему қисми боқимондашро аз маншури дигар гузаронем, ранги он дигар тағйир наменпазирад.

Хулосаи муҳими дигаре, ки Нйутон 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 қобиляти шуоъшиканандагии гуногун дорад). Сахттар аз ҳама шуоъҳои бунафш мешикананду аз ҳама камтар – шуоъҳои сурх. Нйутон вобастагии дараҷаи шикасти рӯшноиро ба ранги он dispersion номидааст¹, ки ин дар забони русӣ ба шакли дисперсия пазируфта шудааст.

Қобиляти шуоъшиканӣ ба суръати рафти рӯшноӣ дар модда х вобаста мебошад (ниг. §41). Қобиляти мутлақи шуоъшиканӣ $n = \frac{c}{v}$ аст. Шуоъи сурх аз он сабаб кам мешиканад, ки нури сурх дар модда суръати зиёдтарин дорад; ва шуои бунафш аз он сабаб сахт мешиканад, ки рӯшноии бунафш дар модда бо суръати камтарин паҳн мешавад. Маҳз ҳамин аст, ки маншур рӯшноии сафедро тачзия (ҷузъ-ҷузъ) 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. §39) дар лаҳзаи аз паси сайёра баромадан сурх метофт. Аммо воқеият на чунин аст.

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

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

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 табиатро шарҳ додан осон аст. Ин ё он чиз, масалан, варақи коғаз агар ҳама рангҳои ба рӯйи он занандаро инъикос кунад, сафед менамояд. Агар рӯйи ҳамон варақи 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 қошифаи Нйутон мебошад) нахустин қадам буд дар роҳи дарки табиати рангҳо. Ва моҳияти амиқи 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 шудааст баҳои «хуб» – бо ранги сабз. Ва ду шиша дорем – яке сурху дигаре – сабз. Аз тариқи кадом шиша мебояд ба коғаз нигарист, ки танҳо баҳои «аъло» намояд?
2. Чаро танҳо дастаи ба қадри кофӣ борики рӯшноӣ баъди аз манишур (призма) гузаштан тайф (спектр) медиҳаду (яъне ба рангҳо чудо мешаваду) дар сурати истифода шудани дастаи васеъ танҳо канорҳои даста ранга менамоянд?
3. Дисперсияи рӯшноӣ чист?

§ 44. Интерференс (тадохул)-и мавҷҳои механикӣ

Мо тарзҳои чен кардани суръати рӯшноиро муоина кардем ва фаҳмидем, ки рӯшноӣ дар ин ё он муҳит назар ба вакуум (хало) бо суръати пасттар густариш меёбад. Ин дурустии қоидаи бун-

лодӣ (принсип)-и Ҳйуйгенсро, ки падидаҳои инъикос ва шикасти рӯшноиро ба хубӣ шарҳ додааст, тасдиқ мекунад.

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

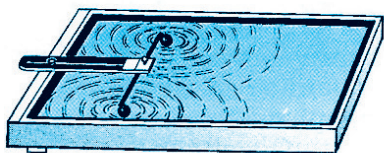
Интерференс падидаи мураккабест. Барои хубтар дарк шудани моҳияти он, биёед, аввал интерференси мавҷҳои механикиро муоина кунем.

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

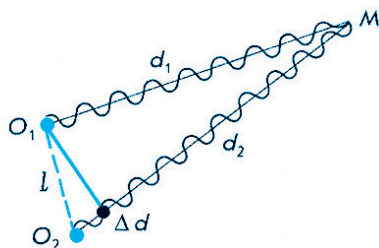
Инро равшантар аз ҳама мушоҳидаи мавҷҳои сатҳи об нишон медиҳад. Агар ба рӯйи об якбора ду санг партофта, ду ҳалқамавҷ ба вучуд биёрем, мебинем, ки ҳар як мавҷ аз тариқи мавҷи дигар мегузарад ва тавре рафтор мекунад, ки гӯё он мавҷи дигар тамоман вучуд надошта бошад. Айнан ҳамин тавр адади зиёди мавҷҳои 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 чамъ 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 қитъаҳои об ба изтиробии саҳт (ба ғалаён) меоянд. Агар дар ҳамон як ҷо тегаи як мавҷ ё худ нӯки як мавҷ бо нӯки мавҷи дигар дучор ояд, изтиробии об саҳт мешавад, вале агар нӯки як мавҷ бо хамаи мавҷи дигар ба ҳам оянд, об изтироб намекунад.

Ва умуман, дар ҳар як нуқтаи муҳит лаппишҳои зодаи ду мавҷ чамъ мешаванд. Чунбиши натиҷавии ҳар як зарраи муҳит (об) аз чамъи алҷабрӣ (алгебравӣ)-и чунбишҳое иборат хоҳад буд, ки



Рас.118.



Рас.119.

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 лапишҳои натиҷавӣ ба вучуд меояд, интерференс (яъне тадохул) номидаанд.¹

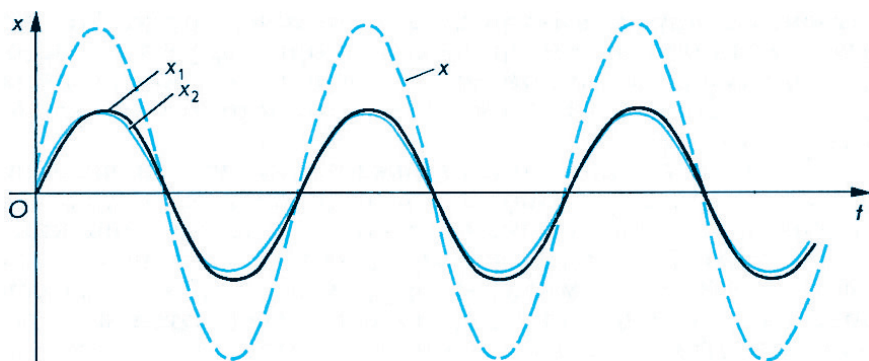
Акнун бинем, ки интерференс дар чӣ гуна шароит ба вучуд меояд. Барои ин зам шудани мавҷҳои сатҳи обро муфассалтар муойина мекунем.

Тағорас мегирем пуроб. Барои дар рӯйи оби он ҳосил кардани ду ҳалқамавҷ ду сақоро дар шохаҳои ҳамон як мила тавре маҳкам мекунем, ки дар рас.118 омадааст. Сипас миларо бо як низоми муайян ҷунбиш медиҳем. Лапишҳои ба вучуд овардаи ду мавҷ (аз манбаҳои O_1 ва O_2 -и рас.119) дар ин ё он нуқтаи M зам шуда метавонанд. Домана (амплитуд)-и ҷунбишҳое, ки онҳоро дар нуқтаи M ҳарду манбаъ ба вучуд меоварад, умуман гӯем, фарқ доранд, зеро роҳҳои паймудани 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 амалан якхела хоҳанд буд.

Натиҷаи чамъи мавҷҳо дар нуқтаи 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 дуҷум аз мавҷи якҷум 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 нуқтаи M дар як вақт мерасанд.

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



Рас.120.

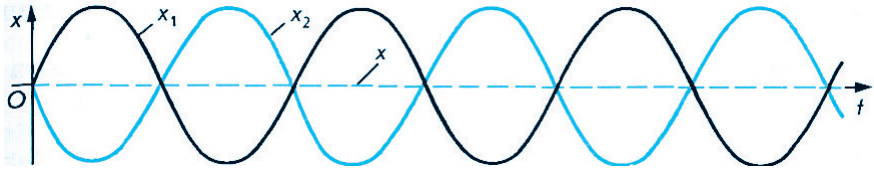
Шарти пайдоиши максимумҳои равшанӣ. Дар рас. 120 маври-
ди бо мурури замон тағйир ёфтани ҷунбишҳои x_1 ва x_2 , ки онҳоро
ду мавҷ дар сурати $\Delta d = \lambda$ шудан ба вуҷуд меоваранд, тасвир ёфта-
аст. Фарқи фазҳои ҷунбишҳо баробари сифр (ё худ баробари 2π)
аст, зеро даври синус 2π мебошад. Дар натиҷаи 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 чой гирифта тавонад.

*Доманаи лапшиҳои муҳит дар ин ё он нуқта он гоҳ зиёди зиёд
меояд (ё чӣ хеле ки мегӯянд, максимум мегирад), ки фарқи роҳҳои
ҳарду мавҷи дар он нуқта лапшиангезанда ба адади томи дарозии
мавҷ баробар бошад:*

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

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

Шарти пайдоиши минимумҳои равшанӣ. Акнун биёед бинем,
ки дар сурати дар порчаи Δd чой гирифтани ним дарозии мавҷ
чӣ падида мушоҳида мешавад. Равшан аст, ки дар ин маврид
мавҷи дуҷум аз мавҷи якум ба қадри ним давр ақиб мемонад.
Фарқи фазҳо баробари π мешавад, яъне мавҷҳо фази муқобил
хоҳанд дошт. Дар натиҷаи чамъ шудани ин лапшиҳо доманаи
натиҷавӣ баробари сифр мешавад ва дар нуқтаи мушоҳида ҳеҷ
гуна лапшиш ба вуҷуд намеояд (рас.121). Дар сурати ба ҳар гуна



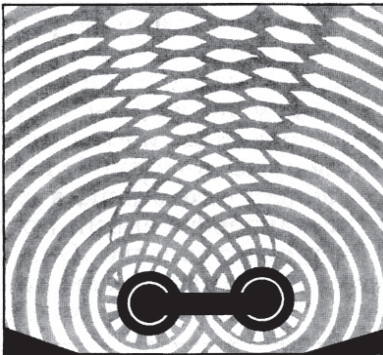
Рас.121.

адади токи нимдарозиҳои мавҷ баробар омадани фосолаи Δd низ айнан ҳамин манзара мушоҳида мешавад.

Доманаи лапшиҳои муҳит дар ин ё он нуқта он гоҳ ками кам хоҳад буд (ё чунонки мегӯянд, минимум мегирад), ки фарқи роҳҳои ҳарду мавҷи дар он нуқта лапшишангезанда ба адади тоқи нимдарозиҳои 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 лапшиши натиҷавӣ қимате мегирад, ки он ба байни до-



Рас.122.

манаи дучанда ва сифр рост меояд. Вале муҳимтар аз ҳама ин аст, ки доманаи лапшишҳо дар ҳама нуқтаҳо бо мурури замон собит (бетағйир) мемонад. Дар сатҳи об тақсимои муайян, тақсимои замонан доимии доманаҳои лапшишҳо ба вуҷуд меояд, ки манзараи интерференси мавҷҳо (яъне манзараи тадохули мавҷҳо) ном гирифтааст. Дар рас.122 сурати фотографияи яке аз ин гуна манзараҳо тасвир ёфтааст, ки онро ду ҳалқамавҷ

(мавҷҳои зодаи ду манбаъ – нуқтаҳои сиёҳ) ба вуҷуд овардааст. Қитъаҳои сафеди қисми мобайни расм максимумҳои замшудии лапшишҳо ҳастанду қитъаҳои тира минимумҳои он замшудро нишон медиҳанд.

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

Манбаъхоеро, ки ин шартхоро конеъ мегардонанд, *манбаъҳои ҷӯрфаз* ва мавҷҳои ҳосилкардаи онҳоро *мавҷҳои ҷӯрфаз* меноманд¹. Манзараи интерференсии пойдор дар мавриди зам шудани мавҷҳои маҳз ҷӯрфаз ба вучуд меояд.

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

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

Не, на чунин аст. Дар ин ҷо он нуқтаи манзараи интерференс вучуд доштани минимум онро ифода мекунад, ки ба ин нуқта 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 (ба сабаби он ки ба соҳаҳои минимумҳо ворид намегардад).



Падидаи омадани манзараи интерференс далел аст, ки дар ин маврид мо бо падидаи соф мавҷӣ сарукор дорем. Мавҷҳо ҳамдигарро маҳв карда метавонанд, ҳол он ки зарраҳои бо якдигар бархӯранда ҳеҷ гоҳ ҳамдигарро нест намеkunанд. Танҳо мавҷҳои ҷӯрфаз, яъне мавҷҳои ҳамоҳангона тағйирёбанда манзараи интерференс ба вучуд оварда метавонанд.



1. *Мавҷҳои ҷӯрфаз (коҳерентӣ) чӣ гуна мавҷанд?*
2. *Чӣ гуна рӯйдодро интерференсии мавҷҳо (ё худ тадохули мавҷҳо) меноманд?*

1. Бо вучуде ки калимаи «коҳерентӣ» (аз лотинии соҳаеус) мазмуни «алоқаманд», «вобаста», «ҳамбаста» дорад ва онро ба тоҷикӣ бо калимаҳои ҳамфаз, ҳамоҳанг, ҳамсоз, ҳамсон, ҳамсимо, ҳамгар, ҳамдус, мувофиқ ва ғ. ифода кардан мумкин аст, мо бар инем, ки ин гуна манбаъхоро манбаъҳои ҷӯрфаз ва мавҷҳои зодаи онҳоро мавҷҳои ҷӯрфаз гӯем. (С.Қ.).

3. *Шартҳои пайдоиши максимумҳову минимумҳои манзараи интерференсро баён кунед.*

§45. Интерференс (тадохул)-и рӯшноӣ

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

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

***Шарти ҷӯрфаз (коҳерентӣ) будани мавҷҳои рӯшноӣ.** Сабаби он, ки ду чароғи электрикӣ манзараи интерференсро ба вучуд оварда наметавонанд, ин аст, ки мавҷҳои рӯшноии афкандаи манбаъҳои гуногун бо якдигар ҷӯр нестанд; ҳол он ки барои ба вучуд овардани манзараи устувори интерференс мавҷҳои ҳамҷӯрро истифода кардан зарур аст. Ин гуна мавҷҳо бояд дарозии якхела дошта бошанд ва фарқи фазҳошон дар ҳар нуктаи фазо собит (доимӣ) бошад. Хотиррасон бод, ки мо ин гуна мавҷҳои ҳамҷӯр, яъне мавҷҳои дарозии якхела ва фарқи фазҳошон собитро мавҷҳои ҷӯрфаз (коҳерентӣ) номида будем.*

*Мавҷҳои афкандаи ду манбаъро аз ҷиҳати дарозӣ бо якдигар қариб айнан баробар кардан душвор нест. Барои ин кофист, ки *нурполо* (нурбез, полароид)-ҳои хуберо истифода кунем, ки аз худ танҳо рӯшноии фосилаи бисёр танги дарозии мавҷро гузаронанд. Аммо агар ҳарду манбаъ бо ҳам ноалоқаманд бошанд, фарқи фазҳои онҳоро собит нигоҳ доштан муяссар намегардад. Атомҳои манбаъ новобаста ба якдигар нур меафкананд ва он нур шадда-шаддаи синусишакл аст бо дарозии қариб якметрӣ. Ва ана ҳамин гуна шаддаҳои хоричкардаи ду манбаи мисолкардаи мо рӯйиҳам омада, зам мешавад. Дар натиҷа дар ҳар нуктаи фазо бо мурури замон, вобаста ба он ки дар ин ҷо он лаҳзаи вақт шаддаҳои мавҷҳо то чӣ андоза ҳамфаз ҳастанд (яъне фазҳошон нисбат ба якдигар чӣ дараҷа ғеҷида ё ноғеҷидаанд), доманаи лап-*

пишхо ба таври бетартибона тағйир меёбад. Мавҷҳои афкандаи манбаъҳои гуногуни рӯшноӣ аз он сабаб ноҷӯрфаз ҳастанд, ки фарқи фазҳои онҳо бо мурури замон собит намемонад¹ ва дар фазо ҳеҷ гуна манзараи пойдоре бо тақсмоти муайяни максимумҳову минимумҳои равшанӣ ба вуҷуд намеояд.

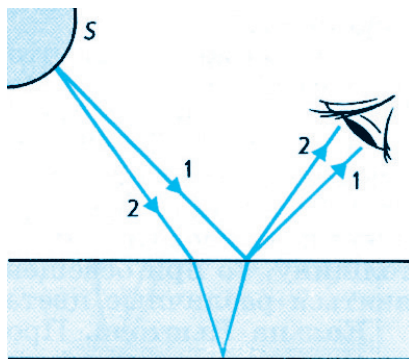
Интерференси рӯшноӣ дар пардаҳои тунук. Бо вуҷуди ин интерференси рӯшноиро мушоҳида кардан илоч дорад. Таъачҷубангез аст, ки интерференс дербоз мушоҳида шудааст, вале касе ба ин таваҷҷуҳ накардааст.

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

«Пуфаки собунӣ дар ҳаво парвоз карда, бо ҳама тобишҳои рангии хоси ашёи атроф медурахшад. Пуфаки собунӣ шояд, мафтункунандатарин ва латифтарин муъҷизаи табиат бошад» (Марк Твен).

Маҳз интерференси рӯшноӣ сабаби мафтункунандагии пуфаки собунист.

Олими англис Томас Ёунг 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 дарунии парда инъикос мегарданд, ба вуҷуд меоянд². Дар ин маврид *интерференси мавҷҳо, яъне замшудани ду мавҷе рӯй медиҳад, ки дар натиҷаи он дар нуқтаҳои гуногуни фазо ларзиши натиҷавии мавҷҳои рӯшноӣ зӯр ё суст мешавад.* Натиҷаи интерференс (зӯр ё сустшудани 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 ин-



Рас.123.

1. Ба истиснои манбаъҳои квантии рӯшноӣ, ки аввали солҳои 60-и асри гузашта сохта шудаанд (Ниг. §75).
2. Чашми мо гоҳи ба сатҳи парда назар дӯхтан мавҷҳои 1 ва 2-ро дар шабакии худ чамъ меоварад.

ъикосшуда (1) ба кадри як ё чанд дарозии мавҷ (ба адади томи дарозии мавҷ) акиб монад. Лекин агар мавҷи дуум аз мавҷи якум ба кадри ним дарозии мавҷ ё ба адади токи нимдарозии мавҷ акиб монад, рӯшноӣ суғ мешавад.

Мавҷҳои аз сатҳҳои дарунӣ ва берунии парда инъикосшаванда аз он сабаб чӯрфаз (когерентӣ) меоянд, ки ҳардуи онҳо чузбӣ ҳамон як дастаи рӯшноиянд. Ба иборати дигар, парда шаддаи мавҷҳои афкандаи ҳар як атомо ду чузбӣ мекунаду баъд ин чузбӣҳо чамъ омада, манзараи интерференсионӣ ҳосил мекунанд. Ёунг 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 мавҷҳо якхела мегирем) дар натиҷаи чамъ шудан якдигарро таквият диҳанд, зарур аст, ки ғафсии парда гуногун бошад. Бинобар 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 ҳавоӣ байни, масалан, шишаи ҳамвор ва линзаи ҳамвор-барҷастаи дар рӯйи он гузошташуда ба вучуд омада метавонад (ба шарте, ки радиуси қавии сатҳи куравии он ба кадри кофӣ дароз бошад). Ин гуна манзара шакли ҳалқаҳои ҳаммарказе дорад, ки онҳо *ҳалқаҳои Нютон* ном гирифтаанд.

Линзаи ҳамвор-барҷастае гиред, ки радиуси қавии сатҳи куравиаш хурд бошад ва онро дар рӯйи лавҳачаи шишагини ҳамвор бигзоред. Агар шумо ба сатҳи линза бодикқат (хубаш ва воситаи пурбин) назар андозед, дар чойи расиши линзаву шиша як доғи тор ва дар атрофи он маҷмӯи ҳалқаҳои рангоранг мебинед. Масофаи байни ҳалқаҳои ҳамсоя ба кадри зиёд шудани радиуси онҳо зуд кам мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. III, 1). Ҳаминҳоянд ҳалқаҳои Нютон.

Ин ҳалқаҳои Нютон на танҳо дар рӯшноии сафед, балки хангоми бо рӯшноии якранг (рӯшноии монохроматӣ) равшан сохтани линза низ мушоҳида ва таҳқиқ кард. Равшан 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.



Томас Ёунг (1773–1829) – олими англис, ки сохиби истеъдоди бисёрчанба ва шавки илмии фавқулода буд. Ёунг ҳам духтури машхур буду ҳам физикдони дорои эҳсоси фавқулода, 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 замонаи назарияи мавҷии рӯшноӣ) буд. Дарозии мавҷи рӯшноиро низ аввалин шуда Ёунг чен кардааст.

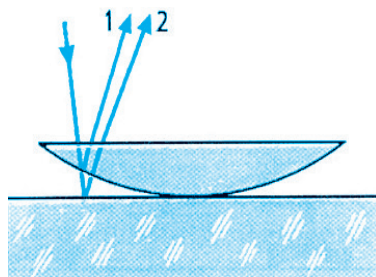
варакаи ранга, рас. III, 2 ва 3). Шумо ин халқаҳоро дар таҷрибаҳои мустақилона мушоҳида карда метавонед.

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

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

Мавҷи 1 дар натиҷаи аз сатҳи барҷастаи 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 доимист ва ин доимият аз он ҷо сар мезанад, ки роҳи мавҷи 2 назар ба мавҷи 1 дарозтар аст ва агар мавҷи 2 назар ба мавҷи 1 ба қадри 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 қадри ним дарозии мавҷ ё адади тоқи нимдарозии мавҷ ақиб монад, фазҳои



Рас.124.

1. Истилоҳи *interference*, ки маҳз «интерференс» талаффуз мешавад, низ чакидаи қалами Ёунг аст (С.Қ.).

ларзишҳои ангеҳтаи онҳо муқобили якдигар хоҳад буд – дар ин маврид онҳо дар натиҷаи зам шудан ҳамдигарро барҳам мезананд.

Агар радиуси қачии 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 дарозиашон муайян (λ) ҳамдигарро маҳв мегардонанд. Ана ҳамин масофаҳои радиусҳои ҳалқаҳои тираи нйутонӣ мебошанд (ҳалқаҳои ҳавоии баробарғафсии ҳавоӣ атрофи нуқтаи расиши линзаву шишаро чун хатҳои дойравӣ муоина кардан мумкин аст). Радиуси ҳалқаҳоро чен карда, дарозии мавҷро ёфтани мумкин аст.

Дарозии мавҷи рӯшноӣ. Аз санҷиши дарозии мавҷ барои ранги сурх қимати $\lambda_c = 8 \cdot 10^{-7}$ м ва барои ранги бунафш қимати $\lambda_b = 8 \cdot 10^{-7}$ 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 укёнуси Атлас (Атлантик)-ро аз соҳилҳои Аврупо то Амрико фаро бигирад. Агар дарозии мавҷи рӯшноиро ба ҳамин андоза зиёд кунем, назар ба паҳноии ҳамин саҳифа танҳо андаке зиёдтар мешавад.

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

Берун аз мо дар табиат ҳеҷ гуна ранг вуҷуд надорад, танҳо мавҷҳои гуногундарозӣ мавҷуданд дар дунёи мо. Чашм асбоби мураккаби физикиест, ки фарқияти ночизи дарозии 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 сафедусиёх менамояд. Ашхоси мубталои бемории рангкӯрӣ (далтонизм) низ рангҳои гуногунро эҳсос карда наметавонанд.

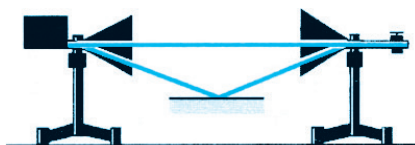
Дар сурати аз як муҳит ба муҳити дигар гузаштани рӯшноӣ дарозии мавҷ тағйир мепазирад. Инро ошкор сохтан мушкул нест: фазои байни линзаву шишаро бо об ё моеъи дигари шаффофи қобилияти шуоъшиканиаш n пур мекунем – он гоҳ радиуси ҳалқаҳои интерференсӣ кӯтоҳтар меояд.

Сабаби ин дар чист? Шумо медонед, ки дар мавриди аз ҳало (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 ҳалқаҳо 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 мавҷоро рӯбарӯйи якдигар ҷой медиҳанд (рас.125). Баъд сафҳачаи филизӣ (металлӣ)-еро дар ҳолати уфуқӣ аз поён ба онҳо наздик мебаранд ва онро оҳиста-оҳиста боло бардошта, мебинанд, ки садо гоҳ баланд мешаваду гоҳ паст.



Рас.125.

Шарҳ ин аст. Қисме аз мавҷи афкандаи карнаи генератор бевосита ба карнаи қабул мезанаду қисми дигараш аз сафҳачаи филизӣ инъикос гашта, 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 дарозииҳои мавҷ баробар мешавад ё ба адади токи нимдарозииҳои 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 дарозииҳо дар фосилаи $4 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-7}$ м меҳобанд.



1. Мавҷҳои ҷӯрфаз (коҳерентӣ)-и рӯшноиро чӣ тавр ҳосил мекунад?
2. Падидаи интерференси рӯшноӣ чӣ моҳият дорад?
3. Тафовути рангии мавҷҳои рӯшноӣ бо чӣ гуна бузургии физикии таҳисидиҳандаи рӯшноӣ алоқаманд аст?
4. Сангери ба рӯйи яхи шаффоф тавре мезанем, ки ях нашиканад, вале дар он кафҳо ба вуҷуд биёяд. Он гоҳ мебинем, ки ях бо рангҳои гуногун мавҷ мезанад. Сабаби ин дар чист?
5. Дарозии мавҷ дар n бор кам мешавад (n қобилияти шуоъшикани об нисбат ба ҳавост). Оё ин он гуна маънӣ дорад, ки гаввос

дар зери об наметавонад ашйи атрофи худро дар партави табиӣ бубинад?

§46. 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 шуоъшиканандагии газҳо ва ғ.

Мо ин ҷо танҳо ду татбиқи интерференсро муоина мекунем.

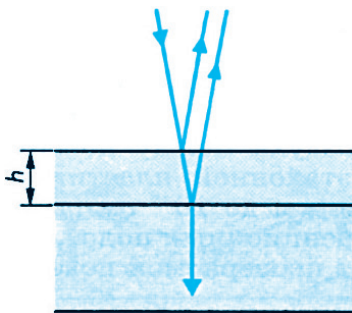
Санҷиши сифати пардозии сатҳҳо. Ба воситаи ин асбоб сифати пардозии сатҳи маснуотро бо дурустии то даҳяки дарозии мавҷ ё худ 10^{-6} см санҷидан мумкин аст. Барои ин дар байни сатҳи намунаи санҷиданӣ ва сатҳи лавҳачаи хубсайқалдидаи эталонӣ як қабати фонашакли туноқи ҳаво ба вучуд овардан мебояд. Он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

Танвири асбобҳои оптикӣ. Объективҳои олатҳои суратгириву аксандозҳо (проекторҳо), перископҳои киштиҳои зерини обӣ ва асбобҳои дигари оптикӣ адади зиёди шишаҳои оптикӣ – линза, маншур ё худ призма ва ғ. доранд. Дар ин гуна асбобҳо рӯшноӣ аз чандин сатҳ инъикос мешавад. Адади сатҳҳои нурињикоскунанда дар дастгоҳи суратгирии замони ҳозира ба 10, дар перископҳои киштии зерини обӣ то ба 40 мерасад. Дар сурати амудан ба сатҳи оптикӣ задани рӯшноӣ аз 5 то 9%-и энергияи он инъикос мешавад. Бинобар ин аз тамоми рӯшноии ба асбоб воридшаванда на бештар аз 10-20 дарсадаш то ба ҷойи мушоҳида мерасад – дар натиҷа равшании 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 созадани тасвири возеҳ иштирок намекунад. Ҳамин аст, масалан, ки дар тасвирҳои фотографияи бурҷаъ (вуал) пайдо мешавад.

Барои бартароф сохтани ин асари номатлуби инъикоси рӯшноӣ (аз сатҳҳои оптикӣ) ҳиссаи инъикосшавандаи энергияи рӯш-

ноиро 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 $n_{ш}$ кам бошад. Барои осонӣ мавриди амудан ба сатҳи парда задани рӯшноиро муоина мекунем (рас.126).



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 ҳало 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 қимати матлуб додан (яъне онро дуруст интиҳоб кардан) мебояд, зеро шиддати рӯшноии инъикосгашта ба нисбати зарифҳо (коэффисентҳо)-и шиқастии ҳарду 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 ҳама басомадҳоро хомӯшонидан имконпазир нест. Ғафсии пардаро тавре интиҳоб мекунанд, ки дар сурати амудан ба сатҳи пардапӯш задани рӯшноӣ хомӯшшудӣ пурра ба дарозии мавҷи соҳаи миёнаи тайф (спектр), яъне ба ранги сабз $\lambda_n \approx 5,5 \cdot 10^{-5}$ см рост ояд. Ғафсии матлуби парда ба чаҳоряки дарозии мавҷ (дар парда) баробар аст:

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

Инъикоси рӯшноии мутобик ба қитъаҳои канории тайф (спектр), яъне сурх ва бунафш хеле кам сушт мешавад. Ҳамин аст, ки объективи танвиршуда дар рӯшноии инъикосшуда ранги бунафши равшан мегирад. Дар замони мо суратгираҳои содата-рин ва арзонтарин ҳам шишаҳои танвиршуда доранд.



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

§47. Дифраксияи мавҷҳои механикӣ

Мавҷ гоҳи густариши ёфтаи 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 монетаҳо 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



Рас.127.

андозаҳои санг озодона давр мезанад. Мавҷ дар паси санг тавре паҳн мешавад, ки гӯё он санг умуман вучуд надошта бошад (сангҳои хурди 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

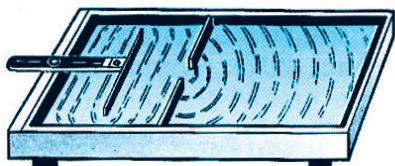
(санги калони рас.127) дар паси худ «соя» меафканад: мавч дар ин маврид ба соҳаи ақиби санг гузашта наметавонад.

Мавҷҳои садо низ хусусияти монетро давр задан доранд. Шумо садои мошини нонамоёноро шунида метавонед. Дар ҷангал шумо барои гум накардани рафикои дар паси дарахтҳо нонамоёни худ онҳоро фарёд мекунад (овоз медеҳад). Мавҷҳои садо бар хилофи мавҷҳои рӯшноӣ дарахтҳо овозона давр зада овози шуморо то ғӯши ҷурахотон мерасонанд.

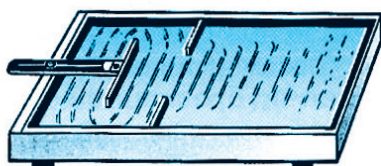
Падидаи аз рафти ростхатта майл хӯрдани мавҷҳо (дар сурати аз канори монетаи сари роҳи худ гузаштани онҳо)-ро *дифраксия* ном додаанд (*аз калимаи латинии diffractus – шикаста*). Дифраксия ҳам мисли интерференс ҳамарӯйдодҳои мавҷиро хос аст. Ҳангоми рӯй додани дифраксия сатҳи мавҷӣ дар канори садд (монетаи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

Падидаи дифраксияи мавҷҳо 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 доиравӣ паҳн мешавад, ғӯё ин ки дар роғи садд ҷисми ларзон, яъне манбаи мавҷҳо воқеъ гардида бошад. Қоидаи Хййгенс низ маҳз ҳаминро тақозо мекард (ниг. §41). Манбаҳои сонавӣ (дуюмӣ) дар роғи танг ба якдигар ҷунон наздик ҷой мегиранд, ки онҳоро ҷун як манбаи нуқтагӣ пиндоштан мумкин аст.

Агар паҳноии 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 ба тағйири шакли худ мегузарад: танҳо канорҳои сатҳи мавҷӣ андак қач меоянд (сабаби қисман ба фазои паси садд гузаштани мавҷ низ дар ҳамин аст).



Рас.128.



Рас.129.

Қоидаи бунлодии Хйўйгенс дарки падидаи дифраксияро осон мегардонад. Мавҷҳои сонавии афкандаи ин ё он қитъаи муҳит метавонад, ки канори садди сари роҳи худро давр зада, ба соҳаи паси он бигзаранд.



1. *Аз рӯйдодҳои дифраксияи мавҷҳо мисолҳои биёред, ки дар матни ин банд зикр наёфтаанд.*
2. *Дифраксияи мавҷҳо дар чӣ гуна шароит равшантар зоҳир мегардад?*

§ 48. Дифраксияи рӯшноӣ

Агар рӯшноӣ падидаи¹ мавҷитабиат бошад, пас, гайр аз интерференс бояд падидаи дифраксияи рӯшноӣ низ рӯй диҳад, зеро, чунонки болотар зикр кардем, дифраксия (яъне аз канори монеа ё сатҳ давр зада гузаштани мавҷҳо) ҳама рӯйдодҳои мавҷиро хос аст. Аммо мушоҳидаи 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 мехӯранд; 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 равшан дар муқобили сӯроҳ назар ба ҳуди андозаи сӯроҳ калонтар меояд, ки ин хилофи қонуни рафти ростхаттаи рӯшноист.

Таҷрибаи Йунг. Соли 1802 кошифи интерференси мавҷҳо Т.Йунг дар роҳи таҳқиқи падидаи дифраксия таҷрибаи классикие анҷом дод (рас.130). \bar{U} ду нуктаи аз якдигар на чандон дури B ва C -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 нозуқӣ, ки онро он вақтҳо фаҳм кардан осон набуд, таҷрибаро муваффақият бахшид. Танҳо мавҷҳои чӯрфаз (мавҷҳои кохерентӣ) интерференс

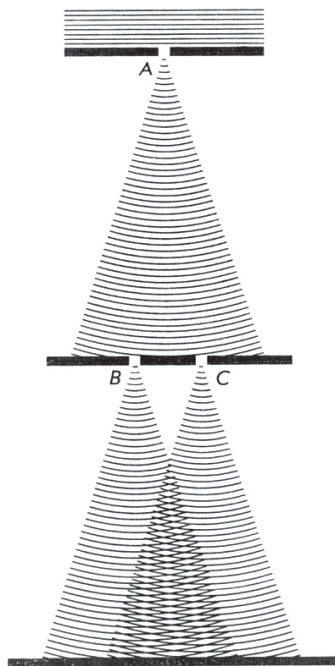
1. *Парош* – аз масдари парошидан ба маънои парешон кардан, парокандан (С.Қ.)

мешаванд. Мавҷи куравие, ки мувофиқи қоидаи Хййгенс аз сӯроҳи *A* пайдо мешавад, дар сӯроҳҳои *B* ва *C* ларзишҳои ҷурфаз ба вуҷуд меоварад. Дар натиҷаи дифраксия аз сӯроҳҳои *B* ва *C* дастаҳои махрутишакл (конусшакл)-и рӯшноӣ ба вуҷуд меоянд, ки якдигарро қисман мепӯшанд. Ҳамчунин дар натиҷаи интерференс шудани ин ду мавҷ дар пардаи намоиш (экран) раҳҳои якдариён равшану тира пайдо мешаванд. Йунг яке аз сӯроҳхоро маҳкам карда, дид, ки раҳҳои интерференсӣ нопадид мегарданд.

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

Назарияи Френел. Таҳқиқи мукаммали дифраксия бо номи О. Френел алоқаманд мебошад. Ӯ на танҳо мавридҳои гуногуни дифраксияро дар таҷриба диққаткорона таҳқиқ кард, балки назарияи микдории онро низ бунёд сохт. Ин назария 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 назарияи мавҷӣ низ Френел шарҳи дуруст додааст. Ӯ ин комёбиҳоро дар натиҷаи омезиш додани қоидаи Хййгенс ва ғояи интерференси мавҷҳои сонавӣ (дувумӣ) ба даст овардааст. Ба ақидаи Френел *сатҳи мавҷӣ дар ҳар лаҳзаи вақт танҳо хатти фарогир (хатти ҳавӣ)-и мавҷҳои сонавӣ аст, балки натиҷаи интерференси онҳо низ мебошад* (ва ҳамин аст қоидаи бунлодии Хййгенс – Френел).

Барои ёфтани домана (амплитуд)-и мавҷи дар ин ё он нуқтаи фазо пайдошуда манбаъи рӯшноиро фикран бо сатҳи сарбасте ихота кардан мебарояд. Он гоҳ интерференси мавҷҳои сонавӣ, ки аз манбаъҳои сонавӣ рӯйи ин сатҳ бармеоянд, доманаи натиҷавиро дар ҳар нуқтаи фазо шакл дода метавонад.



Рас.130.

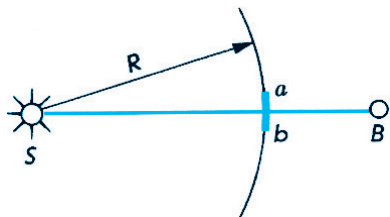


Френел Огйустен (1788 – 1827) – физикдони барҷастиаи фаронсаӣ, асосгузори оптикаи мавҷӣ. Ӯ ғояи Хйуйгенсро дар бораи интерференсияи мавҷҳои сонаӣ (дувумӣ) тақмил дода, назарияи микдорӣи дифраксияи рӯшноиро ба вучуд овард.

Френел дар заминаи ин қоида қонунҳои оптикаи геометрӣ, аз ҷумла дар муҳити яқинса рафтори ростхаттаи доштани рӯшноиро шарҳи дуруст додааст. Ӯ дар заминаи усули ба китъаҳои алоҳида тақсим кардани сатҳи мавҷӣ барои ҳисобукитоби манзараи дифраксияи усули тақрибӣ офаридааст.

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

Ин гуна баҳодод дарки онро осон мекунад, ки рӯшноӣ аз манбаи нуқтагии S (ки мавҷи куравӣ меафканад) чӣ тавр то ба нуқтаи ихтиёрии B (рас.131) мерасад. Амали яқояи манбаъҳои сонаӣи сатҳи мавҷии куравии радиусаш R -ро муоина карда, нуқтаи муҳимро дар қардан осон аст: натиҷаи интерференсияи мавҷҳои сонаӣи афкандаи ин манбаъҳо дар нуқтаи B он гуна хоҳад буд, ки гӯё ба ин нуқта танҳо манбаъҳои сонаӣи рӯйи китъаи куравии хурди ab рӯшноӣ мефиристода бошанд.



Рас.131.

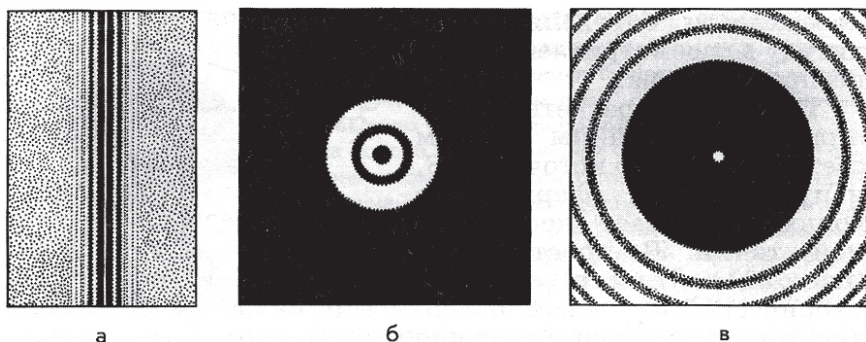
Мавҷҳои сонаӣи афкандаи манбаъҳои воқеъ дар рӯйи қисми боқимондаи сатҳи муоинашаванда дар натиҷаи интерференсияи ҳамдигарро маҳв месозанд. Пас, ин падида ҷунун сурат мегирад, ки гӯё рӯшноӣ танҳо ба рафти хатти рости SB (яъне ростхатта) паҳн мешуда бошад.

Дар баробари ин Френел падидаи дифраксияи рӯшноиро баърои садҳҳои гуногун шарҳи микдорӣ дод.

Соли 1818 дар маҷлиси Академияи илмҳои Фаронса падидаи қолибе рӯй дод. Олиме тавачҷуҳи хозиронро ба он ҷалб кард, ки аз назарияи Френел далелҳои муҳолифи ақли солим бармеояд. Барои андозаҳои муъайяни сӯроҳ ва масофаи муъайяни манбаи рӯшноӣ – сӯроҳ то пардаи намоӣиш (экран) дар маркази доғи равшан бояд доғи тирае ба вучуд ояд ва, ҳамчунин, дар маркази сояи гирдаи ношафтоф, бараъкс, бояд доғи равшане пайдо шавад. Аммо вақте ки таҷрибаи дар ҳамон ҷо доиршуда ин хулосаҳои

«ақли солим»-ро бекамуқост тасдиқ кард, хайрати хозиронро ҳадду канор набуд.

Манзараҳои дифраксионӣ аз саддҳои гуногун. Азбаски мавҷи рӯшноӣ ба се кӯтоҳ аст, пас, кунҷи майли рӯшноӣ (аз самти густариши ростхатта) низ калон нахоҳад буд. Бинобар ин барои ба вучуд 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 чандсад метр ё чанд километр бошад, садди андозаҳои чанд сантиметр ва хатто чанд метрро истифода кардан мумкин аст.



Рас.132.

Дар рас.132 фотосуратҳои манзараҳои дифраксионӣ барои саддҳои зерин тасвир шудааст: *a* – сими борик, *b* – сӯроҳи гирд ва *v* – гирда (диск). Чунонки мебинем, дар мавриди аввал ба ҷойи сояи сим чанд раҳи равшану тира пайдо мешавад; дар сурати дуюм дар маркази манзараи дифраксионии ҳосилкардаи сӯроҳи гирд як доғи тирагун ба вучуд меояду дар атрофаш – халқаҳои сафеду сиёҳ (кутри сӯрохро тағйир дода, дар маркази тасвир доғи равшан ва дар атрофаш халқаҳои сиёҳу сафед ҳосил кардан мумкин аст); дар сурати охирин дар маркази тасвири сояи гирда доғи равшане метобад, ки дар гирдаш халқаҳои тирагуни ҳаммарказ дорад.

Ҳадди татбиқпазирии оптикаи геометрӣ. Ҳама назарияҳои физикӣ рӯйдодҳои табииро танҳо тақрибан инъикос мекунанд. Ва барои ҳар гуна назарияи худуди муайяни 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 меҳаҳад. Ҳадди татбиқи назарияро танҳо баъди бунёд сохтани назарияи умумитаре муқаррар кардан мумкин аст, ки падидаҳои муоинашавандаро 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 риоя мешаванд, ки андозаҳои садди роҳи рӯшноӣ назар ба дарозии мавҷи рӯшноӣ хеле зиёд бошад.* Валекин ин қонунҳо ҳеч гоҳ ба дурустӣ риоя намешаванд.

Амали асбобҳои оптикӣ бо қонунҳои оптикаи геометрӣ ташхис дода мешавад. Аз рӯйи ин қонунҳо мо чузъиёти чизи бо микроскоп (резбин) мушоҳида карданро, ҳар қадаре ки онҳо хурд бошанд, 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 бошад, 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 ҷудодид (яъне ҷудо-ҷудо дидан)-и чизҳои хурд бо микроскоп ё телескоп. Табиати мавҷии рӯшноӣ имкони бо микроскоп дидани чузъиёти ин ё он чиз ва чизҳои хурдро маҳдуд мегардонад. Ба сабаби мавҷудияти дифраксия тасвири чузъиёти рез–рез возеҳ намеояд, зеро дастаи дар микроскоп истифодашавандаи рӯшноӣ (мисли ҳар гуна дастаи дигари рӯшноӣ) на дақиқан ростхатта паҳн мешавад, балки канори ашӯро камобеш давр ҳам мезанад. Ҳамин аст, ки тасвирҳои новозеҳ (ё худ диффузӣ) меоянд. Агар тасвирҳои новозеҳи чузъиёти мушоҳида карданӣ як шаванд, ҳеч 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 нуқта, балки дар шакли маҷмӯи

ҳалқаҳои равшану тира падида меояд. Ва дар сурати хурд будани масофаи кунҷии байни ду ситора ин ҳалқаҳо рӯйиҳам меоянд ва чашми мо дида наметавонад, ки тасвир аз чанд (як ё ду) нуқта иборат аст. Хурдтарин масофаи кунҷии байни ду нуқтаи 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 ҳам, ки андозаҳои назар ба дарозии мавҷ хеле зиёд аст, аз мадди назар дур доштан нодуруст мебуд.



Дифраксияи рӯшноӣ ҳадди таъбиқи оптикаи геометрии таъйин мекунад, ҳосияти саддҳои давр задани рӯшноӣ, қобилияти бо микроскоп ва телескоп ҷудо-ҷудо дидани чизҳои хурдро маҳдуд мегардонад.



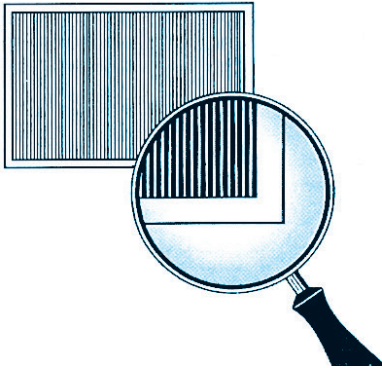
1. *Сабаб чист, ки бо микроскоп атомро дидан имкон надорад?*
2. *Қандаи Ҳйүгенс – Френелро таъриф диҳед.*
3. *Бикӯшед, ки падидаи дифраксияро дар ягон таҷриба, масалан, дар тақрори таҷрибаи Йунг мушоҳида кунед.*
4. *Қонунҳои оптикаи геометрии дар кадом мавридҳо дурустанд?*

§ 49. Панҷараи дифраксионӣ

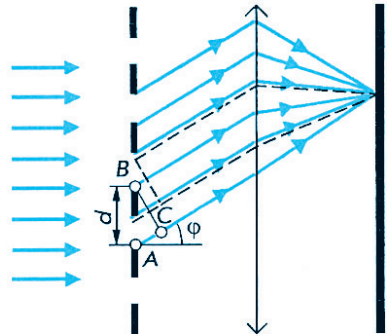
Падидаи дифраксия дар асбоби бисёр аҷиби оптикӣ – панҷараи дифраксионӣ истифода мешавад.

Панҷараи дифраксионӣ асбобест иборат аз адади зиёди роғҳои танге, ки аз якдигар бо фосилаҳои ношафтоф ҷудоанд (рас.133). Панҷараи хубро ба воситаи мошини махсусе месозанд, ки он лавҳаи шишагинро роғ-роғ мекунад. Адади роғҳо дар ҳар миллиметр то ба чанд ҳазор расида метавонад; адади умумии роғҳо дар як панҷара одатан беш аз 100 000 аст.

Панҷараи содари 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



Рас.133.



Рас.134.

паёпайи инъикоскунандаву пароканандаи рӯшноӣ иборат аст. Роғҳои рӯшнопароканандаро ба воситаи ранда дар лавҳаи филизӣ (металлӣ)-и сайқалӣ «мекананд».

Агар бари роғҳои шаффоф (ё тасмаҳои инъикоскунанда) ба a ва бари фосилаҳои ношаффоф (ё 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 дарозиаши λ бизанад (рас.134). Манбаъҳои сонавӣ дар роғҳо мавҷҳое ба вучуд меоранд, ки онҳо ҳар сӯ паҳн мешаванд. Мавридиро муоина 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 чамъ шуда, якдигарро тақвият медиҳанд. Дарозии порчаи AC -ро аз секунҷаи ACB ёфтн мумкин аст:

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

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

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

Дар назар доштан зарур аст, ки дар сурати риоя шудани шартӣ (5.13) на танҳо мавҷҳое зӯр мегаранд, ки аз канорҳои поёнии роғҳо (аз рӯйи расм) мебароянд, балки мавҷҳои аз ҳамаи нуқтаҳои дигари роғҳо оянда низ якдигарро қувват мебахшанд. Ба ҳар нуқтаи роғи яқум дар роғи дуҷум нуқтае рост меояд, ки

масофааш аз нуқтаи якум d аст. Бинобар ин фарқи роҳҳои мавҷҳои сонавии афкандаи ин нуқтаҳо $k\lambda$ мебошад ва онҳо ҳамдигарро зӯр мебахшанд.

Дар паси панҷара линзаи чамъоваранда ва дар ҳамвори конунии он пардаи намоиш мегузorem.

Линза шуоъҳои мувозӣ (шуоъҳои параллелӣ)-ро дар як нуқта чамъ меоварад. Мавҷҳо маҳз дар ҳамин нуқта чамъ 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 максимуми марказӣ, ки барояш $k = 0$ аст) ба дарозии мавҷ бастагӣ дорад, пас, панҷара рӯшноии сафедро таҷзия (чузъ-чузъ) мекунад, яъне онро ба чузъҳои 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 максимуми марказӣ ҳамон кадр 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 максимумҳо минимумҳои равшанӣ воқеъ мегарданд. Ҳар қадре ки адади роғҳо зиёд бошад, максимумҳо ҳамон кадр равшантар ва минимумҳои байни онҳо ҳамон кадр васеътар меоянд. Энергияи рӯшноии ба панҷара зананда дар он тавре тақсим мешавад, ки қариб ҳамаи он ба максимумҳо рост меояд (ба соҳаҳои мунимумҳо бошад, ҳиссаи бағоят ками ин энергия мерасад).

Ба воситаи панҷараи дифраксионӣ дарозии мавҷро басе дақиқ чен кардан мумкин аст. Агар даври панҷара маълум бошад, муъайян кардани дарозии мавҷ аз чен кардани кунҷи ϕ -и мутобиқ ба самти максимуми муоинашаванда иборат мешавад.

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 ҷудо мешавад. Сафҳаи дербози грамм-фон бо «чӯяк»-ҳои рӯяш, ки ба ҳамдигар бисёр наздиканд, ба панҷараи дифраксионии инъикоскунанда монандӣ дорад. Рӯшноии аз ин гуна панҷара инъикосгаштаи, масалан, ҷароғи электрикӣ низ ба рангҳо ҷудо мешавад. Бо ин асбоб якбора чанд тайф (спектр)-и ба қиматҳои гуногуни k мутобиқро мушоҳида кардан мумкин аст.

Ин манзара дар сурате возех меояд, ки рӯшноии чароғ ба сатҳи сафҳа (пластина) таҳти кунчи калон бизанад.



Маҷмӯи рогҳои начандон дур аз якдигар бо низоми муъайян воқеъағайта панҷараи дифраксионӣ (ё худ шабакаи дифраксионӣ) 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 мавҷеи максимумҳои ҳосилкардаи панҷараи дифраксионӣ ба адади рогҳои он бастагӣ дорад?*
2. *Агар шумо аз тариқи пари кабки дарӣ ё пари мург сӯйи чароғи электрикӣ фурузон нигаред, чӣ мебинед?*
3. *Тайфҳо (спектрҳо)-и ҳосилкардаи манишур (призма) аз тайфҳои дифраксионӣ чӣ фарқ доранд?*

§50. Арзияти мавҷҳои рӯшноӣ. Қутбиш (поларизатсия)-и рӯшноӣ

Падидаҳои интерференс ва дифраксия, бешак, далеланд, ки рӯшноӣ хосиятҳои мавҷӣ зоҳир мекунад. Аммо инҳо чӣ гуна мавҷанд – арзӣ 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 муоина мекарданд, ки гӯё дар *эфир* ном муҳити фарзӣ паҳн 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 равшан набуд, ки ҷисмҳо дар эфири сахт чӣ тавр муқовимат нодида ҳаракат мекарда бошанд. Охир, эфир набояд ҳаракати ҷисмҳоро моневъ шавад! Дар акси ҳол қонуни инерсия (дурусташ: *инертиа*, яъне *шастии ҳаракат*) риоя намешуд.

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

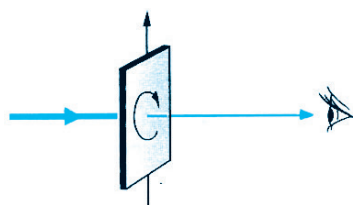
Таҷрибаҳо бо қаҳрабҳои асл (турмалин). Мо муфассалан танҳо таҷрибаеро муоина мекунем, ки бисе сода, вале бағоят ҷолиб аст.

Ин таҷрибаест бо *қаҳрабҳои асл* ном булӯр (кристалл)-и шаффофи сабзранг.

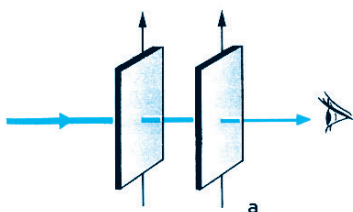
Ин булӯр меҳвари симметрия дорад ва ба гурӯҳи булӯрҳои ба истилоҳ якмеҳвара дохил мешавад. Аз ин булӯр як лавҳаи росткунҷаро тавре мебарем, ки як тарафи он ба меҳвари булӯр мувозӣ (параллел) ояд. Агар дастаи рӯшноии Офтоб ё ҷароғи электрикиро амудан ба сатҳи ин лавҳа равона созем ва лавҳаро гирди меҳвари дастаи рӯшноӣ гардиш диҳем, шиддати дастаи аз лавҳа гузаштаи рӯшноӣ тамоман тағйир намеёбад (рас.135).

Метавон гумон бурд, ки рӯшноӣ дар қаҳрабо танҳо қисман фуру бурда шуда, ранги сабзтоб гирифтааст ва дигар чизе рӯй надодааст. Аммо воқеият на чунин аст, балки гуфтан мумкин аст, ки мавҷи рӯшноӣ хосиятҳои нав гирифтааст.

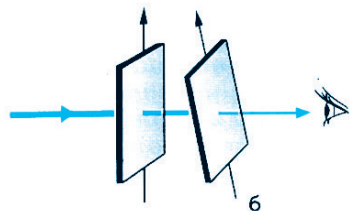
Ин хосиятҳоро дар сурате метавон ошкор сохт, ки дастаи рӯшноии аз лавҳаи қаҳрабо гузаштаро ба ҳамин гуна лавҳаи дигаре, ки ба лавҳаи якум мувозӣ аст, равона созем (рас.136,а). Дар сурати ҳамсамт будани меҳварҳои булӯрҳо боз ҳам ягон чизи аҷиб мушоҳида намешавад: дастаи рӯшноӣ дар натиҷаи дар лавҳаи дуюм фуру рафтан боз қадре сусттар мешаваду бас. Вале агар булӯри якумро қарор монда, булӯри дуюмро гардиш диҳем (рас.136,б), хомӯшшудӣ хайратангезе мушоҳида мешавад: ба қадри афзоиши кунҷи байни меҳварҳои булӯрҳо шиддати рӯшноӣ кам мешавад ва вақте ки меҳварҳо нисбат ба якдигар мавқеи амудӣ бигиранд, рӯшноӣ аз булӯри дуюм тамоман гузашта



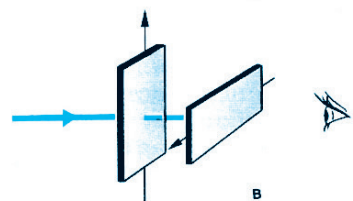
Рас.135.



а



б



в

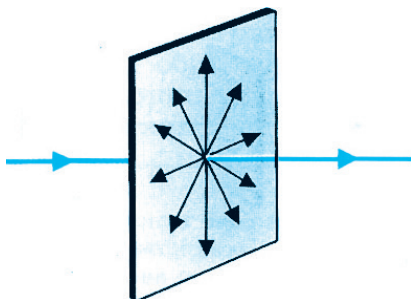
Рас.136.

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 муоинашуда ду ҳуло-са сар мезанад: аввалан, мавҷи рӯшноии аз манбаъ оянда нисбат ба самти рафти худ ба кулӣ 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 рафти 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 қаноатбахш додан мумкин аст.



Рас.137.

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

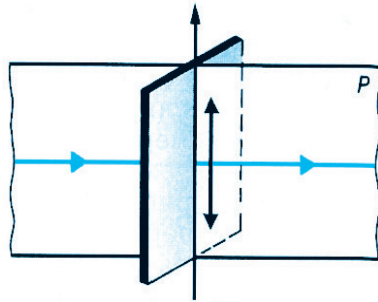
Ба ин фарз мавҷи рӯшноӣ симметрияи меҳварӣ дорад ва дар айни ҳол арзӣ аст. Мавҷҳои рӯйи

об, масалан, ин гуна симметрия надоранд, зеро зарраҳои об танҳо дар самти амудӣ ҷунбиш меҳӯранд.

Мавҷи 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 қаҳрабо 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 тааллуқдор аст. Булӯри қаҳрабо (турмалин) қобилияте дорад, ки мавҷҳои рӯшноии ларзишҳояш танҳо дар ҳамвории муайян хобидаро аз худ

мегузаронад (ин ҳамворӣ дар рас.138 бо P ишорат шудааст). Ин гуна рӯшноиро бар хилофи рӯшноии табиӣ рӯшноии қутбишуда (поларизатсияшуда) ё, саҳехтараш, рӯшноии қутбида (ҳамворполаризатсия) номидан мумкин аст¹. Аз ин нуқтаи назар рӯшноии табиӣро рӯшноии ноқутбида номидан низ мумкин аст. Ин фарз натиҷаи таҷрибаи дуҷумро ба хубӣ маънидод мекунад.

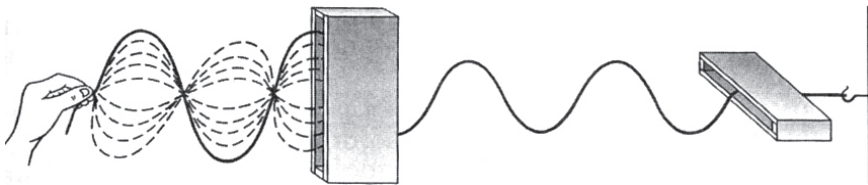


Рас.138.

Аз булӯри якум мавҷи қутбида бармеояд. Дар сурати 90° будани кунҷи байни меҳварҳои булӯрҳо рӯшноӣ аз булӯри дуҷум намегузарад.

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

Моделҳои механикии ҷанд таҷриба бо каҳрабон асл. Моделҳои механикии содаву аёниии ин падидаҳо сохтан мушқил 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 қутбии ҷубини тунуке мегузаронем (рас.139). Ин қутбӣ аз ларзишҳои ҳамасамта ларзишҳои дар ҳамвории муайян рӯйдихандаро «ҷудо» мекунад, яъне аз қутбӣ мавҷи қутбида берун меояд. Ва агар дар роҳи ин мавҷ айнан ҳамин гуна қутбии дигаре бигзорему онро



Рас.139.

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

нисбат ба қуттии якум 90° гардонем, ларзишҳо (мавҷҳои таноб) аз он намегузаранд: мавҷ хомӯш мешавад.

Нурполо ё мавҷполо (полароид). Хосияти кутбиятдихандагӣ танҳо хоси булӯрҳои қаҳрабо нест. *Нурполо ё мавҷполо* ном парда низ ин гуна хосият дорад. Нурполо пардаи тунук, пардаи тақрибан 0,1-миллиметраи булӯри херапатитӣ (*herapathite*) аст, ки дар сатҳи селлулоид ё шиша давонда шудааст. Таҷрибаҳои муоинашударо бо нурполо низ анҷом додан мумкин аст. Бартариҳои нурполо ин аст, ки ба воситаи он сатҳҳои васеи рӯшноқутбиятдиханда созидашуда душвор нест (мутаассифона, нурполо камбудӣ низ дорад, ки рӯшноии сафедро тобиши бунафшранг медиҳад – ин номатлуб аст).



Таҷрибаҳои сершумор нишон дод, ки мавҷҳои рӯшноӣ арзианд. Дар мавҷи қутбида (қутбишуда)-и рӯшноӣ ларзишҳо дар як самти муайян рӯй медиҳанд.



Рӯшноии табиӣ аз рӯшноии қутбида (поларизатсияшуда) чӣ тафовут дорад?

§51. Арзияти мавҷҳои рӯшноӣ ва назарияи электромагнитии рӯшноӣ

Назарияи электромагнитии рӯшноӣ аз ҷӯшиҳои Максвелл оғоз шудааст. Максвелл ба таври соф назарӣ исбот кард, ки мавҷҳои электромагнитӣ мавҷҳои арзианд. Ӯ инчунин дарёфт, ки суръати густариши ин мавҷҳо дар ҳало (вакуум) 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 ҳулоса гирифтани Максвелл арзияти мавҷҳои рӯшноӣ дар таҷриба ба исбот расида буд. Бинобар ин Максвелл ҳақ буд, ки арзияти мавҷҳои электромагнитиро яке аз муҳимтарин далелҳои дурустии назарияи электромагнитии рӯшноӣ мепиндошт.

Пас аз он ки Хертз мавҷҳои электромагнитиро бо роҳи таҷрибавӣ ба вучуд овард ва суръати густариши онҳоро чен кард, назарияи электромагнитии рӯшноӣ аввалин тасдиқи таҷрибавии худро ёфт. Ибтот 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, кутбӣ (поляризиатсия) мешаванд ва ғ. (ниг. §35). Охири а.ХІХ ба таври боварибахш муқаррар шуд, ки мавҷҳои рӯшноиро зарраҳои дарҳаракати атомӣ ба вучуд меоваранд.

Эътироф шудани назарияи электромагнитии рӯшноӣ ҳама душворихоеро, ки бо зарурати истифода шудани муҳити фарзӣ – эфир (онро чун ҷисми сахт пиндоштан лозим меомад) алоқаманд буданд, аз миён бурд. Мавҷҳои рӯшноӣ на мавҷҳои механикиенанд, ки гӯё дар муҳити маҳсуси ба ҳама ҷиз нуфузкунанд – эфир паҳн мешаванд; не, онҳо мавҷҳои электромагнитинанд. Рӯйдодҳои электромагнитӣ бошанд, на тобеи қонуниятҳои механикиенанд, балки қонунҳои ба худ хос доранд. 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 ҷи E ва ҷи B на дар ҳама самтҳо, балки дар ду ҳамвори муайян рӯй медиҳад. Мавҷи электромагнитии дар рас.65 тасвиршуда мавҷи кутбида (кутбишуда) аст.

Ин гуна пурсиш табиист: вақте 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 маҳсус нишон дод, ки ба шабакии ҷашм ё фотоэмулсия маҳз майдони электрикии мавҷи рӯшноӣ таъсир меоварад. Бинобар ин ба сифати самти ларзишҳои дар мавҷи рӯшноӣ рӯйдиханда самти вектори шиддати майдони электрикӣ пазируфта шудааст.

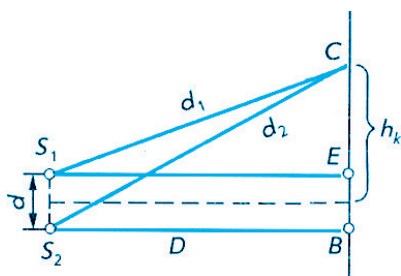


Каиғи назарияи электромагнитии рӯшноӣ яке аз каиғҳои камшумори «зодани нӯки қалам», яъне каиғиёти назарӣ мебошад.

Аммо ба дурусти 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



Рас.140.

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.

Қазия (теорема)-и Пифагорро барои секунҷаҳои S_1CE ва S_2CB

татбиқ мекунем:

$$d_2^2 = D^2 + \left(h_k + \frac{d}{2}\right)^2, \quad d_1^2 = D^2 + \left(h_k - \frac{d}{2}\right)^2.$$

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 ҷо масофаи раҳи рӯшани k -умро то маркази экран ёфтан 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 ҷо ёфта мешавад:

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

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

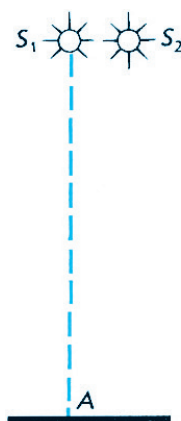
Ҳал. Ба зиёдтарин қимати k бузургии $\sin\varphi = 1$ рост меояд (ниг. формулаи 5.13). Пас, $k = \frac{d}{\lambda} = 4$ мебошад.

Машқи 6

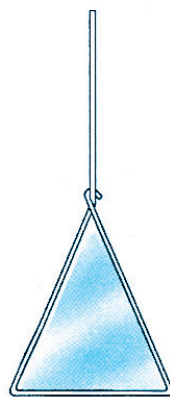
1. Ду манбаи чӯрфаз (кохерентӣ)-и S_1 ва S_2 , ки масофаи байнашон $d = 0,3$ см аст, рӯшноии дарозии мавҷаш $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м меафкананд. Масофаи байни манбаъҳо то пардаи намоиш (экран) 9 м аст. Дар нуқтаи А-и экран чӣ гуна доғ ба вучуд меояд – доғи равшан ё тира? (ниг. рас. 141).

2. Манзараи тақрибии рахҳои интерференсиеро тасвир созад, ки дар пардаи собунии фароғи-рифтаи қоби сегӯша пайдо мешавад. Қоби пардадор мавқеи амудӣ дорад (рас.142).

3. Васеъ кардани сӯрохи рафти рӯшноӣ дар пардаи намоиш (экран) боиси кам шудани равшании нуқтаи 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).



Рас.141.



Рас.142.

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

Муҳимтарин хулосаҳои боби панҷум

1. Суръати рӯшноӣ дар хало (вакуум) 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 ҳангоми 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) рӯшноии сафедро таҷзия мекунад, яъне онро ба рангҳои таркибиаш ҷудо мекунад. Суръат ва дарозии мавҷи рӯшноӣ дар сурати аз хало ба ин ё он муҳит гузаштани он кам мешавад, вале басомади ларзиш дар ин маврид собит мемонад.

4. Мавҷҳои ҳамдарозии рӯшноӣ дар сурати собит (доимӣ) будани фарқи фазҳошон *мавҷҳои ҷӯрфаз* (мавҷҳои коҳерентӣ) 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 вучуд 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 равшан гардонидани парда манзараи рангаи интерференс ба вучуд меояд.

5. Мавҷҳои рӯшноӣ саддҳои андозаҳошон бо дарозии мавҷ қобили муқоисаро давр зада метавонанд – ин моҳияти падидаи дифраксияро ташкил медиҳад. Мушоҳидаи дифраксия ба сабаби ба ғоят кӯтоҳмавҷ будани мавҷҳои рӯшноӣ мушкilot дорад ва олооти махсус меҳояд. Мавҷудияти дифраксияи рӯшноӣ қобилияти

бо микроскоп, телескоп ва асбобҳои дигари оптикӣ чудо-чудо дидани чизҳои хурд (чизҳои рез)-ро маҳдуд мегардонад.

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

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

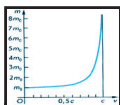
$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots - \text{даври панҷара})$$

ёфтани мумкин аст.

Панҷара нури сафедро ба рангҳо чудо (яъне таҷзия) мекунад. Ба воситаи панҷара 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. Мавҷеро аз мавҷҳои рӯшноӣ, ки дар он ларзишҳо дар ҳамвории муайян рӯй медиҳанд, мавҷи кутбида (кутбишуда, поларизатсияшуда) меноманд. Рӯшноии зодаи манбаъҳои табиӣ рӯшноии кутбида 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 аз нигоҳи назарияи электромагнитии рӯшноӣ мавҷҳои арзӣ мебошанд. Исроти таҷрибавии арзияти мавҷҳои рӯшноӣ марҳалаи муҳиме буд дар роҳи эътироф шудани назарияи электромагнитии рӯшноӣ.



Боби 6 ҶУЗЪИЁТИ НАЗАРИЯИ НИСБИЯТ

Пеирафти электродинамика муҳаққиқонро водор сохт, ки ба заминаи 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 бастагӣ 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.

§52. Қонунҳои электродинамика ва қоидаи бунлодии нисбият (принсипи нисбият)

Пас аз бунёди электродинамика ба дурустии қоидаи нисбияти Галилей дар рӯйдодҳои электромагнитӣ шакк ба миён омад.

Қоидаи бунлодии нисбият дар механика ва электродинамика.
Баъди он ки дар нимаи дуоми а. XIX Максвелл қонунҳои асосии электродинамикаро таъриф дод, пурсиш ба миён омад, ки қоидаи бунлодии нисбият (ки барои падидаҳои механикӣ дуруст аст) барои падидаҳои электромагнитӣ низ қобили истифода ҳаст ё не. Ба иборати дигар, оё рӯйдодҳои электромагнитӣ, яъне таъсироти 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 муназзам, ки дар падидаҳои механикӣ асаре надорад, ба ҷараёни рӯйдодҳои электромагнитӣ ягон навъ асар дошта бошад?

Барои ба ин пурсиш посух додан равшан 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 барҷой мемонанд. Танҳо дар

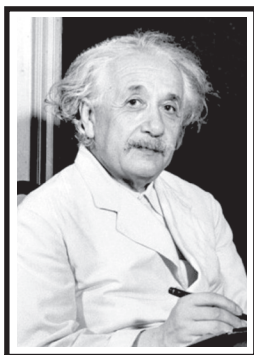
мавриди охирин мо метавонем, ки дурустии қоидаи нисбиятро дар рӯйдодҳои электромагнитӣ бе ҳеҷ шакл эътироф кунем ва қоидаи мазкурро чун қонуни умумии табиӣ бузургем.

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 рӯи қонунҳои электродинамика суръати рафти мавҷҳои электромагнитӣ дар ҳало (вакуум) дар ҳама самтҳо яқхелаи $c = 3 \cdot 10^8$ м/с аст. Вале, аз тарафи дигар, мувофиқи қонуни ҷамъбандии суръатҳо дар механикаи Нютон суръат ба c танҳо дар як системаи сарҳисоби интиҳобӣ баробар буда метавонад. Дар ҳар гуна системаи сарҳисоби дигаре, ки нисбат ба ин системаи интиҳобӣ бо суръати v дарҳаракат аст, суръати рӯшноӣ бояд акнун ба $c - v$ баробар бошад. Ин он гуна маънӣ дорад, ки агар қонуни номбурдаи ҷамъбандии 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 ҳамоҳангӣ доранд), як навъ зиддият ба миён омад. Ин душворихоро бо се тарзи зайл бартараф сохтани буданд.

Имкони якум ин буд, ки қоидаи нисбият барои рӯйдодҳои электромагнитӣ татбиқнопазир дониста шавад. Ин нуқтаи назарро физикдони бузурги ҳуландӣ, бунёдгузори назарияи электронӣ Х.Лоренс тарафдор шуд. Падидаҳои электромагнитиро ҳанӯз аз замони Фарадей ба ин сӯ чун падидаҳои муоина мекарданд, ки гӯё дар муҳити махсуси нуфузкунанда – «эфирӣ ҷаҳонӣ» воқеъ мешуда бошанд. Системаи шастӣ (инерсиалӣ)-и сарҳисоби нисбат ба эфир қарор – ин ба ақидаи Лоренс, системаи махсуси бартариатдорест, ки дар он қонунҳои электродинамикаи Максвелл дурустанд ва шакли содатарин доранд. Танҳо дар ҳамин системаи сарҳисоб суръати рӯшноӣ дар ҳало (вакуум) 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 дарҳаракат эфирро комилан (яъне ба пуррагӣ)



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

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

чалб мекунад ва бинобар ин падидаҳои эллектромагнитии дар эфир рӯйдиханда 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 бунлодии нисбият бар ҷой бимонаду ҳам қонунҳои Максвелл. **Илочи бехтарин ҳамин аст**, зеро талаб мекунад, ки тасаввуроти амиқтарину асостарини физикӣ аз сари нав муоина шавад. Аз ин нигоҳ на муодилаҳои майдони электромагнитӣ, балки муодилаҳои механикаи Нютон (ки дар заминаи тасаввуроти кӯҳна дар бораи вақту фазо ба майдон омаданд) носаҳеҳанд, яъне барои аз миён бурдани душвориҳои зикршуда на қонунҳои электродинамикаи Максвелл, балки қонунҳои механикаи Нютонро тағйир додан мебояд.

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

Ҳ.Ҳертз дар натиҷаи кӯшишҳои тағйир додани қонунҳои электродинамикаи Максвелл ошкор сохт, ки муодилаҳои нав дар шарҳи як қатор далелҳои таҷрибавӣ очизанд: ҷунончи, ба ақидаи Ҳертз оби равои рӯшноии дар он паҳншавандаро бояд комилан 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 вучуд дошта бошад, ки бо эфири ҷаҳонии мутлақо қарор алоқаманд аст) дар таҷрибаҳои бевосита рад шуд.

Агар суръати рӯшноӣ танҳо дар системаи сарҳисоби алоқаманд бо эфир 300 000 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 доир 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 камоли дақиқкорӣ сомон дода шудааст. Таҷриба дар соатҳои гуногуни шабонарӯз ва дар фаслҳои гуногуни сол борҳо такрор карда шуда бошад ҳам, ҳамеша натиҷаи манфӣ додааст, яъне нисбат ба эфир ҳаракат доштани Заминро ошкор кардан муяссар нагардид.

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

Хулоса, ғояи мавҷудияти системаи сарҳисоби бартариятдор аз санҷиши таҷрибавӣ нагузашт, ҳеҷ гуна муҳити махсус – «эфирӣ рӯшноӣбаре», ки ин гуна системаи бартариятдорро бо он алоқаманд кардан мумкин бошад, вучуд надорад.



Қоидаи бунлодии нисбиятро бо электродинамикаи Максвелл мутобиқат додан танҳо дар сурате имконпазир буд, ки аз таъсавуроти классикӣ дар бораи вақту фазо (ки аз рӯи онҳо гӯё дарозиҳо ва ҷараёни вақт ё худ мурури замон ба системаи сарҳисоб бастагӣ надоранд) даст кашида шавад.

§53. Постулатҳои¹ назарияи нисбият

Назарияи нисбият дар заминаи ду постулат бунёд шудааст.

Барои шарҳи натиҷаҳои манфии таҷрибаи Майкелсон ва таҷрибаҳои дигаре, ки мебоист мавҷудияти ҳаракати Замирно нисбат ба эфир собит мекарданд, фарзияҳои гуногун пешниҳод мешуд. Мурод 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 кӯшишҳое, ки барои дидани тафовути байни системаҳои шастии сарҳисоб (системаҳои инерсиалий) дода шудаанд, фарзияҳои гуногун пеш овардан зарурат надорад. Қонуни табиат аст, ки ҳама системаҳои шастии сарҳисоб на танҳо барои падидаҳои механикӣ, балки барои рӯйдодҳои электромагнитӣ низ комилан баробарҳуқуқ ҳастанд; дигар ин ки ҳолати оромӣ (оромии) аз ҳолати ҳаракати ростхаттаи муназзам тафовуте надорад.

Қоидаи бунлодии нисбият постулати асосии назарияи Эйнштейн мебошад. Онро чунин таъриф додаанд: **ҳама рӯйдодҳои табиӣ дар ҳама системаҳои шастии сарҳисоб (системаҳои инерсиалии сарҳисоб) ҳамон як ҳел ҷараён мегиранд.**

Ин нукта чунин маънӣ дорад, ки дар ҳама системаҳои шастӣ қонунҳои физикӣ ҳамон як шакл доранд. Ҳамин тариқ, қоидаи нисбияти механикаи классикӣ ҳама рӯйдодҳои табиӣ ва, аз ҷумла, рӯйдодҳои электромагнитиро низ фаро мегирад.

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

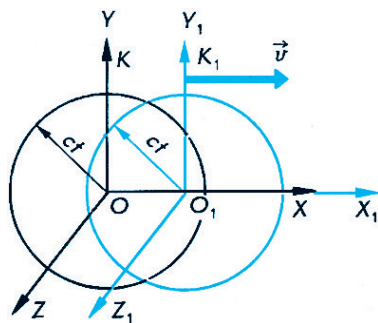
Ҳамин тариқ, суръати рӯшноӣ ин ҷо мақоми махсус дорад. Гузашта аз ин, ҷунонки аз постулатҳои назарияи нисбият бармеояд,

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

суръати рӯшноӣ дар ҷойи ҳолӣ зиёдтарин суръати имконпазири нақли ҳамтаъсирот аст дар табиат.

Барои бочуръатона таъриф додани постулатҳои назарияи нисбият часорати бузурги 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 шуълаи кӯтоҳмуддате рӯй диҳад. Дар муддати t системаҳо нисбат ба якдигар ба масофаи vt мекӯчанд ва сатҳи мавҷии куравӣ радиуси ct мегирад (рас.143).



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 кура дар нуқтаи O дар назари мушоҳиди алоқаманд бо системаи K_1 он марказ дар нуқтаи O_1 воқеъ мегардад. Валекин маркази ҳамон як сатҳи куравӣ 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 ҷаҳорҷӯбаи постулатҳои назарияи нисбият бунёд шудаанд.

Ин ҷо ҳақиқатан зиддият ҳаст. Вале зиддият на дар дохили назарияи нисбият аст. Моҳияти ин назария бо тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо, ки барои суръатҳои баланди ҳаракат нодурустанд, зиддият дорад.



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

1. Яъне ҷисмҳои, ки бо ҷизе таъсири мутақобил надоранд.



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

§54. Нисбияти ҳамзамонӣ

То ибтидои а.ХХ касе шакк намеовард, ки вақт (замон) мутлақ аст: ду ҳодисае, ки барои соқинони Замин ҳамзамонанд, барои соқинони 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. Ниҳой (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 гӯё ҳамеша бо ҳамон як оҳанг, тамоман новобаста ба ҳайуло (материя) ва ҳаракати он чорӣ бошад, ғалат будааст. Агар фарз кунем, ки сигналҳо дар як он паҳн мешаванд, изҳори он ки ин сигналҳо ба ду нуқтаи ҷудоғонаи фазо A ва B дар як вақт мерасанд, маънии мутлақ хоҳад дошт. Дар нуқтаҳои A ва B ду соат гузошта, онҳоро ба воситаи сигналҳои онӣ (лаҳзагӣ) ҳамзамон (ё чӣ хеле ки мегӯянд, синхронӣ) гардонидан мумкин аст. Агар ин сигнал аз нуқтаи A дар лаҳзаи, масалан, 0 ст 45 дақ фиристода шавад ва он ҳамон лаҳза (аз рӯйи соати B) ба нуқтаи B ояд, пас, ҳарду соат ҳамон як вақтро нишон медиҳанд, яъне гашти онҳо ҳамзамон мебошад. Вале агар соатҳо ҳамзамон (синхронӣ) набошанд, соати ақибмондари ба қадри зарурат пеш бурда, онҳоро ҳамзамон кардан мумкин аст, то ки дар лаҳзаи фиристодани сигнал ҳамон як вақтро нишон диҳанд.

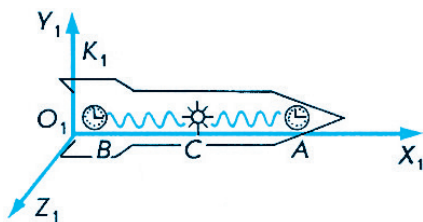
Ду падида, чунончи, ду рӯйдоди барқ он гоҳ ҳамзамонанд, ки дар лаҳзаи рӯй додани онҳо соатҳои ҳамоҳанг ҳамон як вақтро нишон диҳанд.

Дар хусуси ҳамзамон будан ё набудани ду ходисаи дар нуқтаҳои A ва B рӯйдиханда он гоҳ хулоса гирифтани мумкин аст, ки дар он нуқтаҳо соатҳои ҳамоҳангона коркунанда мавҷуд бошад. Лекин агар суръати гузариши сигналҳо на беинтиҳо зиёд бошад, пас, соатҳои аз якдигар дар ин ё он дурӣ воқеъгардидаро чӣ тавр ҳамоҳангӣ додан имконпазир аст?

Табиӣ мебуд, ки барои ҳамоҳанг гардонидани гашти соатҳои сигналҳои рӯшноӣ ё умуман сигналҳои электромагнитӣ истифода шавад, зеро ки суръати рафти мавҷҳои электромагнитӣ дар ҳало (вакуум) дақиққорона чен карда шудааст ва дақиқан маълум аст.

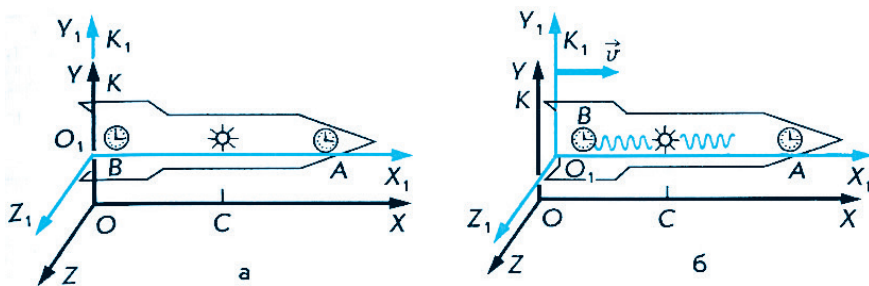
Дар санҷиши соатҳои аз рӯйи сигналҳои радиои маҳз ҳамин усул истифода мешавад. Сигнали радиои имкон медиҳад, ки шумо соати худро бо соати дақиқи намунавӣ (соати эталонӣ) ҳамзамон гардонед. Масофаи байни маркази радио (радиостансия) ва хонаи худро доништа муддати таъхири сигналро муайян кардан осон аст.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

Биёед, усули содаеро муфассалтар бинем, ки барои ҳамзамон гардондани соатҳои ҳамаҷузӣ ҳеҷ гуна ҳисобукиҷоб талаб накунад. Бигзор, кайҳоннавард доништан хоҳад, ки соатҳои A ва B -и воқеъ дар қисми пеш ва қисми ақиб кишти кайҳонӣ (рас.144) чӣ дараҷа ҳамзамон ҳастанд. Бо ин



Рас.144.

мақсад \bar{y} ба воситаи манбаи нисбат ба танаи кишти беҳаракати рӯшноӣ дар миёнаҷойи кишти як шуълаи кӯтоҳмуддати рӯшноӣ ба вуҷуд меорад. Рӯшноӣ то ҳарду соат дар як вақт мерасад. Агар ҳарду соат дар ҳамон як лаҳза ҳамон як вақтро нишон диҳанд, метавон гуфт, ки гашти онҳо ҳамоҳанг аст. Аммо ин танҳо нисбат ба системаи сарҳисоби бо кишти алоқаманди K_1 дуруст аст. Вале дар системаи сарҳисоби K , ки кишти нисбат ба он дарҳаракат мебошад, сурати ҳол дигар аст. Соати A аз ҷойи пайдоиши шуъла (нуқтаи C) бо мурури замон дур мешавад ва, аз ин рӯ, рӯшноӣ барои то ба соати A расидан бояд масофаи назар ба нисфи дарозии кишти бештареро паймояд (рас.145, а, б). Соати қисми ақиб кишти – соати B бошад, баръакс сӯйи шуъла ҳаракат мекунад,



Рас.145.

яъне дар ин маврид роҳи сигнали рӯшноӣ назар ба нима дарозии кишти кӯтоҳтар аст. (Дар рас.145,а координатҳои x ва x_1 гоҳи пайдоиши шуъла баробари якдигаранд: дар рас.145,б лаҳзае тасвир ёфтааст, ки дар он рӯшноӣ то ба соати B мерасад). Бинобар ин мушоҳиди алоқаманд бо системаи K ҳулоса мегирад, ки сигнал то ҳарду соат на дар як вақт мерасад.

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

Ҳалли парадокси алоқаманд бо сигналҳои куравии рӯшноӣ, ки дар §54 муоина шуданд, маҳз дар нисбияти ҳамзамонӣ ниҳон аст. Расидани рӯшноӣ ба нуқтаҳои сатҳи куравии 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 курае, ки марказаш дар нуқтаи O_1 аст, на дар як вақт (ҷунонки дар чашми мушоҳиди алоқаманд бо системаи K_1 менамояд), балки дар лаҳзаҳои гуногун мерасад.

Пас, ин ҷо ҳеҷ гуна парадокс ҷой надорад.



Ҳамзамонии ҳодисот нисбӣ аст. Инро ба таври аёнӣ тасаввур кардан, «эҳсос кардан» аз доираи имкони мо берун аст, зеро суръ-

ати рӯшноӣ назар ба суръатҳое, ки хоси ҳаракатҳои мост, садҳо бор зиёд мебошад.



Чӣ гуна рӯйдодҳоро рӯйдодҳои ҳамзамон мегӯянд?

§55. Натиҷаҳои асосие, ки аз постулатҳои назарияи нисбият бармеоянд

Аз постулатҳои назарияи нисбият чанд натиҷаи аҷибе сар мезанад, ки хосиятҳои вақту фазоро ифода мекунанд. Дарёфти ин натиҷаҳо то дараҷае мураккаб аст. Бинобар ин мо заминаи тавлиди ин натиҷаҳоро муоина 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 u 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 кӯтоҳшудии релятивии андозаи ҷисм (дарозии ҷисм)-ро дар системаи ҳаракатманди сарҳисоб ифода мекунад. (Калимаи «релятивӣ» барои ифода кардани мавридҳои истифода мешавад, ки дар онҳо ҳаракати муоинашаванда бо суръати наздик ба суръати рӯшноӣ рӯй медиҳад).

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

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

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

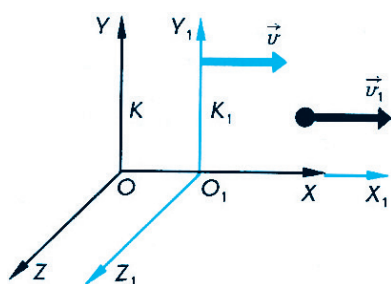
Пайдост, ки $\tau > \tau_0$ аст. Ин мавриди кӯтоҳшуди релятивии фосилаи вақти байни ду рӯйдоди паёпай аст дар системаи сарҳисоби ҳаракаткунанда.

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

Қонуни релятивии ҷамъбандӣ (ҷамъшуд)-и суръатҳо. Тасаввуроти нави релятивӣ дар бораи вақту фазо фаҳм кардани қонуни нави ҷамъ шудани суръатҳоро талаб мекунад. Равшан аст, ки қонуни классикии ҷамъбандии суръатҳо дар ин маврид нодуруст мебуд, зеро он муҳолифи ҳулосаи доимӣ будани суръати вакуумии рӯшноӣ аст.

Агар вағоне бо суръати v дарҳаракат 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



Рас.146.

менависем, ки ҳисм ба қадди тирӣ X_1 -и системаи сарҳисоби K_1 (ки, дар навбати худ, нисбат ба системаи K бо суръати v ҳаракат мекунад) дарҳаракат бошад. Зимнан, гоҳи ҳаракат тирҳои координатии Ox ва Ox_1 ҳамеша рӯйи ҳам меоянду 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 махрачи (6.3) ба эътибор нагирифта, боз ҳамон қонуни классикии ҷамъбандии суръатҳо ҳосил мекунем:

$$v_2 = v_1 + v$$

Агар $v_1 = c$ бошад, суръати v_2 низ баробари c хоҳад буд, чунонки 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 релятивии ҷамъбандӣ (ҷамъшуд)-и суръатҳо дуруст аст, вале аёнӣ нест. Мушаки кайҳонии бузургеро 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 релятивии ҷамъшудии суръатҳо (ё худ қонуни ҷамъбандии суръатҳо) ба ҳамаи гуна қонуни классикӣ (қонуни Галилей) бадал мешавад?
2. Суръати рӯшноӣ аз суръатҳои ҳаракати ҳамаи ҷисмҳои дигар чӣ тавофути кулӣ дорад?

§56. Бастагии масса (цирм) ба суръат.

Динамикаи релятивӣ

Қонунҳои механикаи Нйутон дар суръатҳои баланди ҳаракат бо тасаввуроти нав дар бораи вақту фазо поҷӯрӣ пайдо мекунад. Танҳо дар мавриди наст будани суръати ҳаракат, яъне дар мавриди дуруст будани тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо шакли қонуни дуҷоми Нйутон

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

ҳангоми аз як системаи шастии сарҳисоб (системаи инерсиалӣ) ба ҳамин гуна системаи дигар гузаштан 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 дуҷоми Нйутон (6.4) қувваи доимии ба чисм муддати тӯлонӣ таъсиркунанда чисмро суръати баланди дилхоҳ бахшида метавонад. Аммо дарвоқеъ суръати рӯшноӣ дар хало (вакуум) суръати ниҳой аст ва дар ҳеҷ гуна шароит чисм бо суръати бештар аз он ҳаракат кардан наметавонад.

Тағйири андаке мебояд, ки муодилаи ҳаракати чисм барои суръатҳои баланд шакли дақиқ бигирад.

Биёед, аввал қонуни дуҷоми динамикаро дар шакле нависем, ки онро ҳуди Нйутон истифода кардааст:

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

Ин ҷо $\vec{p} = m\vec{v}$ импульси чисм аст. Дар ин муодила массаи чисм аз нигоҳи физикаи Нйутон ба суръат новобаста пиндошта мешавад.

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

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

Массаи ҷисми қарорро бо m ишорат мекунем¹. Он гоҳ массаи ҳамон ҷисм дар мавриди бо суръати \vec{v} ҳаракат кардани ин қадар хоҳад буд:

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

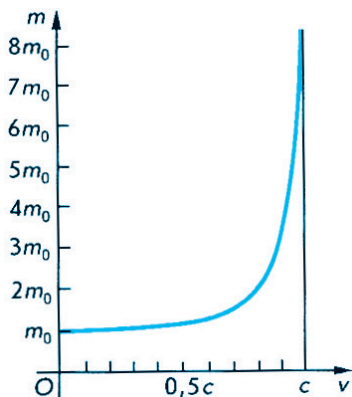
Вобастагии масса ба суръати ҳаракати он дар рас. 147 тасвир ёфтааст. Чунонки мебинем, ҳар қадре ки суръати ҷисм ба суръати рӯшноӣ наздик бошад, афзоиши массаи он ҳамон қадр зиёдтар хоҳад буд.

Дар суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле кам қимати 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 қимат дорад:

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

Аз ин рӯ ҷойи тааҷҷуб нест, ки афзоиши массаро хангоми зиёд шудани суръат дар мавриди ин қадр кам будани v ошкор сохтан муҳол аст. Аммо зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) дар мошинҳои суръатфизии 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 суръатфизии электронҳо ин зарраҳоро он қадр тезонда метавонад, ки суръати онҳо аз суръати рӯшноӣ ҳамагӣ 40-50 м/с камӣ мекунад. Массаи ин гуна электрон назар ба массаи электрони қарор тақрибан 2000 бор зиёд меояд. Барои дар мадори доиравӣ устуворона ҳаракат кардани ин гуна электрон майдони магнитӣ ба электрон бояд бо



Рас. 147

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

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 баландсуръат 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 чунин ёфта шавад:

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

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

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

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 Нютон собит (доимӣ) пиндошта мешуд, дарвоқеъ 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 ($m \rightarrow \infty$); бинобар 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 муодилаи релятивии ҳаракат далели он аст, ки назарияи нисбият дар замони мо ба илми муҳандисӣ (илми инженерӣ) табдил ёфтааст.

Қоидаи аслии мутобиқат (монандагӣ). Қонунҳои механикаи Нютон ва тасаввуроти классикиро дар бораи вақту фазо чун мавриди хусусии механикаи релятивӣ (ки барои суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле паст дуруст аст) муоина кардан мумкин аст. Ин хулоса натиҷаи зухуроти қонуниятест, ки он *қоидаи аслии мутобиқат* ном дорад. Аз рӯи ин қоида ҳар гуна назария, ки рӯйдодҳои табиатро 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 Нютонро чун мавриди хусусии механикаи релятивӣ (ки барои суръатҳои назар ба суръати рӯшноӣ хеле кам дуруст мебошад) муоина кардан мебояд.



Муодилаи релятивии ҳаракат (ки дар он вобастагии масса ба суръат ба назар гирифта шудааст) дар бунёди суръатфизоҳии зарраҳои барқаманд ба асбобҳои дигари релятивӣ 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.*

§57. 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 содаи зайл аён аст. Дар сурати дар ягон зарф гарм кардани газ ба он энергияи муайяне 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 вучуд дорад.

Формулаи Эйнштейн. Эйнштейн бо ёрии назарияи нисбият дар байни масса ва энергия формулае муқаррар кард дар ниҳояти содагӣ 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 маҷмӯи ҷисмҳо ба ҳосили зарби масса ва дараҷаи дуҷуми суръати рӯшноӣ 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 $1/c$ басте хурд аст, бинобар 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 дақиқтарин тарозу «ҳис» намешавад. Танҳо дар табиқоти ҳастай ва зарраҳои бунёди тағйироти бо он алоқаманди масса хеле зиёд аст.

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

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

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

Ин натиҷаи шоистаи таҳсину тавачҷуҳ аст. *Ҳар гуна ҷисм танҳо ба сабаби маҷудияти худ аллақай соҳиби энергия мебошад ва миқдори ин энергия ба массаи оромиш m_0 мутаносиб аст.*

Аёнитарин исботи маҷудияти энергияи оромиш ин аст, ки дар табиқоти зарраҳои бунёдии дорои массаи оромиш ($m_0 \neq 0$) ба зарраҳои бемассаи оромиш ($m_0 = 0$) энергияи оромиш қомилан ба энергияи кинетикии зарраҳои «навзод» мубаддал мешавад.



Дар физика танҳо ду «формулаи бузурге» ҳаст, ки бо вучуди шакли бисёр сода доштан бағоят фарогиранд. Якеи онҳо формулаи Эйнштейн $E=mc^2$ аст, 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 оромии (энергияи сокин) чист?
3. Чаро ҳангоми гарм кардани ҷисм афзоиши массаи онро ошкор сохтан мумкин наметавонад?

Машқи 7

1. Дар назари мушоҳиди савори қатора барқ дар нуқтаҳои A (пеши қатора) ва B (паси он) 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?

Муҳимтарин хулосаҳои боби шашум

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 қараён мегиранд.

2. Мувофиқи постулати дуюм, суръати рӯшноӣ дар хало (вакуум) барои ҳама системаҳои шастии сарҳисоб ҳамон як қимат дорад ва на ба суръати манбаъ вобаста аст, 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 хало (вакуум) зиёдтарин суръати имконпазири интиқоли таъси-роти мутақобил мебошад.

5. Дар мавриди зиёд шудани суръати ҳаракати ҷисм массаи он собит (доимӣ) 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 релятивии 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 дуёми Нйутон навишта шудааст:

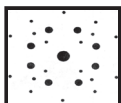
$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$$

6. Натиҷаи барои физикаи ҳастаи атом ва физикаи зарраҳои бунёдӣ муҳимтарини назарияи нисбият хулосаест, ки массаву энергияро ба ҳам робита медиҳад. Энергияи ҷисм ё системаи ҷисмҳо E ба ҳосили зарби массаву дараҷаи дуёми 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 камӣ ҳаракат тасаввуроти классикӣ дар бораи вақту фазо ва қонунҳои механикаи Нйутон дурустанд.



Боби 7

ТОБИШҶО ВА ТАЙФИ ОНҶО

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

§58. Навъҳои тобиш. Манбаъҳои рӯшноӣ

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

Манбаи 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 электрон) афканда мешаванд. Ин зарраҳо онҳоеанд, ки атомҳои моддаҳо аз онҳо таркиб ёфтаанд. Бинобар ин сохти атомро надониста, дар бораи механизми тобиш (ё худ нурафканиш) ба таври боварбахш чизе гуфтан душвор аст. Танҳо ҳаминаш равшан аст, ки андаруни атом рӯшноӣ нест – мисли он ки андаруни рубоб садое вучуд надорад. Монанди он ки тори асбоби мусиқӣ 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 муайян 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 атомҳои молекулаҳои қисми нурафкан пур мешавад. Содатар гӯем, дар ин сурат қойи энергияи барои афканиши рӯшноӣ сарфшуда аз ҳисоби энергияи ҳаракати ҳароратии атомҳо (ё молекулаҳо)-и қисми нурбор пур мешавад. Ҳар қадре ки ҳарорати қисм зиёд бошад, атомҳо ҳамон қадр тезтар ҳаракат карда метавонанд. Дар бархӯрди атомҳо (ё молекулаҳо)-и баландсуръат бо якдигар

Вавилов Сергей Иванович (1891-1951) – физикдони рус, ходими давлатӣ ва ҷамъиятӣ, раиси Академияи улуми Шӯравии 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 равшанӣи 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 ҳамаи муҳит) ҳаракаткунандаро кашф кард.



як қисми энергияи кинетикӣ онҳо барои ангехтани атомҳо сарф мешавад. Маҳз ҳамаи атомҳо рӯшноӣ меафкананд.

Офтоб ва тафслампаи муқаррарӣ манбаҳои маъмули нур-афкан мебошанд. Тафслампаи электрикӣ манбаи бас истифодабоб ва камсарф аст. Танҳо қариб 12%-и энергияи дар мӯяки лампа хоричкардаи ҷараёни электрикӣ ба энергияи рӯшноӣ табдил меёбад. Ва ниҳоят, маъмултарин манбаи нурҳои ҳароратӣ шуълаи оташ аст. Энергияи аз сӯзиши ҳезум, карасин ё газ хоричшаванда зарраҳои носӯхтаи сӯзишвориро метафсонад ва онҳо низ рӯшноӣ меафкананд.

Электролуминесценс. Атомҳои энергияи барои нурафканиш заруриро аз манбаҳои ғайриҳароратӣ низ гирифта метавонанд. Дар пардаҳои газӣ¹ майдони электрикӣ электронҳоро энергияи зиёди кинетикӣ мебахшад. Электронҳои баландсуръат бо атомҳои бархӯрди ғайриҷандир карда метавонанд. Қисми энергияи электронҳо барои ангехти атомҳои сарф мешавад. Атомҳои ангехта энергияи зиёдании худро дар шакли мавҷҳои рӯшноӣ хорич мегардонанд. Ҳамаи аст, ки газ дар натиҷаи пардаҳои электрикӣ нур меафканад. Ин падида *электролуминесценс*² ном гирифтааст. Ҷаҳри шимолӣ натиҷаи зухуроти ҳамаи электролуминесценс мебошад. Сели зарраҳои барқаманди хуршеди аз тарафи майдони магнитии Замин рабудашуда дар қутбҳои магнитии Замин атомҳои кабатҳои болоии атмосфераро ангехта, боиси нурафшонии онҳо мегарданд. Падидаи электролуминесценс дар найчаҳои реклами бисёр истифода мешавад.

1. Таҳлилии газӣ (разряди газӣ).

2. Луминесценс (*luminescence*; луминесценция) - нурафшонӣ.

Луминесценс (нурафшонӣ)-и **катодӣ** – ин падидаи бо таъсири электронҳо нурафшонӣ кардани ҷисмҳои сахт мебошад. Ҳамин падида аст, ки экранҳои лӯлаи электронӣ-шуоъии телевизорҳо нур меафкананд.

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

Ин падида шояд ба ҳар яке шумо маълум бошад. Шаби тобистон дар ҷангал дар тани ҷонзоди аҷиб – 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 ҷуқури рӯшноинораси оби баҳру уқёнус низ ҳосияти партавфишонӣ доранд. Баъзе пораҳои ҷӯби пӯсида ҳам (дар торикӣ) нур меафшонанд.

Фотолуминесценс. Рӯшноие, ки ба сатҳи модда мезанад, қисман дар он фуру мераваду қисман инъикос мегардад. Энергияи рӯшноии фуруафта дар аксари мавридҳо ҷисмҳоро гарм мекунаду бас. Аммо баъзе моддаҳо бо таъсири нурҳои гуногун худашон нурфишон мешаванд. Ин падида *фотолуминесценс* номида шудааст. Рӯшноӣ атомҳои моддаро меангезад (энергияи дохилии онҳоро зиёд мекунад) – баъди ин онҳо нурфишон мешаванд. Ҷунончи, 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 *нурполо* (филтри рӯшноӣ)-и бунафш гузаронда, ба зарфи пури флуоресценс (моддаи органикии рангуборӣ) равона созед, ин моеъ бо ранги сабзи зардтоб медурахшад ва рӯшноиаш назар ба нури бунафш дарозмавҷтар меояд.

Фотолуминесценс дар ҷароғҳои табиӣ-рӯшноӣ истифодаи бисёр дорад. Олими шӯравӣ С. Вавилов пешниҳод кард, ки сатҳи дарунии пардаҳтнайча¹ моддаҳои луминесценсӣ давонда шавад –

1. Тахлияйнайча – «найчаи разрядӣ».

ин имкон медиҳад, ки он найчаҳо бо таъсири шуоъҳои кӯтоҳмавҷи пардаҳти газӣ бидурахшанд. Чароғҳои табиӣ-рӯшноӣ назар ба тафслампаи электрикӣ се-чаҳор бор босарфатаранд.



Мо дар ин банд навъҳои асосии манбаъҳои рӯшноӣ ва баъзе хусусиятҳои нурҳои афкандаи онҳоро ба таври босе мухтасар муоина кардем. Маъмултариини ин гуна манбаъҳо манбаъҳои ҳароратианд.



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

§59. Тайфҳо (спектрҳо) ва асбобҳои тайфсанҷӣ

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

Тақсими энергия дар тайф (спектр). Ҳеҷ манбаъ рӯшноии якранга (ё худ якдарозӣ) ё, чунонки маъмулан мегӯянд, рӯшноии монохроматӣ намеафканад. Ин аз таҷрибаҳои таҷзия кардани рӯшноӣ (ниг. § 44) ва инчунин мушоҳидаи падидаҳои интерференс ва дифраксия аён аст.

Энергияи аз манбаъ бо худ гирифтаи рӯшноӣ бо тарзи муайян ба мавҷҳои гуногундарозие 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:

$$\lambda\nu = c$$

Зичии сели тобиши электромагнитӣ 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 ташҳиси тақсимооти басомадии тобиш ин гуна мафҳуми нав ҷорӣ 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

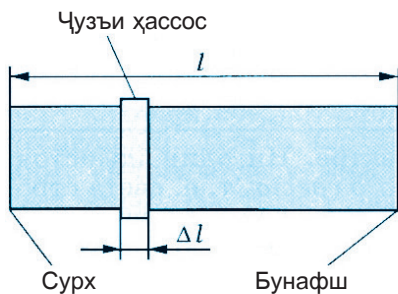
$I(v)\Delta v$ ифода кардан чоиз аст. Баъд ин гуна ифодаҳоро чамъ карда, зичии сели тобиш I -ро меёбем.

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 пахноиаши Δv -ро чен кардан мебояд. Дар баҳододи (хатто тақрибии) тақсимои 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. Бехтар ин аст, ки қисми сип-сиёҳ истифода шавад: ин гуна қисм рӯшноии ҳама дарозихои мавҷро қариб пурра фуру бурда, гарм мешавад. Пас, ҳарорати ин қисмро чен карда, дар бораи миқдори энергияи дар воҳиди вақт фурубурдаи он хулоса баровардан мумкин аст.

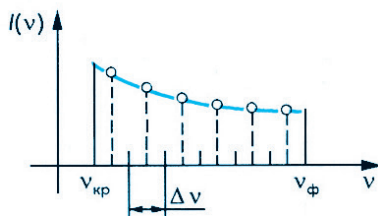
Дар ин гуна таҷриба ҳароратсанчи муқаррариро истифода кардан натиҷаи матлуб намедихад, чаро ки ҳассосияти он зиёд нест. Барои чен кардани ҳарорат асбобҳои ҳассостар заруранд. Ин ҷо ҳароратсанчи электрикии муқовиматро (ниг. китоби дарсии «Физика, 10», § 69) истифода кардан бехтар аст. Ҷузъи ҳассоси ин ҳароратсанҷ лавҳачаи филизиест, ки рӯяш қабати тунуки дуда давонда шудааст. Дуда рӯшноии соҳиби ҳама дарозихои 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 дарозиаши I -ро аз шуоъҳои сурх то бунафш фосилаи басомадии $v_c \div v_b$, вале пахноии ΔI лавҳачаи сиёхро фосилаи танги Δv мувофиқ меояд. Аз рӯйи ҳарорати лавҳачаи сиёҳ миқдори энергияро ёфтан мумкин аст, ки ба фосилаи басомадҳои Δv мансуб аст. Ҷойи лавҳачаро ба рафти тайф тағйир дода, энергияи ба ҳар фосилаи басомадӣ ростояндаро чен карда, мебинем, ки қисми зиёди энергия на ба соҳаи зардусабзи тайф, чунонки дар чашм менамояд, балки ба соҳаи сурхи он рост меояд.

Аз рӯйи натиҷаи ин таҷрибаҳо нигора (график)-и вобастагии зичии тайфии шиддати тобишро ба басомад месозанд. Зичии тайфии шиддати тобиши таҳқиқшавандаро, чунонки гуфтем, аз рӯйи ҳарорати лавҳачаи сиёҳи асбоб меёбанд. Басомадро бошад, ёфтан дар сурате осон аст, ки асбоби барои таҷзия кардани тайф



Рас. 148



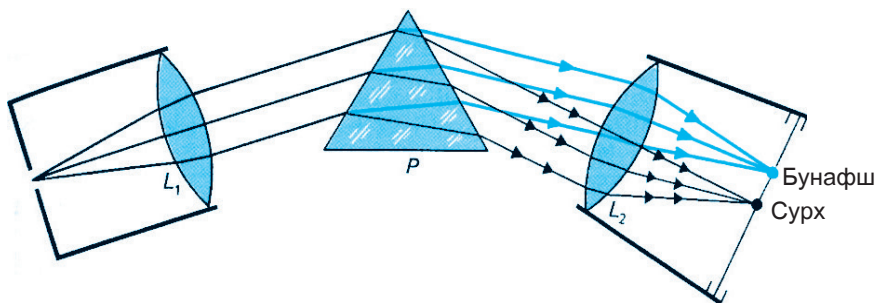
Рас. 149

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 пайвастанӣ онҳо як хати қачи раван ба вуҷуд меояд (рас. 149). Ин хати қач дар бораи тақсимои 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 якдигарро напӯшонанд (ё қариб напӯшонанд). Ин гуна асбобҳои *асбобҳои тайфсанҷӣ* (асбобҳои спектрсанҷӣ) ном гирифтаанд. Қисми асосии ин гуна асбобро маъмулан маншур ё панҷараи дифраксионӣ ташкил медиҳад.

Соҳти асбоби тайфсанҷии маншурдорро бинем (рас. 150). Дастаи шуоъи таҳқиқшаванда аввал ба *коллиматор* ном чузьи асбоб



Рас. 150

дохил мегардад. Коллиматор лӯлаест, ки дар як нӯгаш пардаи роғдор ва дар нӯги дигараш линза (наскӣ)-и чамбоваранда (L_1) дорад. Роғи номбурда дар конуни линза воқеъ аст. Бинобар ин дастаи титшавандаи рӯшноии аз роғ ба линза зананда аз линза дар шакли дастаи мувозӣ (параллелӣ) берун омада, ба маншури P мезанад.

Азбаски басомадҳои гуногунро қобилиятҳои шуоъшикании гуногун мувофиқ меояд, бинобар ин аз маншур дастаи шуоъҳои мувозие мебарояд, ки яқсамт нестанд. Онҳо ба линзаи L_2 мезананд. Дар ҳамвории конунии ин линза экран – шишаи тор (ношаффоф) ё фотолава мегузоранд. Линзаи L_2 дастаҳои мувозӣ (параллелӣ)-и шуоъхоро дар экран чамъ меоварад – дар натиҷа ба ҷойи тасвири ягонаи роғ як қатор тасвирҳо пайдо мешаванд: ба ҳар басомад (сахеҳтар 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 дуҷум ва экран барои мушоҳидаи басарӣ (визуалӣ)-и тайфҳо лӯлаи *дид* истифода шавад, асбобро *спектроскоп* (тайфнамо) мегӯянд.

Шишагин будани маншурҳо ва дигар чузӯҳои 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 тобишӯи шинос шудед. 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 тобишӯро таҳқиқ кардан чӣ зарурат дорад? (Агар инро ҳозир фаҳм карда натавонед, рӯҳафтада нашавед – бандҳои оянда роҳи шуморо рӯшантар мегардонанд).*

§60. Навъҳои тайфҳо (спектрҳо)

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

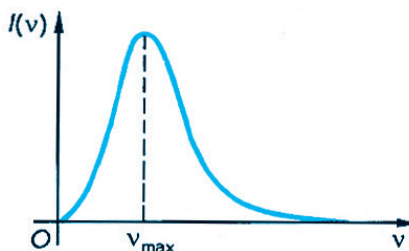
Тайфҳои бефосила (пайваста). Тайфи Офтоб ё тайфи фонуси камонӣ тайфи пайваста (бефосила) мебошад. Ин нишони он аст, ки тайф аз мавҷҳои соҳиби ҳама дарозӣҳои таркиб ёфтаасту фосила надорад, пайваста мебошад. Ин гуна тайф дар экрани спектрограф ба шакли тасмаи рангоранги пайваста пайдо мешавад (ниг. варақаи ранга, рас. V, I, сах. 276).

Тақсимои басомадии энергия, яъне зичии тайфии шиддати тобиш барои ҳар ҷисм ҳар хел аст. Чунончи, ҷисми сатҳаш бисёр сиёҳ мавҷҳои электромагнитии ҳамадарозӣ (ҳамабасомад) меафканад, аммо дар ин маврид хатти қачи вобастагии зичии тайфии шиддати тобиш ба басомад дар басомади муайяни ν_{max} максимум дорад (рас. 151). Энергияи ба басомадҳои хеле паст ($\nu \rightarrow 0$) ва хеле баланд ($\nu \rightarrow \infty$) ростояндаи тобиш ба се кам аст. Дар сурати зиёд кардани ҳарорат максимуми энергияи тобиш сӯйи мавҷҳои кӯтоҳ мекуҷад.

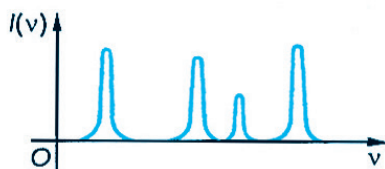
Тайфи бефосила, чунонки таҷриба нишон дод, ҳоси ҷисм-ҳоест, ки саҳт ё моеъанд. Ин гуна тайфро газҳои саҳтфишурда низ хорич мекунанд. Барои ҳосил кардани тайфи бефосила ҷисмро то ҳароратҳои баланд гарм кардан мебояд.

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 вучуд меоянд.



Рас. 151



Рас. 152

Тайфҳои рахрах. Агар дар шуълаи газчароғ порчаи асбести намакоболударо андозем, дар спектроскоп дар замини базӯр намоени тайфи бефосилаи шуъла рахи зарди дурахшоне пайдо мешавад (ниг. варакаи ранга, рас. V, 2). Онро бухори натрий, ки дар натиҷаи дар шуъла таҷзия шудани молекулаҳои намаки ошӣ ба вучуд омадаанд, ҳосил мекунад. Дар ҳамон варакаи ранга тайфҳои ҳидроген ва ҳелий (гелий) низ оварда шудааст. Ҳар яки онҳо силсилаи хатҳои рангаи гуногундурахшест, ки бо тасмаҳои васеи тира ҷудоанд. Ин гуна тайфро *тайфи рахрах* мегӯянд. Буди тайфи рахрах нишони он аст, ки модда рӯшноии дарозии мавҷаш ба кулӣ муайян (сахехтар гӯем – дар фосилаҳои тайфии бағоят танг) меафканад. Дар рас. 152 тақсимоти тақрибии зичии тайфии шиддати тобиш дар тайфи рахрах тасвир ёфтааст. Ҳар як рах пахноии муайян (пахноии маҳдуд) дорад.

Тайфи рахрах хоси ҳама ҷисмҳои аст, 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 намекунанд. Ин асоситарин наъми тайфҳои аст.

Атомҳои ҷудогонаи ҳар як унсурӣ кимиёӣ мавҷҳои дарозиишон ба кулӣ муайян меафкананд.

Барои мушоҳидаи тайфҳои рахрах маъмулан нурафшонии бухори модда (дар рӯйи шуъла) ё нурафшонии пардаҳои газиро (дар ягон лӯлаи пури газӣ таҳқиқшаванда) истифода мекунанд.

Дар сурати афзудани зичии газӣ атомӣ хатҳои алоҳидаи тайфӣ васеъ мешаванд ва баъд, ҳангоми ҳеле зиёд кардани зичии газ (яъне ҳангоми фишурдани он), вақте ки таъсири мутақобили атомҳои роли муҳим пайдо мекунад, раҳҳо якдигарро қисман пӯшонда, тайфи пайваста ба вучуд меоваранд.

Тайфҳои наворӣ. Тайфи наворӣ (ё тасма-тасма) аз наворҳои ҷудогонае 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 атомӣ, балки молекулаҳои бо якдигар ноалоқаманд ё сусталоқаманд ба вучуд меоваранд.

Барои мушоҳидаи кардани тайфҳои молекулярӣ низ мисли мавриди мушоҳидаи тайфҳои рахрах маъмулан нурафшонии бухори моддаҳо (дар шуъла) ё нурафшонии пардаҳои газӣ истифода мешавад.

Тайфҳои фурӯбурд. Ҳама моддаҳое, ки атомҳошон дар ҳолатҳои ангефта воқеанд, мавҷи рӯшноӣ меафкананд. Энергияи ин мавҷҳо аз рӯйи дарозии худ бо тарзи муайян тақсим мешавад. Дар ин ҷо он моддаи фурӯ рафтани рӯшноӣ низ ба дарозии мавҷи вобаста мешавад. Чунончи, шишаи сурх мавҷҳои мутобиқи рӯшноии сурх ($\lambda \approx 8 \cdot 10^{-7}$)-ро аз худ мегузаронаду ҳама мавҷҳои дигарро фурӯ мебарад.

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



Тайфҳои гуногунанд – тайфҳои пайваста (бефосила), раҳрах ва наворӣ. Ҳамин миқдор тайфи фурӯбурд низ вуҷуд дорад.



1. *Оё тайф (спектр)-и тафслампа тайфи пайваста (бефосила) аст?*
2. *Тайфи раҳрах аз тайфҳои пайваста ва наворӣ чӣ тафовути асосӣ дорад?*

§61. Таҳлили тайфӣ

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

Ҳосияти асосии тайфи раҳрах ин аст, ки дарозии мавҷҳо (ё басомадҳо)-и ҳосилшудаи онҳо ба гуна тайфи ягон модда танҳо ба ҳосиятҳои атомҳои ҳамин модда вобаста аст ба тарзи ангезиши атомҳо

тамоман бастагӣ надорад. Атомҳои ин ё он унсури кимиёӣ тайфи ба худ хос доранд; онҳо маҷмӯи мавҷҳои дарозиашон қатъиян муайян мебошанд.

Усули аз рӯйи тайфи модда муайян кардани таркиби кимиёии он, яъне *таҳлили тайфӣ* бар ҳамин хосият асос ёфтааст. Тайфҳои раҳрах мисли нақши ангуштони одамон сифати хусусии нотақрор доранд. Нотақрор будани нақши рӯйи пӯсти ангушт ёфтани шахси ҷинойткардари осон мегардонад. Мисли ҳамин, тайфи хоси атомҳои имкон медиҳад, ки ба ҷисми таҳқиқшаванда даст нарасонда, таркиби кимиёии онро муайян кунем.

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

Таҳлили миқдории таркиби модда аз рӯйи тайфи он мушкилтар аст, зеро дараҷаи дурахшонии хатҳои тайф на танҳо ба массаи модда, балки ба тарзи ангиши атомҳои (ё худ нурафшонии онҳо) низ вобастагӣ дорад. Чунончи, дар ҳароратҳои паст баъзе хатҳои тайф умуман пайдо намешаванд. Бо вучуди ин дар сурати истифода шудани тарзҳои самарбахши ангиши атомҳои таҳлили тайфии миқдорӣ натиҷаи матлуб дода метавонад.

Дар замони ҳозира тайфи ҳама атомҳои чадвал карда шудааст. Бо ёрии таҳлили тайфӣ чанд унсури нав – рубидий, сезий ва ғ. кашф шудаанд. Унсурҳои навро аксаран аз рӯйи ранги дурахшонтарин раҳи тайфи онҳо ном мениҳоданд. Ранги хатҳои рубидий сурхи ҷиғарӣ, 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 монои унсурҳои заминӣ таркиб ёфтаанд.

Басе ҷолиб аст, ки ҳелий аввал аз рӯйи 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 (филизсозӣ), мошинсозӣ, саноати атомӣ усули асо-

сии назорати таркиби моддаҳост. Бо ин усул таркиби кимиёии намунаҳои маъданҳову минералҳоро низ муайян мекунанд.

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

Таҳлили тайфиро на танҳо аз рӯйи тайфҳои афканиш (яъне аз рӯйи нурҳои афкандашаванда), балки инчунин аз рӯйи тайфҳои фурубурд (хатҳои фурубурд) низ анҷом додан имконпазир аст. Маҳз хатҳои фурубурд 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 интиҳобан фуру мебарад – дар натиҷа, дар замини тайфи пайвастаи фотосфера хатҳои фурубурд 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 ҷойи хатҳои фурубурд хатҳои афканиш пайдо мешаванд.

Доираи таҳлили тайфӣ дар астрофизика бо муайян кардани таркиби кимиёии ситораҳову «абрҳои» газии онҳо ва монанди инҳо маҳдуд намешавад, балки амали аз рӯйи тайфҳо муайян кардани ҳарорат, фишор, суръати ҳаракат, индуксияи магнитоиро низ дарбар мегирад.



Бисёр муҳим аст бидонем, ки ҷисмҳои олами атрофи мо аз чӣ иборатанд. Ва барои муайян кардани таркиби онҳо тарзҳои гуногун истифода мешавад. Аммо таркиби ситораҳову Қаҳкашонҳо (Галактикаҳо)-ро танҳо бо ёрии таҳлили тайфӣ муайян кардан имконпазир аст.



1. *Барои бо ёрии таҳлили тайфӣ (таҳлили спектрӣ) муайян кардани таркиби кимиёии пораи модда чӣ гуна амалҳоро анҷом додан мебояд?*
2. *Хатҳои фурубурди тайфи Офтоб чиро ишон медиҳанд – таркиби атмосфераи Офтоб ё таркиби моддаҳои қабатҳои чуқури онро?*

§62. Тобиши инфрасурх ва ултрабунафш

Нури намоён (бо дарозиҳои мавҷи ба худ хос) соҳаи ягонаи мавҷҳои электромагнитӣ нест, балки аз «пасу» «пеши» худ бо нурҳои инфрасурх ва ултрабунафш «ихота» шудааст (ниг. ба рӯяи даруни 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 электромагнитиро, ки сабаби ин гуна афзоиши ҳарорат мебошанд, *мавҷҳои инфрасурх* мегӯянд. Онҳоро ҳар гуна ҷисми тафсида (ҳатто дар мавриди рӯшноӣ наафкандани худ) хориҷ карда метавонад. Чунончи, печи тафсон ё батареи гармоиши хона мавҷҳои инфрасурхе меафкананд, ки онҳо ҷисмҳои атрофро гарм мекунанд. 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 хушкандани 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 ултрабунафш. 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 ултрабунафш меноманд.

Тобиши ултрабунафшро бо ёрии экрани метавон ошкор сохт, ки он рӯкаши луминесценсӣ дорад. Ин гуна экран бо таъсири нурҳои ултрабунафш рӯшноии сабзи кабудтоб меафсонад.

Тобиши ултрабунафш «фаъолияти» зиёди кимиёи дорад. Ин тобишро фотоэмулсия хуб хис мекунад; агар дастаи шуоъҳои ултрабунафшро дар хонаи торик ба коғази суратгирӣ (ҳамон фотоэмулсия) равона кунем, баъди падида овардани коғаз мебинем, ки соҳаи паси канори бунафши тайф назар ба соҳаи таъсири нури сафед бештар тира мешавад.

Тобиши ултрабунафш тасвири аён ба вучуд намеоварад. Ин тобиш нонамоён бошад ҳам, ба шабакияти чашм ва пӯсти одам таъсири сахт ва харобиовар расонда метавонад. Дар қабатҳои болоии атмосфера на ҳама тобиши ултрабунафши Офтоб ба пуррагӣ фуру бурда мешавад. Бинобар ин дар кӯҳҳои баланд ё дар рӯи барф бе айнаки тира ва муддати 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 сабздан ва бақувват гардидани вучуди одам мусоидат мекунад. Ин тобиш ғайр аз таъсири бевосита ба организм (пайдоиши пигменти ҳимоятӣ, офтобхӯрди пӯст, витамини D₂), ба системаи марказии асаб асар карда, тақвият гирифтани як қатор чараёнҳои ҳаётан муҳимро боис мегардад. Ин тобиш қобиляти бактериякушӣ низ дорад, бактерияҳои касалиоварро нобуд мекунад ва бо ин мақсад дар тиб истифода мешавад.



Ҷисми тафсон аксаран тобиши инфрасурх дорад ва ин тобиши назар ба нури намоён (нури сафед) дарозмавҷтар аст. Вале тобиши ултрабунафш кӯтоҳмавҷ аст ва бинобар ин дар афзоиши додани фаъолияти кимиёи моддаҳо ҳиссаи зиёдтар дошта метавонад.



1. *Сабаб чист, ки шуоъҳои аз шишаи тиреза гузаштаи Офтоб пӯсти бадани одамро намесӯзонанд?*
2. *Оё шумо ягон манбаи тобиши ултрабунафшро дидаед?*

§63. Тобиши рентгенӣ

Баъзеи шумо дар бораи тобиши инфрасурх ва ултрабунафишояд чизе намунида бошед, вале мавҷудияти шуоъҳои рентгениро ҳама медонад. Ин шуоъҳои аҷоиб аз тариқи ҷисмҳои барои рӯшноии муқаррарӣ ношаффоф гузафта метавонанд.

Дараҷаи фурӯбурди тобиши рентгенӣ ба зичии модда вобаста (мутаносиб) мебошад. Бинобар ин бо ёрии тобиши рентгенӣ сурати сохти узвҳои дарунии одамро ҳосил кардан имконпазир аст. Дар ин гуна суратҳо устухонҳо (рас. 153) ва ҷойҳои дигаргуншудаи бофтаҳои мулоим бисе возеҳ намудор мешаванд.



Рас. 153

Кашфи тобиши рентгенӣ. Ин тобиширо с. 1895 олими олмонӣ В. Рентген кашф кардааст. Дар ҷоие, ки бисёр олимони ҳеҷ чизе ҷолиб дида наметавонистанд, Рентген бо ҷашми таҳқиқ нигариста, чизе навро дид. Ёро ба сари ин кашфиёти шоёни таҳсин низ ҳамин истеъдоди фавқулода овард.

Охири а. XIX таваҷҷуҳи муҳаққиқонро пардаҳт (таҳлия)-и газие ҷалб кард, ки дар фишорҳои паст рӯй медиҳад. Дар ин шароит дар найчаи пардаҳти газӣ сели электронҳои баландсуръате ба вуҷуд меояд, ки онҳо *тобиши катодӣ* ном гирифта буданд. Он вақт табиати тобиши катодӣ омӯхта нашуда буд, танҳо ҳамин қадар гуфташ мумкин буд, ки ин тобиш аз катоди найча пайдо мешавад.

Рентген бо таҳқиқи тобиши катодӣ машғул шуда, ошкор сохт, ки фотолаҳқа дар наздикии пардаҳтнайча сиёҳ мешавад; фотолаҳқа он гоҳ ҳам сиёҳ мешуд, ки дар қоғазии сиёҳии рӯшноногузар печонда шуда бошад.

Баъдтар Рентгенро муяссар гардид, ки падидаи бисе тааҷҷубангезро мушоҳида кунад. \bar{U} қоғазро дар маҳлули $Ba[Pt(CN)_4]$ (платиносионати барий) тар карда, пардаҳтнайчаро дар он печонд ва хангоми кори ояндаи найча дид, ки қоғаз рӯшноӣ медиҳад. Зимнан, вақте ки Рентген дастӣ худро дар байни найча ва қоғазии номбурда ҷой дод, дид, ки дар он қоғазии барийолуд (экран) дар

Рентген Вилхелм (1845-1923) – физикдони барҷастаи олмонӣ, ки с. 1895 як навъи тобиши электромагнитиро кашф кард – он тобиш ба шарафи қошифаш тобиши рентгенӣ ном гирифт.

Худи Рентген он тобишро «тобиши икс» (X -rays, яъне X -тобиш) ном дода буд.

Рентген барои дар соҳаи тиб татбиқи амалӣ ёфтани усули рентгении таҳқиқот мадади зиёде кард.

Нахустин мукофоти нобелии соҳаи физика ба Рентген насиб гардидааст.



замини нисбатан равшантари суроби панча сояи ғафси устухонҳои даст пайдо мешавад. Рентген пай бурд, ки ҳангоми кор кардани пардаҳтнайча тобиши то он вақт номаълуми зиёдуфузе ба вучуд меояд. Ӯ ин тобишро X -rays (X -тобиш) номид. Ин навъи тобиш дар мамлақати мо номи «тобиши рентгенӣ» гирифт (бар хилофи он ки дар аксари мамлақатҳои Ғарб бо ҳамон номи додаи Рентген – « X -тобиш» ном бурда мешавад).

Рентген ошкор сохт, ки тобиши нав дар ҷойи ба девори шишагини найча задани тобиши катодӣ (яъне сели электронҳои баландсуръат) ба вучуд меояд. Ин ҷойи шиша рӯшноии сабзтоб меод. Таҷрибаҳои баъдина нишон дод, ки тобиши рентгенӣ дар натиҷаи дар ҳар гуна садд (монеа), масалан, дар электроди филазӣ тормоз хӯрдани электронҳои баландсуръат ҳосил мешавад.

Ҳосиятҳои тобиши рентгенӣ. Тобиши рентгенӣ фотолавларо тирагун ва ҳаворо ион-ион (ионизатсия) мекард, вале аз ин Ӯ он модда ба дараҷаи намоён инъикос намегашт ва намешикаст.

Майдони электромагнитӣ ба самти рафти тобиши рентгенӣ ҳеч гуна таъсир надошт.

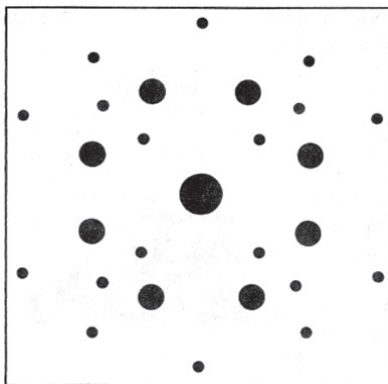
Он гоҳ ин гуна гумон рафт: тобиши рентгенӣ мавҷҳои электромагнитие ҳастанд, ки дар натиҷаи якбора тормоз хӯрдани электронҳо ба вучуд меоянд. Бар хилофи рӯшноии қитъаи намоёни тайф (спектр) ва шуоъҳои ультрабунафш тобиши рентгенӣ хеле кӯтоҳмавҷ аст. Ҳар қадре ки энергияи электронҳои ба катод зананда бештар бошад, тобиши рентгении дар ин маврид ҳосилшаванда ҳамон қадр кӯтоҳмавҷтар (яъне баландэнергиятар) меояд. Соҳиби қобилияти баланди нуфуз будани тобиши рентгенӣ ва хусусиятҳои дигари ин тобиш маҳз бо кӯтоҳии мавҷҳои он

алоқаманд дониста мешуд. Вале ин тахмин исбот меҳост. Исбот баъди 15 соли даргузашти Рентген муяссар гашт.

Дифраксияи тобиши рентгенӣ. Агар тобиши рентгенӣ мавҷи электромагнитӣ бошад, вай бояд дифраксия шавад, зеро падидаи дифраксия ҳама мавҷоро хос аст. Дар ин роҳ тобиши рентгенӣ аз роғҳои танги лавҳаҳои сурбӣ гузаронданд. Аммо ҳеҷ падидаи ба дифраксия монанд рӯй надод. Олими олмонӣ Макс Лауэ изҳори ақида кард, ки тобиши рентгенӣ бисёр кӯтоҳмавҷ аст ва бинобар ин дар монеаҳои сунъӣ дифраксия дода наметавонад. Дар ҳақиқат, роғи андозаҳои 10^{-8} см сохтан имкон надорад, зеро андозаи ҳуди атомҳо ҳамин қадр аст. Хуб, агар дарозии мавҷҳои рентгенӣ тақрибан ҳамин қадр бошад-чӣ?

Он гоҳ танҳо як имкон боқӣ мемонад – истифодаи булӯрҳо (кристаллҳо). Булӯр сохтор (структура)-и мурағабаста аст, ки дар он масофаи байни атомҳои алоҳида аз ҷиҳати бузургӣ ба андозаи ҳуди атомҳо, яъне тақрибан ба 10^{-8} см баробар аст. Маҳз ҳамин гуна булӯр ҳамон «асбоби» табиест, ки дар он тобиши рентгенӣ бояд дифраксия диҳад, ба шарте, албатта, ки дарозии мавҷи онҳо тақрибан 10^{-8} см бошад.

Ва биёсем ба сари таҷриба. Дастаи борики тобиши рентгенӣ сӯйи порчаи булӯр равона карда шуд. Дар паси булӯр фотолаваҳа воқеъ буд. Натиҷаи таҷриба пешгӯӣҳои ҳатто хушбинонатаринро тасдиқ кард. Дар баробари доғи калони марказӣ, ки онро шуоъҳои ростакӣ (шуоъҳои ростраванда) ҳосил мекарданд, доғчаҳои пайдо мешуданд, ки дар атрофи доғи марказӣ бо як тартиби муайян ҷой мегирифтанд (рас. 154). Сабаби пайдоиши ин доғчаҳо танҳо падидаи дифраксияи тобиши рентгенӣ буда метавонист, ки дар сохтори мурағабастаи булӯр ба вучуд меомад.



Рас. 154

Таҳқиқи манзараи дифраксия имкон дод, ки дарозии мавҷи тобиши рентгенӣ муайян карда шавад. Дарозии ин мавҷҳо назар ба мавҷҳои ултрабунафш кӯтоҳтар ва аз ҷиҳати бузургӣ ба андозаи атом (10^{-8} см) баробар баромад.

Истифодаи тобиши рентгенӣ. Тобиши рентгенӣ бисёр нуқтаҳои муҳими истифода дорад:

д а р т и б – барои ташхиси беморӣ ва муолиҷаи саратон;

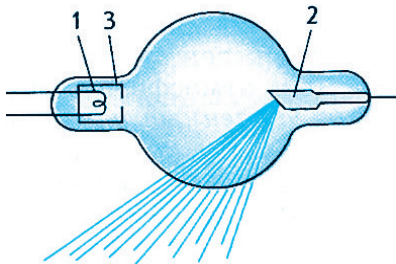
д а р т а ҳ қ и қ о т и и л м ӣ – ин ҷо нуқтаҳои истифода бешуморанд; чунончи: аз рӯйи манзараи дифраксияе, ки дар сурати аз тариқи булӯр гузаштани тобиши рентгенӣ пайдо мешавад, тартиби ҷой гирифтани атомҳоро дар фазо, яъне сохти булӯрро дарк кардан мумкин аст – ин барои моддаҳои булӯрии ғайриорганикӣ начандон мушкил будааст; ғайр аз ин ба воситаи таҳлили рентгении дифраксионӣ (ё худ таҳлили сохтори рентгенӣ) сохти пайвастагиҳои мураккабтарини органикӣ, аз ҷумла сохти сафедаҳо муайян карда шуд – чунончи, сохти молекулаи ҳемоглобин, ки даҳҳо ҳазор атом дорад, бо ҳамин усул ташхис шудааст ва ғ.

Ин комёбиҳо дар он замина ба даст омад, ки тобиши рентгенӣ ба дараҷаи зарурӣ кӯтоҳмавҷ аст – маҳз ҳамин буд, ки «дидани» сохтори молекулаи муяссар гардид. Аммо ин «дидан» на ба маънои аслии калима аст. Гап ин ҷо дар бораи ҳосил кардани манзараи дифраксионист, ки баъди бо машаққати зиёд «хондану» шарҳ додани он мавқеи фазоии атомҳоро муайян кардан мумкин аст.

Аз татбиқҳои дигари тобиши рентгенӣ нуқсшиносӣ (дефектоскопия)-и рентгениро ном бурдан мумкин аст. Ин усули ошкор сохтани ковоқиҳои рехтаҳои филизӣ (металлӣ), ёфтани кафи релсҳо ё тафтиши сифати дарзҳои ҷӯшқориҳо ва ғ. мебошад. Нуқсшиносии рентгенӣ бар санҷиши тағйироти фурубурди тобиши рентгение асос ёфтааст, ки он аз тариқи маснуоти бенуксу нуксдор мегузарад.

Сохти лӯлаи рентгенӣ. Дар замони ҳозира барои ҳосил кардани шуоъҳои рентгенӣ асбобҳои мукаммале бунёд шудааст, ки *лӯлаи рентгенӣ* (*ё найчаи рентгенӣ*) ном гирифтаанд.

Дар рас. 155 тарҳи содашудаи лӯлаи рентгенӣ тасвир ёфтааст. Катоди 1 сими волфрамии морпечест, ки дар натиҷаи эмиссияи термоэлектронӣ электрон меафканад. Силиндр (устувона)-и 3 сели электронҳоро конунӣ (даста) карда, сӯйи аноди филизӣ 2 раванна месозад – дар натиҷаи ба анод задани онҳо тобиши рентгенӣ ҳосил мешавад.



Рас. 155

Шиддати байни катоду анод дахҳо киловольт буда метавонад. Ҳавои даруни найча то дараҷае кашида мешавад, ки фишори газ дар он на бештар аз 10^{-5} мм Hg (мм сут. сим.) бошад.

Дар лӯлаҳои рентгении пуртавон анодро бо об хунук кардан лозим меояд, зеро ба анод задани сели электронҳо боиси тафсидани он мегардад. Танҳо се дарсади энергияи электронҳо ба тобиши рентгенӣ «табдил» меёбад.



Дарозии тобиши рентгенӣ дар фосилаи 10^{-9} – 10^{-10} м меҳобад. Қобилияти нуфузи ин тобиши хеле зиёд аст. Тобиши рентгенӣ дар тиб, дар таҳқиқи сохтори булӯрҳо (структураи кристаллҳо)-ву молекулаҳои органикии мураккаб ва г. истифода мешаванд.



1. *Сохти лӯлаи рентгенӣ чӣ гуна аст?*
2. *Сабаб чист, ки микроскопи рентгенӣ бунёд нашудааст?*

§64. Микёс (шкала)-и тобиши электромагнитӣ

Мо дидем, ки дарозии мавҷҳои электромагнитӣ гуногун буда метавонад – аз радиомавҷҳои километрдарозӣ то тобиши рентгении дарозии мавҷашон тақрибан 10^{-10} м. Рӯшноии намоён ҳиссаи бағоят ночизи тайф (спектр)-и мавҷҳои электромагнитиро ташиқил медиҳад. Бо вучуди ин аз таҳқиқи маҳз ҳамин ҳиссаи тайф тобишҳои дигари гайриодӣ кашф шудаанд.

Дар рӯяхи дарунии муқоваи ин китоб шкалаи пурраи мавҷҳои электромагнитӣ тасвир ёфтааст ва дар он дарозии мавҷову басомади тобишҳои гуногун ва инчунин дастгоҳҳои ҳосилкунандаи онҳо нишон дода шудааст. Ин мавҷҳо ба соҳаҳои зайл тақсим шудаанд: тобиши пастбасомад, тобиши инфрасурх, рӯшноӣ (яъне тобиши намоён), тобиши ултрабунафш, тобиши рентгенӣ ва гамма-тобиш. Шумо бо ҳамаи ин тобишҳо (ба истиснои гамма-тобиш) шинос ҳастед. Қӯтоҳмавҷтарин гамма-тобишро ҳастаҳои атомӣ ба вучуд меоваранд.

Дар байни ин ё он навъи тобишҳо тафовути аслии нест. Ҳамаи онҳо мавҷҳои электромагнитие ҳастанд, ки аз тарафи зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) афканда мешаванд. Мавҷҳои

электромагнитӣ аз рӯйи хосияти ба зарраҳои барқаманд таъсир оварданашон ошкор карда мешаванд. Дар ҳало (вакуум) нури соҳиби ҳар гуна дарозии мавҷ бо суръати собити 300 000 км/с паҳн мегардад.

Тобишҳои гуногундарозӣ аз якдигар бо тарзи тавлиди худ фарқ мекунанд: тобиши антен, тобиши ҳароратӣ, тобиши дар натиҷаи тормоз хӯрдани электронҳои баландсуръат пайдошаванда ва ғ. Ҳама навъҳои номбурдаи мавҷҳои электромагнитиро чирмҳои кайҳонӣ низ афканда метавонанд. Мавҷҳои кайҳонӣ ба воситаи мушакҳо (*ракетаҳо*), радиҳои маснуи Замин ва киштиҳои кайҳонӣ таҳқиқ карда мешаванд. Истифодаи ин тарзи санҷиш хусусан дар таҳқиқи тобиши рентгенӣ ва гамма-тобиш муҳим аст, зеро атмосфераи Замин ин навъи тобиши аз осмон ояндаро зиёд фуру мебарад.

Ба андозаи кӯтоҳ шудани дарозии мавҷ тафовути миқдории дарозии мавҷ боиси ба миён омадани тафовути бисе муҳими сифатӣ мегардад.

Тобишҳои гуногундарозӣ аз рӯйи натиҷаи фуру рафтанишон дар моддаҳо аз якдигар тафовути зиёд доранд. Нурҳои кӯтоҳмавҷ (тобиши рентгенӣ ва хусусан гамма-тобиш) кам фуру бурда мешаванд. Моддаҳои барои соҳаи оптикӣ ношаффоф барои ин нурҳо шаффофанд. Зариб (коэффисент)-и инъикоси мавҷҳои электромагнитӣ низ ба дарозии мавҷ бастагӣ дорад. Аммо фарқи асосии тобиши кӯтоҳмавҷ ва дарозмавҷ ин аст, ки тобиши кӯтоҳмавҷ хосияти заррагӣ зоҳир мекунад. (Аз ин хусус дар боби 8 сухан меронем).



1. *Радиомавҷҳоро чӣ тавр сабт (қайд) мекунанд? тобиши соҳаи оптикӣ чӣ? тобиши рентгенӣ чӣ?*
2. *Тасвирҳоро, ки дар рӯяҳои дарунии муқоваи китоб оварда шудаанд, муоина карда, фосилаҳои ҳама навъҳои тобиширо нишон диҳед (кадом фосила аз куҷо то ба куҷост).*

Муҳимтарин хулосаҳои боби ҳафтум

1. Рӯшноӣ зодаи зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) – электронҳо мебошад, электронҳо, ки дар атомҳо гирди ҳастаҳои атомӣ гадонанд. Барои он ки атом нур афканда тавонад, зарур аст, ки аз берун энергия бигирад.

Бештар аз ҳама манбаъҳои ҳароратии рӯшноӣ маъмуланд: Офтоб, ҷароғи электрикӣ (тафслампҳои электрикӣ), шуълаи оташ ва ғ.

2. Муҳимтарин бузургии ташхисдиҳандаи тобишҳо тақсимооти басомадии энергияи онҳо (яъне дарозииҳои мавҷи онҳо) аст. Ин тақсимот бо зичии тайфӣ (спектри)-и шиддати тобиш таъйин мешавад.

3. Тайфҳои афканиш ба воситаи асбобҳои тайфсанҷӣ таҳқиқ карда мешаванд. Ҷузъи асосии асбоби тайфсанҷӣ маншур (призма) ё панҷараи дифраксионӣ мебошад.

4. Тобиши ҳиссаҳои саҳт ва моеъ ва инчунин тобиши плазма тайфи бифосила (спектри пайваста) доранд. Дар ин гуна тайф ҳама дарозииҳои мавҷ (бо шиддати гуногун, албатта) мавҷуданд.

Нуре, ки газҳои атомитаркиб (газҳои атом-атом) меафканад, тайфи раҳрах дорад. Дарозииҳои мавҷи тайфи раҳрах ба тарзи ангиши атомҳои моддаи нурафкан вобаста нестанд, балки танҳо ба ҳосиятҳои физикии атомҳо бастагӣ доранд. Таҳлили тайфӣ (таҳлили спектри) маҳз бар ҳамин хусусияти моддаҳо асос ёфтааст.

Тайфи тобиши молекулаҳо аз наворҳои алоҳидае иборат мешаванд, ки онҳо аз ҳам бо фосилаҳои тирагун ҷудоанд.

Ин гуна тайфро *тайфи наворӣ* мегӯянд.

5. Фурурафти рӯшноӣ дар ин ё он модда ба дарозии мавҷ (ё басомад) бастагӣ дорад. Модда хубтар аз ҳама рӯшноии соҳиби дарозииҳои мавҷеро фуру мебарад, ки худ дар ҳолати тафсон будан маҳз мавҷҳои ҳамон гуна дарозиро бештар хорич мекунад. Аз рӯйи хатҳои фурубурди рӯшноӣ таркиби кимиёии Офтобу ситораҳоро муайян кардан мумкин аст ва ин усул татбиқи бисёр дорад.

6. Рӯшноӣ мавҷи электромагнитист, ки дарозииҳои фосилаи $4 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-7}$ м-ро фаро мегирад. Тобиши соҳиби дарозииҳои кӯтоҳтар аз дарозииҳои мавҷҳои сурх ($8 \cdot 10^{-7}$) *тобиши инфрасурх* ном гирифтаанд. Ҳар гуна ҳисси тафсида манбаи тобиши инфрасурх буда метавонад.

Мавҷҳои электромагнитие, ки дарозии кӯтоҳтар аз $4 \cdot 10^{-7}$ м доранд, *тобиши ултрабунафш* ном доранд. Ин навъи тобиш фаъолияти кимиёии моддаҳоро афзоиш медиҳад.

7. Тобиши назар ба тобиши ултрабунафш кӯтоҳмавҷтар *тобиши рентгенӣ* аст. Дарозии мавҷи тобиши рентгенӣ тақрибан ҳамчун андозаҳои атомист. Ин тобиш дар натиҷаи якбора тор-моз хӯрдани электронҳои ба вучуд меояд, ки онҳоро волтажи

электрикии чанд киловольт шитоб дода бошад. Моддаҳо тобиши рентгениро кам фурӯ мебаранд. Тобиши рентгенӣ дар тиб барои ташхис ва муолиҷаи бемориҳо, дар техника барои нуқсшиносӣ, дар татқиқоти илмӣ ва ғ. истифода мешаванд.

8. Шкалаи мавҷҳои электромагнитӣ аз радиомавҷҳои дароз ($\lambda > 1$ км) то гамма-тобиш ҳама дарозииҳои мавҷро фаро мегирад. Мавҷҳои электромагнитии гуногундарозиро вобаста ба хосиятҳо ва тарзи ҳосил карданишон шартан ба ҷосилаҳои алоҳида тақсимбандӣ мекунад. Тафовути миқдорӣ дар дарозии мавҷҳо сабабгори тафовути муҳими сифатӣ гардида метавонад. Тобишҳои кӯтоҳмавҷ хосиятҳои заррагӣ зоҳир мекунад.

ФИЗИКАИ КВАНТӢ

Боби 8. Квантҳои рӯшноӣ

Боби 9. Физикаи атом.

Боби 10. Физикаи ҳастаи атом

Боби 11. Зарраҳои бунёди

Пайдоиши назарияи квантӣ

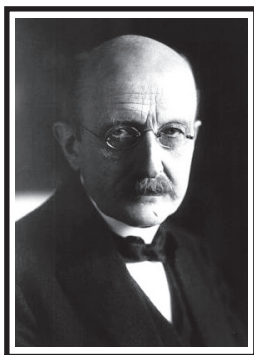
Бузургтарин инқилоб дар илми физика ба ибтидои а. ХХ рост омад. Саъю кӯшиши шарҳ додани қонуниятҳои дар тайф (спектр)-и тобиши ҳароратӣ (тобиши электромагнитии ҳисмҳои тафсида) тақсим шудани энергия, ки аз таҷриба бармеоманд, беҳуда менамуд, балки беҳуда буд. Қонунҳои чандин бор санҷидашудаи электромагнетизми Максвелл дар сурати дар ҳалли масъалаи афканиши мавҷҳои электромагнитии кӯтоҳ истифода шудан якбора «корпартоӣ» мекарданд. Ин боз аз он ҷиҳат тааҷҷубангез буд, ки ин қонунҳо қараёни радиомавҷ афканданҳои антенҳоро дуруст тавсиф медиҳанд ва дар вақташ мавҷудияти ҳуди мавҷҳои электромагнитӣ дар асоси ҳамин қонунҳо пешгӯӣ шуда буд.

Электродинамикаи Максвелл муҳаққиқонро ба ҳулосаи бемаъние мебард, ки мувофиқи он ҳисми гарм дар натиҷаи бефосила хориҷ кардани мавҷҳои электромагнитӣ энергияи худро гум карда, мебоист то ҳарорати сифри мутлақ сард мешуд. Мувофиқи назарияи классикӣ мувозанати ҳароратӣ дар байни модда ва нури афкандаи он имконпазир нест. Аммо таҷрибаҳои маъмулӣ нишон медиҳанд, ки воқеият ҳаргиз чунин набудааст. Ҷисми гарм на ҳамаи энергияи худро барои афканиши мавҷҳои электромагнитӣ сарф мекунад.

Дар ҷустуҷӯи роҳи ҳалли ин зиддияти назария ва таҷриба олими олмонӣ Макс **Планк** ақидае изҳор кард, ки атомҳо энергияи электромагнитиро ҳисса-ҳисса ё худ квант-квант меафкананд. Энергияи ҳар як ҳисса ё худ квант E ба басомади ларзиши мавҷи электромагнитӣ ν мутаносиб аст:

$$E = h\nu$$

Зариб (коэффисент)-и мутаносибӣ h *собити Планк* ном дорад. Фарзи Планк амалан ифодаи он буд, ки қонунҳои физикаи классикӣ дар падидаҳои микроолам қобили истифода нестанд.



Планк Макс (1858-1947) – физикдони бузурги олмонӣ, бунёдгузори назарияи квантӣ – назарияи муосири ҳаракат, таъсиrotи мутақобил ва табдилоти мутақобили зарраҳои микроскопӣ. Соли 1900 Планк дар асари ба тобиши мувозанатии ҳароратӣ бахшидааш фарзе ба миён овард, ки энергияи осциллятор (системаи физикии ба оҳанги мавзун ларзишхӯранда) қиматҳои ба басомади ларзишҳо ν мутаносиби дискретӣ мегирад. Осциллятор энергияи электромагнитиро ҳисса-ҳисса ё квант-квант меафканад. Планк дар арсаи термодинамика низ саҳми зиёд дорад.

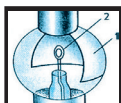
Назарияи тобиши ҳароратие, ки Планк бунёд кард, бо таҷриба мутобиқати аъло дошт. Аз рӯйи қиматҳои таҷрибавии тақсимоти басомадии энергия қимати собити Планк муайян карда шуд, ки бaсе хурд будааст:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Ҷ}\cdot\text{с.}$$

Дар банди оянда мо падидаи дигари физикиеро муoина хоҳем кард, ки бо ёрии он собити Планкро бо роҳи нисбатан осонтар ёфтан мумкин аст.

Баъди кашфиёти Планк назарияи ба кул्लӣ нав ва амиқи физикие ба вуҷуд омада, тараққӣ кард, ки *назарияи квантӣ* ном гирифтааст. Ин назария ҳоло ҳам дар ҳоли инкишоф мебошад.

Планк чораи бартараф сохтани мушкilotи назарияи тобиши ҳароратиро нишон дод. Аммо ин комёбӣ бар ивази он ба даст омад, ки қонунҳои физикаи классикӣ дар доираи системаҳои микроскопӣ истифоданопазир пиндошта шаванд.



Боби 8 КВАНТҲОИ РҶШНОӢ

Қонунҳои физикаи квантӣ барои таъхис додани рафтори микро-зарраҳо эҷод шудаанд. Аммо хосиятҳои квантии модда бори нахуст маҳз дар таҳқиқи падидаҳои афканиш ва фурӯбурди рӯшноӣ ошкор гардидаанд.

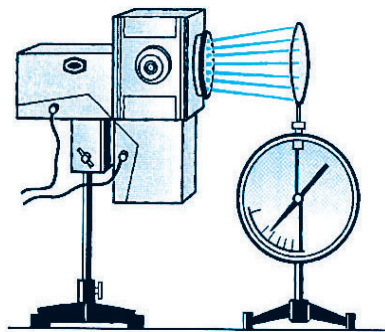
§65. Падидаи фотоэлектрикӣ (фотопадида)

Қадами қатъӣ дар инкишофи тасаввуроти алоқаманд бо табиати рӯшноӣ омӯзиши падидаи аҷибе буд, ки онро олими олмонӣ Ҳ.Ҳертз ошкор сохт ва олими рус А.Г.Столетов онро ҳаматарафа таҳқиқ кард. Ин падида **фотопадида** ё худ **падидаи фотоэлектрикӣ** (эффекти фотоэлектрикӣ) ном гирифтааст.

Фотопадида гуфта падидаи бо таъсири рӯшноӣ аз модда қанда шудани электронҳои мефаҳманд.

Мушоҳидаи фотопадида. Барои ошкор сохтани фотопадида электрометреро истифода кардан мумкин аст, ки бо лавҳаи рухӣ пайваस्त бошад (рас.156). Агар ба лавҳа аввал барқои мусбат диҳему баъд рӯшноии, масалан, камони электрикиро сӯйи он равона созем, суръати аз барқа холи (яъне бебарқа) шудани электрометр тағйир намеёбад. Аммо агар лавҳаро манфӣ-барқаманд кунем, такрори таҷриба нишон медиҳад, ки сели рӯшноии камони электрикӣ онро басте зуд холи (аз барқа) мекунад.

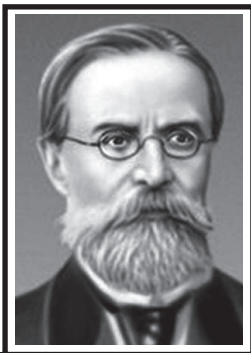
Ин танҳо як шарҳ дорад. Рӯшноӣ электронҳоро аз сатҳи лавҳа зада мебарорад; агар лавҳа барқои манфӣ дошта бошад, электронҳои қандашуда аз сатҳи он тела меҳӯранд ва электрометр аз барқа холи мешавад. Лекин агар лавҳа барқои мусбат дошта бошад, вай электронҳои қандашударо ҳамон дам ба худ мекашад ва, аз ин рӯ, электрометр холи намешавад.



Рас.156.

Столетов Александр Григорьевич (1839-96) – физик-дони рус. Таҳқиқи фотопадада Столетовро шухрати чаҳонӣ дод. Ӯ имкони истифодаи амалии фотопададаро низ нишон дод. Столетов дар рисолаи худ «Таҳқиқи ҷараёни магнитнок шудани оҳани нарма» усули тадқиқи ферромагнетикҳоро таҳия кард ва шакли хатти қачи магнитнок шудани моддаҳоро муқаррар сохт. Ин асари ӯ дар амалияи офариниши мошинҳои электрикӣ истифода шудааст.

Столетов барои дар Русия инкишоф додани физика кӯшиши бисёр ба харҷ додааст. Ӯ ташаббускори барпо кардани Пажӯҳишгоҳи физикаи назди Донишгоҳи Маскав буд.



Аммо агар дар роҳи сели рӯшноӣ шишаи муқаррарӣ бигзорем, сарфи назар аз шиддати дастаи рӯшноӣ лавҳаи дорои барқаи манфӣ электронҳои худро дигар намеафканад. Азбаски шиша тобиши ултрабунафшро фурӯ мебарад, пас, метавон гуфт, ки сабабгори падидаи фотоэлектрикӣ маҳз ҳамин шуоъҳои ултрабунафш ҳастанд. Ин далели ба худии худ номураккабро дар ҷаҳорҷӯбаи назарияи мавҷии рӯшноӣ шарҳ додан илоҷ надорад. Фаҳмо нест, ки ҷаро мавҷҳои пастбасомади рӯшноӣ ҳатто дар сурати бузург будани домана (амплитуд)-и мавҷ (яъне бузург будани қувваи ба электронҳо таъсиркунанда) электрон қанда наметавонанд.

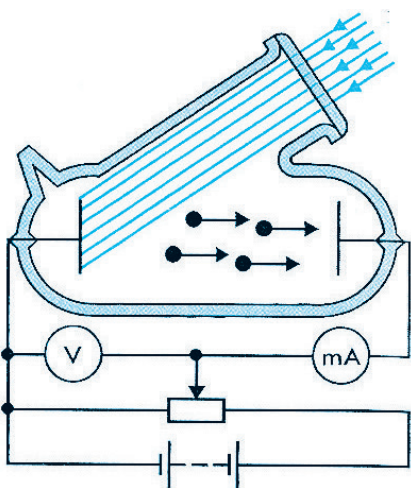
Қонунҳои падидаи фотоэлектрикӣ. Барои дар бораи фотопадада муълумоти пурратар ба даст овардан дарк кардан зарур аст, ки адади электронҳои бо таъсири рӯшноӣ аз сатҳи модда қандашуда, яъне *фотоэлектронҳо* ва суръат ё энергияи кинетикии онҳо ба чӣ вобаста аст.

Барои рӯшанӣ андохтан дар ин масъала таҷрибаҳое анҷом дода шудаанд, ки якеи онҳо дар рас.157 тасвир ёфтааст. Ҳавои баллони шишагинеро, ки андарунаш ду электрод дорад, мекашанд. Баллон равзанаи кварсие дорад, ки на танҳо барои рӯшноии сафед, балки инчунин барои тобиши ултрабунафш шаффоф аст. Потенсиал (ё худ волтаж)-и ба электродҳо додашавандаро бо ёрии потенциометр тағйир додан ва ба воситаи вольтметр чен кардан мумкин аст. Электроди номбурдаро бо қутби манфии батаре мепайванданд. Ин электрод бо таъсири рӯшноӣ электрон меафканад. Электронҳо ҳангоми дар майдони электрикӣ ҳаракат кардан ҷараён ба вучуд меоваранд. Дар сурати кам будани потенциали байни электродҳо на ҳама электронҳои қандашуда то ба электроди дигар мерасанд. Агар фарқи потенциалҳои байни электродҳоро

зиёд кунем, бо вучуди бетағйир мондани сели рӯшноӣ қувваи ҷараён меафзояд ва дар ягон қимати волтаж максимум гирифта, баъд доимӣ мемонад (рас.158). Зиёдтарин қимати қувваи ҷараён I_c ҷараёни сер ном гирифтааст. Бузургии ҷараёни сер ба адади электронҳои вобаста мебошад, ки аз электрод дар муддати 1 с канда мешаванд.

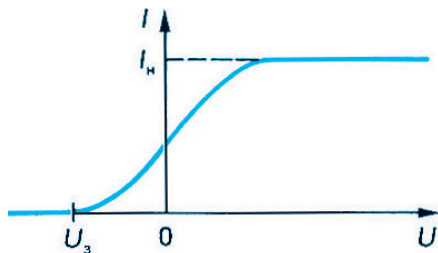
Дар ин таҷриба тағйир додани шиддати рӯшноӣ ба электрод зананда имкон дод, ки ин гуна вобастагӣ муқаррар карда шавад: *адади электронҳои дар 1 с аз сатҳи электрод кандашаванда ба миқдори дар ин муддат фурӯрафтаи энергияи мавҷи рӯшноӣ мутаносиб мебошад*. Ин ҳеҷ чойи ғайриҷашмдошт надорад: ҳар қадре ки энергияи дастаи рӯшноӣ зиёд бошад, таъсири он ҳамон қадр бештар аст.

Акнун тарзи чен кардани энергияи кинетикӣ ё суръати электронҳоро бинем. Аз рас.158 бармеояд, ки қувваи фотоҷараён дар сурати ҳеҷ будани фарқи потенциалҳои байни электродҳо низ аз сифр фарқ дорад. Ин нишони он аст, ки қисме аз электронҳои кандашуда то ба электроди дигар дар мавриди сифрӣ будани фарқи потенциалҳо низ мерасад (ниг. рас.157). Агар қутбҳои батарео тағйир диҳем, қувваи ҷараён кам мешавад ва дар ягон қимати U_0 -и қутбияти чаппа ҷараён қатъ мегардад: дар ин маврид майдони электрикӣ ҳама электронҳоро аввал бозмедорад ва баъд ақиб мегардонад.



Рас.157.

Бузургии волтаж (фарқи потенциалҳо)-и боздоранда U_0 ба энергияи кинетикӣ зиёдтарини электронҳои кандашуда вобаста аст. Волтажи боздорандаро чен карда, дар асоси теорема (қазия)-и энергияи кинетикӣ (ниг.



Рас.158.

китоби дарсии «Физика, 9», §44) қимати зиёдтарини энергияи кинетикии электронҳоро ёфтани мумкин аст:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_0$$

Чунонки таҷрибаҳо нишон дод, дар сурати тағйир ёфтани шиддати рӯшноӣ (ё худ зичии сели рӯшноӣ) қимати волтажи боздоранда тағйир намеёбад. Ин нишони он аст, ки энергияи кинетикии электронҳо тағйир намеёбад.

Ин далел аз нигоҳи назарияи мавҷии рӯшноӣ нофаҳмо: тавре ба назар мерасад, ки гӯё шиддати рӯшноӣ ҳарчи зиёдтар бошад, аз тарафи майдони электромагнитии мавҷи рӯшноӣ ба электронҳо қувваи ҳамон қадр бештар таъсир меоварад ва гӯё онҳо энергияи ҳамон қадр бештарро соҳиб мешуда бошанд.

Аммо таҷриба нишон дод, ки энергияи кинетикии фотоэлектронҳо танҳо ба басомади мавҷи рӯшноӣ вобаста аст. Қимати зиёдтарини энергияи кинетикии фотоэлектронҳо дар сурати афзудани басомади мавҷи рӯшноӣ ба таври хаттӣ зиёд мешавад ва ба шиддати дастаи рӯшноӣ бастагӣ надорад. Агар басомади мавҷи рӯшноӣ аз басомади камтарини барои ҳар модда хоси ν_{min} хурд бошад, падидаи фотоэлектрикӣ рӯй намедихад.



Қонунҳои падидаи фотоэлектрикӣ (фотопадида) шаклан ба сӯда ҳастанд. Аммо вобастагии энергияи кинетикии фотоэлектронҳо ба басомад асроромез менамояд.



1. *Собити Планк чӣ қимат дорад?*
2. *Қонунҳои асосии падидаи фотоэлектрикӣ чигунаанд?*

§66. Пояи назарии падидаи фотоэлектрикӣ

Ҳама саъю кӯшиши дар заминаи қонунҳои электродинамикаи Максвелл (ки мувофиқи онҳо рӯшноӣ мавҷи электромагнитии дар фаза бефосила паҳншуда мебошад) шарҳ додани падидаи фотоэлектрикӣ бенатиҷа баромад. Нофаҳмо буд, ки чаро энергияи фотоэлектронҳо танҳо ба басомади рӯшноӣ вобаста аст ва чаро электронҳо фақат ҳангоми кӯтоҳ будани дарозии мавҷи канда мешаванд.

Ин падида ро с.1905 А.Эйнштейн шарх дод. Шархи \bar{u} бар ақидаи Планк дар хусуси квант-квант, зарра-зарра афканда шу-дани рӯшноӣ асос ёфта буд. Дар зуҳури қонунҳои таҷрибавии падидаи фотоэлектрикӣ Эйнштейн исботи бешакки онро медид, ки рӯшноӣ сохти зарра-зарра дорад ва бо ҳиссаҳои алоҳида, яъне **зарра-зарра фуру бурда мешавад.**

Энергияи ҳар як ҳиссаи рӯшноӣ E (дар мутобиқати комил бо фарзияи Планк) ба басомад мутаносиб мебошад:

$$E = h\nu, \quad (8.1)$$

ки ин ҷо h собити Планк аст.

Аз он ки рӯшноӣ, чунонки Планк нишон дод, квант-квант (яъне зарра-зарра) хорич мегардад, ханӯз барнамеояд, ки рӯшноӣ сохти заррагӣ дорад. Дарвоқеъ, оби даруни шиша ҳаргиз ифодаи он нест, ки гӯё об сохтори зарра-зарра дошта ва аз ҳиссаҳои тақсимнопазир таркиб ёфта бошад.

Танҳо падидаи фотоэлектрикӣ нишон дод, ки рӯшноӣ сохтори канда-канда дорад: ҳиссаи афкандашудаи энергияи рӯшноӣ $E = h\nu$ минбаъд – дар ҷараёни паҳн гаштани рӯшноӣ низ сифати хусусии худро нигоҳ медорад. Ҳиссаҳо танҳо том-том фуру бурда мешаванд.

Энергияи кинетикии фотоэлектронро бо ёрии қонуни бақои энергия ёфтани мумкин аст. Энергияи ҳиссаи рӯшноӣ $h\nu$ барои иҷро кардани кори баровард A (яъне коре, ки барои аз сатҳи филиз канда баровардани электрон бояд иҷро шавад) ва барои ба он электрон бахшидани энергияи кинетикӣ сарф мешавад:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (8.2)$$

Ин муодила мушкилиҳои асосии алоқаманд бо падидаи фотоэлектрикиро шарҳ медиҳад. Шиддати рӯшноӣ, ба гуфти Эйнштейн, ба адади квантҳо (ҳиссаҳо)-и энергия (дар дастаи рӯшноӣ мутаносиб мебошад ва, аз ин рӯ, адади электронҳои аз сатҳи филиз кандашударо ифода мекунад. Суръати электронҳо бошад, мувофиқи (8.2) танҳо ба басомади мавҷи рӯшноӣ ва кори баровард бастагӣ дорад, вале ба шиддати рӯшноӣ вобаста нест. (Кори баровард, дар навбати худ ба навъи филиз ва ҳолати сатҳи он вобаста мебошад).

Барои ин ё он модда падидаи фотоэлектрикӣ дар сурате мушоҳида мешавад, ки басомади мавҷи рӯшноӣ назар ба қимати камтарини ν_{min} зиёд бошад, зеро барои аз сатҳи филиз кандани

электрон ҳатто дар мавриди ба он набахшидани энергияи кинетикӣ кори бароварди A -ро иҷро кардан мебояд. Пас, энергияи квант бояд бештар аз A бошад, яъне

$$h\nu > A.$$

Басомади сарҳадии ν_{\min} сарҳадди сурхи фотопадиди ном гирифтааст ва чунин ифода карда мешавад:

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

Кори баровард ба навъи модда алоқаманд мебошад. Бинобар ин сарҳадди сурхи фотопадиди ν_{\min} низ барои ҳар модда ҳар хел аст. Чунончи, барои рух сарҳадди сурх ба дарозии мавҷи $\lambda_{\max} = 3 \cdot 10^{-7}$ м (тобиши ултрабунафш) рост меояд. Сабаби қатъ гаштани фотопадиди дар сурати дар роҳи рӯшноӣ гузоштани лавҳаи шишагин, ки нуруҳои ултрабунафшро фурӯ мебарад, низ ҳамин аст.

Кори баровард барои алюмин ё оҳан назар ба рух зиёдтар аст. Ҳамин буд, ки дар таҷрибаи дар §65 баёншуда лавҳаи руҳӣ истифода шудааст. Барои филизоти ишқорӣ кори баровард, баръакс, кам, вале дарозии мавҷи мутобиқи сарҳадди сурх λ_{\max} – зиёд аст. Чунончи, барои натрий $\lambda_{\max} = 6,8 \cdot 10^{-7}$ м мебошад.

Бо ёрии муодилаи Эйнштейн (8.2) собити Планк h -ро ёфтан осон аст. Барои ин дар таҷриба басомади мавҷи рӯшноиву кори баровард ва баъд энергияи кинетикии фотоелектронҳоро муайян кардан мебояд. Аз ин гуна таҷрибаҳо қимати $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Ҷ·с ҳосил мешавад, ки ба қимати аз таҳқиқи назарии падидаи тамоман дигар – тобиши ҳарорати ҳосилкардаи Планк айнан баробар аст. Ҳамчен омадани қиматҳои бо усулҳои гуногун ёфтшудаи собити Планк дурустии фарзи дар масъалаи квантирафтор будани чараёни афканиш ва фурӯбурди рӯшноӣ ба миён омадаро ба кулӣ тасдиқ мекунад.



Муодилаи Эйнштейн (8.2) бо вуҷуди басте сода будан қонуниятҳои падидаи фотоелектрикиро шарҳи дуруст медиҳад. Ҳамин буд, ки Эйнштейн барои эҷоди назарияи ин падида сазовори мукофоти нобелӣ гардидааст.



1. *Қадам далелҳо шаҳодат медиҳанд, ки рӯшноӣ ҳосиятҳои заррагӣ зоҳир мекунад?*

2. Сарҳадди сурхи падидаи фотоэлектрикӣ чист ва чиро ифода мекунад?

§67. Фотонҳо

Дар физикаи муосир фотон чун яке аз зарраҳои бунёдӣ муоина мешавад. Чанд даҳсола аст, ки ҷадвали зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) аз фотон сар мешавад.

Энергия ва импульси фотон. Рӯшноӣ ҳам ҳангоми тавлид ёфтан ва ҳам ҳангоми фуру рафтан чун сели зарраҳои рафтор мекунад, ки энергияи $E=hc/\lambda$ доранд, яъне энергияи онҳо ба басомад во-баста аст. «Хисса»-и рӯшноӣ ғайриҷашмдошт ба чизе монандӣ пайдо кард, ки зарра ном гирифтааст. Хосиятҳои ҳангоми афканиш ва фуруборд зоҳиршавандаи рӯшноиро хосиятҳои заррагӣ (ё корпускулӣ) ва худ зарраи рӯшноиро фотон ё кванти тобиши электромагнитӣ мегӯянд.

Фотон мисли зарраҳои энергияи муайян – энергияи hc/λ дорад. Энергияи фотонро маъмулан на бо басомади ν , балки бо басомади доиравии $\omega=2\pi\nu$ ифода мекунанд. Дар ин сурат ба сифати зарба (коэффисент)-и мутаносибӣ ба ҷойи бузургии h бузургии $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (яъне «ҳе»-и миёнбаста)-ро истифода мекунанд, ки тибқи маълумоти ҳозира қимати зайл дорад:

$$\hbar = 1,0545887 \cdot 10^{-34} \text{ Ҷ.с}$$

Пас, энергияи фотонро ин хел ифода кардан мумкин аст:

$$E = \hbar\omega \quad (8.4)$$

Мувофиқи назарияи нисбият энергия ва масса чунин ҳамбастагӣ доранд:

$$E = mc^2$$

Азбаски энергияи фотон ба hc/λ баробар аст, пас, массаи онро ин тавр ёфтан мумкин аст:

$$m = \frac{hc/\lambda}{c^2} \quad (8.5)$$

Фотон массаи оромӣ (m_0) надорад, яъне дар ҳолати оромӣ (қарор) вучуд дошта наметавонад. Ин «зарра» гоҳи тавлид ёфтан соҳиби суръати c мешавад. Массаи бо формулаи (8.5) муайяншаванда массаест, ки онро фотон дар ҳолати ҳаракат соҳиб мебошад. Аз рӯйи массаи суръати муайян импульси фотонро ёфтан осон аст:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (8.6)$$

Импулси фотон ба самти шуоъи рӯшноӣ равона мебошад.

Ҳар кадре ки басомад зиёд бошад, энергияву импулси фотон ҳамон кадр зиёданд ва хосиятҳои заррагии «зарраҳои» рӯшноӣ ҳамон кадр равшантар зоҳир мегарданд. Энергияи фотонҳои рӯшноӣ намоян бағоят кам аст. Чунончи, фотонҳои рӯшноӣ сабз энергияи $4 \cdot 10^{-19}$ Ҷ доранд.

Бо вучуди ин С.Вавилов дар таҷрибаҳои бисёр хуби худ муқаррар кард, ки чашми одам – ин «асбоби» нозуктарин, фарқи равшаниҳои офаридаи квантҳои алоҳидаро ҳис карда метавонад.

Дугунагӣ (дуализм)-и «зарра-мавҷ». Ҳамин тариқ, зарур омад, ки рӯшноӣ чун сели зарраҳо пиндошта шавад. Ба назар омада метавонад, ки ин гӯё бозгашт ба назарияи заррагии Нютон бошад. Аммо набояд фаромӯш сохт, ки падидаҳои интерференс ва дифраксияи рӯшноӣ шаҳодати равшани хосияти мавҷӣ доштани рӯшноӣ ҳастанд. Рӯшноӣ дугунагии ба худ хос дорад. Ҳангоми густариш ёфтани рӯшноӣ хосиятҳои мавҷӣ он зоҳир мешаванду дар сурати бо моддаҳо таъсири мутақобил кардан (яъне ҳангоми афканда шудан ва фуру рафтани рӯшноӣ) – хосиятҳои заррагии он.

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

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

Ин хосиятҳои ғайриодии микрозарраҳо ба воситаи назарияи ҳаракати ин навъ зарраҳо, ба воситаи *механикаи квантӣ* шарҳ дода мешавад. Равшан 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 оромии 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 воқеъ мегардонад. Ҳисса-ҳисса ё квант-квант афканда ва фурӯ бурда шудани мавҷҳои электромагнитӣ зухуроти хусусиятҳои заррагии майдони электромагнитӣ мебошад.

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



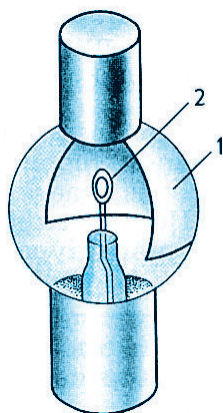
- 1. Аз рӯйи қимати маълуми басомади (ларзиши) мавҷи рӯшноӣ энергияи фотон ва массаву импульси онро чӣ тавр ёфтан мумкин аст?*
- 2. Мафҳуми дугунагии зарра–мавҷ чӣ маъниро ифода мекунад?*

§68. Истифодаи падидаи фотоэлектрикӣ

Кашфи падидаи фотоэлектрикӣ барои дарки амиқтари табиати рӯшноӣ аҳамияти зиёд дошт. Аммо арзиши илм на танҳо ин аст, ки сохтори мураккабу рангоранги олами моддиро равшан созад, балки ин ҳам ҳаст, ки вай моро дар паймоиши роҳи такмили истеҳсолот ва бехтар кардани шароити моддиву маънавии ҷомеа муқтадиртар гардонад.

Бо мадади фотопада кино «ба гап даромад», бо ёрии он нақл кардани тасвирҳои гуногун дар ҳоли ҳаракат имконпазир гашт. Истифодаи асбобҳои фотоэлектронӣ офаридани дастгоҳҳоеро имконпазир гардонд, ки аз рӯйи нақшаи муайян бе даҳлати одам ҳар гуна маснуот тайёр мекунад. Асбобҳои, ки бар падидаи фотоэлектрикӣ асос ёфтаанд, андозаҳои маснуотро бехтар аз ҳар гуна одам назорат мекунанд, чароғҳои кӯчаву биноҳоро сари вақт дармегиронанд ва ғ. Ҳамаи ин дар натиҷаи ихтирои *фотоолат* ё худ фотоэлемент ном асбобе имконпазир гардид, ки дар он энергияи рӯшноӣ энергияи ҷараёни электрикиро идора мекунад ё ба он табдил меёбад.

Фотоолатҳои вакуумӣ (фотоэлементҳои вакуумӣ). Фотоолат колба (қаръ)-и шишагинест (рас.159), ки қисми сатҳи дарунии он



Рас.159.

бо қабати тунуки филизии кори баровардаш кам пӯшонда шудааст. Ин қисми фотоолат катоди он (1) мебошад. Рӯшноӣ ба даруни колба аз «равзани» шаффоф медарояд. Дар мобайни он ҳалқаи симин ё гирдаи 2 шинонда шудааст, ки чун аноди асбоб хидмат мекунад. Анод ба қутби мусбати батаре пайваста мешавад. Фотоолатҳои ҳозира рӯшноии намоён ва ҳатто тобиши инфрасурхро ҳис мекунанд. Дар сурати ба катоди фотоолат задани рӯшноӣ дар занҷир ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки ин ё он релеро ба қор медарорад ё кори онро қатъ мегардонад. Якҷо бо реле қор фармудани фотоолатҳо имкон

медихад, ки автоматҳои гуногуни «бинанда» сохта шаванд. Якеи онҳо автомати метро мебошад. Агар пешақӣ ҳаққи гузар, масалан як панҷтина – ба роғи махсус андохта нашлавад, автомат роғи гузарро мебандад.

Ин гуна фотоолат фалокатҳои гуногунро низ пешгирӣ карда метавонад. Чунончи, агар дасти одам тасодуфан дар ҷойи хавфнокӣ пресс дарояд, фотоолат прессро қариб дафъатан қарор медиҳад.

Бо ёрии фотоолатҳо садои дар навори кино сабтшударо бозгӯӣ қардан мумкин аст.

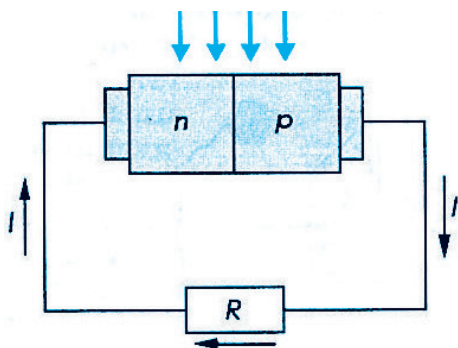
Фотоолатҳои нимноқилӣ. Дар баробари падидаи фотоэлектрикӣ дар ин боб муоинашуда, ки *фотопадаи берунӣ* низ номида шудааст, *фотопадаи дарунӣ* низ ҷой дорад, ки дар нимноқилҳо, аз ҷумла дар фотомуқовиматҳо (олатҳои, ки муқовимати онҳо ба равшанӣ вобаста аст) истифода мешавад (ниг. китоби дарсии «Физика, 10», §76). Файр аз ин, фотоолатҳои нимноқилие сохта шудаанд, ки энергияи рӯшноиро бевосита ба энергияи ҷараёни электрикӣ табдил медиҳанд ва қувваи *муҳаррикаи электрикӣ*¹ (ҚумЭ) ба вучуд меоваранд. ҚумЭ-и дар ин маврид мушоҳидашаванда дар *p-n*-соҳаи ду нимноқил дар мавриди рӯшноборон қардани ин соҳа ба вучуд меояд (ниг. «Физика, 10», §73). Ин ҚумЭ-ро *ҚумЭ-и фотоэлектрикӣ* номидан мумкин аст. Бо таъсири рӯшноӣ дар соҳаи номбурда ҷуфтҳои иборат аз як электрону як *ҷавф* (қовокӣ, ҷойи холӣ) ба вучуд мео-

1. Номи пешинаи ин мафҳум «қувваи электроҳаракатдиҳанда» (ҚЭХ) буд, ки мазмуно дуруст ифода намекунад. (С.Қ.).

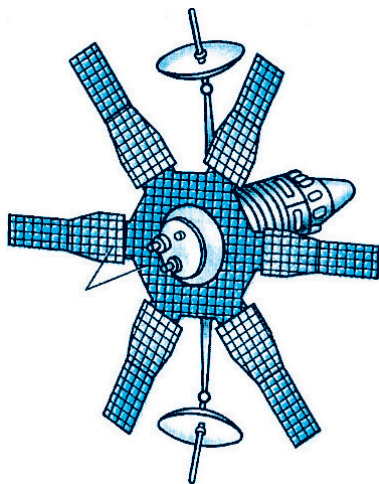
яд. Дар соҳаи p - n -гузариш майдони электрикӣ вучуд дорад. Ин майдон ноқилони ғайриасосии моддаи нимноқилҳоро маҷбур мекунад, ки аз тариқи ҷойи тамоси харду нимноқил бигзаранд. Ҷавфҳои нимноқили навъи n ба нимноқили навъи p мегузаранду электронҳо аз нимноқили навъи p ба соҳаи навъи n мекӯчанд – дар натиҷа дар нимноқилҳои p ва n миқдори ноқилони асосӣ меафзояд. Ин, дар навбати худ, он гуна маънӣ дорад, ки дар натиҷаи гузаришҳои номбурда потенциали нимноқили навъи p зиёд, вале потенциали нимноқили навъи n кам мешавад. Ин то даме идома меёбад, ки ҷараёни ноқилони ғайриасосии аз тариқи p - n соҳаи нимноқил чоришаванда ба ҷараёни ноқилони асосии аз ҳамин соҳа чоришаванда баробар ояд. Дар натиҷа дар байни нимноқилҳо фарқи потенциалҳои баробар ба қувваи муҳаррикаи фотоэлектрикӣ муқаррар мегардад.

Агар занҷир бо ягон воситаи берунӣ, масалан, ба василаи муқовимати R -и рас.160 сарбаст карда шавад, дар занҷир ҷараёне ҷорӣ мегардад, ки қимати он ба фарқи ҷараёнҳои ноқилони ғайриасосӣ ва асосӣ баробар меояд. Қувваи ҷараён дар ин маврид ба шиддати тобиши ба фотоолат зананда ва муқовимати R бастагӣ дорад.

Фотоолатҳое, ки дар онҳо p - n -гузариш истифода мешавад, ҚумЭ-и баробар ба 1-2 В ба вучуд оварда метавонанд. Тавони хурӯҷии ин олатҳо (яъне тавон дар баромадгоҳи фотоолатҳо) дар сурати тақрибан 20% будани суд (ё худ коэффисенти кори фоиданок)-и онҳо то ба садҳо ватт мерасад. Фотоолатҳои камтавон дар *нурсанҷҳо* (фотоэкспонометрҳо) ис-



Рас.160.



Рас.161.

тифода мешаванд. Фотоолатҳои нимноқилӣ хусусан дар батареҳои офтобӣ (рас.161) майдони васеи татбиқи ёфтаанд, ки онҳо дар киштиҳои кайҳонӣ қор медиҳанд. Мутаассифона, ин нави фотоолатҳо нархи бас гарондоранд.

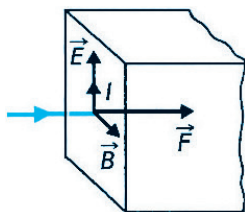


Фотоолатҳои вакуумӣ ва нимноқилӣ ҷойи истифода бисёр доранд. Фотоолатҳои нимноқилӣ қувваи муҳаррикаки фотоэлектрикӣ ҳосил карда метавонанд.

§69. Фишори рӯшноӣ

Максвелл дар заминаи назарияи электромагнитии худ пешгӯӣ кард, ки рӯшноӣ бояд ба сатҳ (монеа)-и сари роҳи худ фишор бибарад. Ин фишоро П.Н.Лебедев чен кардааст.

Бо таъсири майдони электрикӣ мавҷи рӯшноӣ электронҳо дар ҳисм ларзиш меҳӯранд. Ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки он ба самти шиддати майдони электрикӣ равона аст (рас. 162). Ба электронҳои ботартибона ҳаракаткунанда аз тарафи майдони магнитӣ қувваи лоренсии F таъсир меоварад. Ин қувва ба рафти мавҷ равона мебошад. Ҳамин аст қувваи фишори рӯшноӣ.

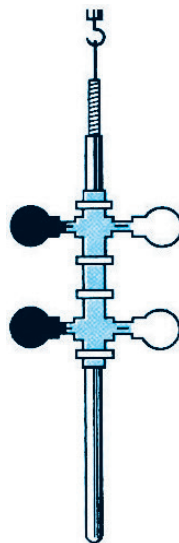


Рас.162.

ноӣ.

Барои ба исбот расондани дурустии назарияи Максвелл чен кардани фишори рӯшноӣ зарур буд. Аммо бисёр муҳаққиқон ба чен кардани фишори рӯшноӣ муваффақ нагаштанд, зеро ин фишор бағоят кам аст: ҳатто дар рӯзи офтобӣ ба сатҳи масоҳаташ 1 м^2 қувваи ҳамагӣ $4 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$ таъсир меоварад.

Чен кардани фишори рӯшноӣ бори аввал с.1900 ба олими рус П.Н.Лебедев муяссар гашт. Асбоби Лебедев аз милаи бағоят борики иборат буд, ки он дар риштаи борики шишагин овезон буд ва канорҳои мила болчаҳои сабуке дошт (рас.163). Асбобро дар зарфе ҷой дода, ҳавои онро мекашидаанд. Рӯшноӣ ба сатҳи болчаҳои як тарафи мила



Рас.163.



Лебедев Пётр Николаевич (1866-1912) – физикдони рус, он ки бори нахуст фишори ба чисмҳои сахт ва газҳо овардаи рӯшноиро чен кардааст. Ин таҷрибаи Лебедев назарияи Максвеллро микдоран тасдиқ кард.

Лебедев дар роҳи ҷустуҷӯи исботи таҷрибавии назарияи электромагнитии рӯшноӣ мавҷҳои электромагнитии миллиметрдарозӣ ҳосил кард ва ҳама ҳосиятҳои онҳоро омӯхт.

Нахустин мактаби физикиро дар Русия Лебедев кушодааст. Бисёр олимони барҷастаи даврони шӯравии рус дастпарварони ҳамон мактабанд. Пажӯҳишгоҳи физикаи Академияи улуми Русия (собиқ ИҶШС) ба номи Лебедев гузошта шудааст.

зада, ба он фишор меоварад. Бузургии фишор аз рӯйи кунҷи тобхӯрди ришта ёфта мешуд. Аммо зарфро аз ҳаво тамоман ҳолӣ кардан имкон надошт. Он ҷо молекулаҳои ҳаво камубеш боқӣ мемонданд, ки онҳо дар натиҷаи на якхела гарм шудани болчаҳову деворҳои зарф ба ҳаракат даромада, боиси тоб хӯрдани ришта гардида метавонистанд. Файр аз ин, ноякхела гарм шудани рӯяҳои болчаҳо (рӯяи рӯшноирасти болча назар ба рӯяи дигари он бештар гарм мешавад) низ боиси тобхӯрди ришта мегардад. Молекулаҳои аз рӯяи гармтари болча инъикосшаванда назар ба молекулаҳои аз рӯяи сардтар инъикосшаванда болчаро импульси зиёдтар мебахшанд.

Лебедев бо вучуди паст будани дараҷаи техникаи таҷрибавии он давра ҳамаи ин душворихоро бартараф сохта тавонист: ӯ зарфро хеле калон ва болчаҳоро хеле тунук гирифта, тавонист исбот кунад, ки рӯшноӣ ба чисмҳои сахт фишор меоварад. Лебедев ин фишорро чен кард. Қимати ҳосилкардаи ӯ ба қимати пешгӯикардаи Максвелл мувофиқат дошт. Баъдтар, пас аз се соли таҳқиқот Лебедевро муяссар гашт, ки таҷрибаи боз ҳам нозуктаре анҷом диҳад: ӯ фишори ба газҳо овардаи рӯшноиро чен кард.

Пайдоиши назарияи квантии рӯшноӣ имкон дод, ки сабаби фишоровар будани рӯшноӣ шарҳи сода дода шавад. Фотонҳо мисли зарраҳои дорои массаи оромиш соҳиби импульс мебошанд. Онҳо дар сурати дар чисм фуру рафтани импульси худро ба он чисм медиҳанд. Мувофиқи қонуни бақои импульс импульси чисм ба ҷамъи импульси фотонҳои фурубурдааш баробар аст. Бинобар ин чисми қарор дар натиҷаи фуру бурдани фотонҳо бояд ба ҳаракат дарояд;

ва медарояд (!). Тағйироти импульси чисм мувофиқи қонуни дуҷуми Нйутон нишони он хоҳад буд, ки ба чисм қувва таъсир овардааст.

Таҷрибаҳои Лебедевро чун исботи таҷрибавии он метавон донист, ки фотонҳо импульс доранд.

Бо вуҷуде ки фишори рӯшноӣ дар шароити муқаррарӣ хеле кам аст, таъсири он ба назар намоён низ буда метавонад. Анда-руни ситораҳо, ки дар онҳо ҳарорат ба даҳҳо миллион келвин мерасад, фишори тобиши электромагнитӣ бояд бағоят бузург бошад. Қувваи фишори рӯшноӣ дар баробари қувваҳои ҷозоба дар падидаҳои дохилиситорагӣ ҳиссаи зиёд дошта метавонад.



Фишори рӯшноӣ аз нигоҳи электродинамикаи Максвел ба сабаби ба электронҳои муҳит (ки бо таъсири майдони электрикии мавҷи электромагнитӣ ларзиши мекӯранд) таъсир овардани қувваи лоренсӣ ба вуҷуд меояд. Аз нигоҳи назарияи квантӣ фишори рӯшноӣ он гуна сабаби пайдоиши дорад, ки фотонҳо ҳангоми дар чисм фурӯ рафтани импульси худро ба он чисм медиҳанд.



1. *(Иловаи тарҷумон). Фотон массаи оромии надорад. Импульси ин гуна зарраи бемасса (яъне зарраи бечирм)-ро чӣ тавр ифода кардан мумкин аст?*
2. *Фишори рӯшноӣ дар кадом маврид зиёдтар аст – дар сурати ба сатҳи ойинавӣ задани рӯшноӣ ё ҳангоми ба сатҳи сиёҳ задани он?*

§70. Асари кимиёии рӯшноӣ. Суратгирӣ (аккосӣ)

Молекулаҳои алоҳида энергияи рӯшноиро квант-квант (зарра-зарра) фурӯ мебаранд. Энергияи ҳар як квант $h\nu$ аст. Ин энергия дар мавриди истифода шудани рӯшноии намоён ва тобиши ултра-бунафш барои таҷзияи бисёр молекулаҳо кофист. Асари кимиёии рӯшноӣ дар ҳамин зоҳир мегардад.

Ҳар гуна табдилоти молекулаи рӯйдодӣ кимиёӣ аст. Аксаран дар падидаҳои бо таъсири рӯшноӣ таҷзия шудани молекулаҳо як силсила табдилоти кимиёӣ рӯй медиҳад. Паридани ранги либос аз асари шуоъҳои Офтоб ва офтоб хӯрдани пӯст мисолҳои таъсири кимиёии рӯшноианд.

Муҳимтарин вокунишҳои кимиёӣ дар асари рӯшноӣ дар баргҳои сабзи дарахтҳои гиёҳҳо, дар баргҳои дарахтҳои сӯзан-барг ва бисёр микроорганизмҳо рӯй медиҳанд. Дар «вучуди» барги сабз аз асари тобиши Офтоб падидаҳои воқеӣ мешаванд, ки барои тамоми ҳаёти рӯйи Замин бисёр муҳиманд. Онҳо моро гизо медиҳанд ва маҳз ҳаминҳоанд, ки барои нафас гирифтани мо оксиген (туршизо) ба вучуд меоваранд.

Барги дарахтони сабз гази карбонати хаворо фуру бурда, молекулаҳои онро ба қисмҳои таркибӣ – оксиген ва карбон ҷудо мекунад. Ин, чунонки гиёҳшиноси рус К.А.Тимирязев исбот карда буд, дар молекулаҳои хлорофилл бо таъсири нури сурхи тайф (спектр)-и хуршедӣ рӯй медиҳад. Рустаниҳо ба воситаи решаҳои худ атомҳои унсурҳои дигарро аз хок гирифта, ба занҷири карбонӣ пайваستا, сафеда, чарбу ва карбохидрат ҳосил мекунад.

Ҳамаи ин аз ҳисоби энергияи тобиши Офтоб рӯй медиҳад. Зимнан, ин ҷо на танҳо худ энергия, балки хусусан шакли он муҳим аст. Ин рӯйдод, ки *фотосинтез* ном гирифтааст, танҳо бо таъсири рӯшноии таркиби тайфӣ (таркиби спектри)-аш муайян воқеӣ мешавад. Механизми фотосинтез ҳанӯз на ба пуррагӣ рӯшан аст. Кашфи ин асрор барои инсоният шояд оғози давраи наво гардад.

Он гоҳ сафедаҳои моддаҳои мураккаби органикии дигарро дар фабрикаҳои рӯкушод (дар зери гунбади нилгун) тайёр кардан имконпазир мебуд.

Асари кимиёии рӯшноӣ асоси амали суратгирӣ мебошад.

Суратгирӣ (аккосӣ). Қабати ҳассоси фотолаваҳа аз булӯракҳои хурд-хурди бромиди нукра *AgBr* иборат аст, ки онҳо ба таркиби желатин¹ дохиланд. Дар натиҷаи ба булӯракҳо задани квантҳои рӯшноӣ электронҳои ионҳои алоҳидаи бром канда мешаванд. Ин электронҳоро ионҳои нукра мебароянд ва дар булӯракҳо қадре атомҳои хунсои нукра ба вучуд меояд. Аммо умуман миқдори нукраи филизии дар ин ҷараён ҳосилшаванда кам аст.

Дар ҳақиқат, метавон дид, ки фотолаваҳа (ё фотонавор) аз асари рӯшноӣ бо мурури замон қадре тира мешавад – ин ба пайдоиши нукраи филизӣ алоқаманд мебошад. Аз ин рӯ, тасвири дар фотолаваҳа бо таъсири рӯшноӣ ҳосилшударо тасвири ниҳон (ё тасвири ниҳонӣ) меноманд.

1. Аз калимаи фаронсагии *gelatine* – омехтаи сафедамонанде, ки маҳлули ба ҳам ҷӯшонидани устухонҳои рағу пайи ҳайвонот мебошад. (С.Қ.).



а



б

Рас.164.

Барои зоҳир гардондани тасвири нихон фотолавҳаро аввал ба маҳлули ҳидрохинон, метол ё моддаҳои дигаре меғўтонанд, ки аз асари онҳо дар тамоми ҳаҷми булӯракҳои рӯшнохӯрда нуқраи филизӣ ҷудо мешавад. Он гоҳ дар лавҳача тасвири негативии объект ҳосил мешавад – дар ин гуна тасвир ҷойи қитъаҳои сафеду сиёҳ ивазшуда меояд (рас.164,а).

Амали оянда – собитгардонӣ – иборат аз ин аст, ки лавҳаро бо маҳлули хипосулфит (*аз калимаи юн. һуро – зер, таҳт*) мешўянд, то ки булӯракҳои боқимондаи бромиди нуқра аз лавҳа бигрезанд – он гоҳ фотолавҳа ба асари рӯшноӣ ноҳассос мешавад. Баъд негативро дар об шуста хушк мекунанд.

Пас аз ин негативи хушкдаро дар рӯйи фотокоғаз (коғази одие, ки рӯяш қабати рӯшноҳисқунанда даволда шудааст) гузошта, онро бо нури ҷароғи нисбатан пуртавон рӯшан месозанд ва баъди ҳамон гуна пардаҳти кимийё тасвири позитивӣ (позитив) ҳосил мекунанд (рас. 164, б). Дар позитив рангҳои сиёҳу сафеди объект акнун бетабдил (дар шакли табиӣ) падида меоянд.

Тасвири фотографияи нақши воқеии ашёро рӯйдодҳои гузаронро муддати дурудароз бетағйир (собит) нигоҳ медорад. Ин навъ суратҳо дар пажӯҳишҳои илмӣ низ аҳамияти муҳим доранд. Чунончи, барқворӣ рӯйдодҳои онӣ (бағоят зудгузар)-ро дар фотолавҳа сабт карда, баъд онро бафурча омӯхтан мумкин аст.

Объектҳоеро ҳам, ки тобиши сусти доранд ва барои чашм ҳиснопазиранд, дар фотолавҳа сабт гардондан душвор нест. Барои ин муддати вобуд (экспозитсия)-и дастгоҳи суратгириро ба

кадри кофӣ зиёд гирифтагӣ мешавад. Ҳамин аст, ки Галахтарҳо (Галактикаҳо) ворӣ чирмҳои осмонии дур аз рӯи фотосуратҳо таҳқиқ карда мешаванд.

Техникаи муосир имкон медиҳад, ки ин навъ суратҳо на танҳо дар рӯшноии намоён, балки дар партави инфрасурх низ гирифта шавад. Амали суратгирӣ (аккосӣ, фотография) дар кино барои сабти овоз низ истифода мешавад.

Машқи 8

1. Рафтори тақрибии нигора (график)-и ба басомади мавҷи рӯшноӣ вобаста будани энергияи кинетикии фотозлектронҳо ро тасвир созед ва бигӯед, ки аз рӯи ин гуна нигора собити Планк ро чӣ тавр муайян кардан мумкин аст?

2. Қобилияти шуоъшикании мутлақи муҳитеро ёбед, ки дар он рӯшноии энергияи фотонҳош $4,4 \cdot 10^{-19}$ Ҷ дарозии мавҷи $3 \cdot 10^{-7}$ м дорад.

3. Энергияи фотонро ёбед, ки дарозии мавҷи $5,0 \cdot 10^{-7}$ м дорад.

4. Дарозии мавҷи рӯшноӣ (λ)-ро ёбед, ки дар сурати ба сатҳи филиз (металл)-и кори баровардаш $A = 7,6 \cdot 10^{-19}$ Ҷ задани он фотозлектронҳо бо энергияи кинетикии $W_k = 4,5 \cdot 10^{-20}$ Ҷ хориҷ мегарданд.

5. Кори бароварди электрон аз сатҳи филиз $A = 3,3 \cdot 10^{-19}$ Ҷ аст. Сарҳадди сурхи фотопадаида (фотозэффакт) ν_{min} -ро ёбед.

6. Нури дарозии мавҷаш $\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7}$ м ба моддае мезанад, ки барои он сарҳадди сурхи фотопадаида $\lambda_{min} = 4,3 \cdot 10^{-14}$ Ҷз (хертз) аст. Фотозлектронҳо дар ин маврид чӣ гуна энергияи кинетикӣ мегарданд?

7. Дарозии мавҷи рӯшноӣ $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-7}$ м аст. Фотонҳо дар ин маврид чӣ қадар импульс доранд?

Муҳимтарин хулосаҳои боби ҳаштум

1. Дар ибтидои а.ХХ назарияи квантӣ, яъне назарияи ҳаракат ва таъсири мутақобили зарраҳои бунёдиву зарраҳои аз онҳо таркибёфта ба майдони вучуд омад.

2. М.Планк барои шарҳ додани қонуниятҳои тобиши ҳароратӣ ин гуна ақида изҳор кард: атомҳо энергияи зиёдатии худро на бефосила, балки бо ҳиссаҳои алоҳида, яъне квант-квант хориҷ

мегардонанд ва энергияи он ҳиссаҳо (квантҳо) E бо басомади тобиш ν чунин алоқаманд аст:

$$E = h\nu,$$

ки ин ҷо $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Ҷ·с собити Планк аст.

3. Энергияи электромагнитӣ низ ба таври ҳисса-ҳисса (квант-квант) фуру бурда мешавад. Инро рӯйдоди падидаи фотоэлектрикӣ (яъне падидаи бо таъсири рӯшноӣ канда шудани электронҳои модда) тасдиқ мекунад. Адади электронҳои кандашуда ба шиддати рӯшноӣ мутаносиб аст энергияи кинетикии фотоэлектронҳо танҳо ба басомади рӯшноӣ бастагӣ дорад. Ба гуфти Эйнштейн ҳиссаи фурурафтаи энергияи рӯшноӣ $h\nu$ барои кори аз сатҳи филиз (металл) кандани электрон A ва барои ба он электрон бахшидани энергияи кинетикии $\frac{m\nu^2}{2}$ сарф мешавад, яъне

$$h\nu = A + \frac{m\nu^2}{2}$$

Агар басомади рӯшноӣ $\nu < \nu_{\min} = \frac{A}{h}$ бошад, падидаи фотоэлектрикӣ рӯй дода наметавонад.

4. Рӯшноӣ дар ҷараёни афканиш ва фурубурд ҳосиятҳои заррагӣ (ҳосиятҳои корпускулярӣ) зоҳир мекунад. Зарраи рӯшноӣ *кванти рӯшноӣ* ё худ *фотон* ном гирифтааст. Энергияи фотон ин тавр ифода карда мешавад:

$$E = k\nu = \hbar\omega$$

Ин ҷо $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Ҷ·с собити «миёнбаста»-и Планк аст ω - басомади доиравӣ.

Фотон импульси $p = \frac{h}{\lambda}$ дорад (λ дарозии мавҷ аст).

5. Рӯшноӣ ҳангоми густариш ёфтани ҳосиятҳои мавҷӣ низ зоҳир мекунад (падидаҳои интерференс ва дифраксияи рӯшноӣ ба ин далеланд).

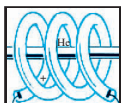
6. Рӯшноӣ ҳосияти дугунагӣ (дуализм) дорад. Баъдҳо рӯшан гашт, ки ҳосияти дугунагии рафтори зарраҳои микроскопӣ на танҳо зарраҳои рӯшноӣ, балки ҳама зарраҳои бунёдирос хос будааст.

7. Падидаи фотоэлектрикӣ (фотоэффект) дар техника ҷойи истифода бисёр дорад. Ба воситаи асбоби махсус – *фотоолат*

(фотоэлемент) – энергияи рӯшноиро бо ёрии энергияи чараёни электрикӣ идора кардан (ё ба энергияи чараёни электрикӣ табдил додан) имконпазир аст. Фотоолатҳо дар автоматҳои гуногуни «бинанда» низ истифода мешаванд. Кори батареҳои офтобӣ низ бар истифодаи ҳамин падида асос ёфтааст.

8. Аз назарияи Максвелл хулосае бармеояд, ки рӯшноӣ ба садд (монеа)-и сари роҳи худ фишор меорад. Ин фишор бағоят кам аст. Онро бори аввал П.Н.Лебедев чен кардааст.

9. Дар ин ҷо он моддаи фурурафтани рӯшноӣ боиси афзудани фаъолияти кимиёии он модда мегардад. Дар барги дарахтони сабз ва дар бисёр микроорганизмҳо муҳимтарин воқунишҳои кимиёӣ бо таъсири рӯшноӣ чараён мегиранд. Баргҳо гази карбонати атмосфераро фуру бурда, онро ба ҷузъҳои таркибӣ – карбону оксиген таҷзия мекунанд. Моҳияти падидаи *фотосинтез* дар ҳамин аст.



Боби 9 ФИЗИКАИ АТОМ

Дарки он ки атом сохти мураккаб дорад, муҳимтарин марҳалаи шаклирии физикаи муосир гардид ва дар тамоми давраҳои инкишофи минбаъдаи он нақши равшан дошт. Дар ҷараёни офариниши назарияи миқдории сохти атом, ки шарҳи тайфҳо (спектрҳо)-и атомиро имконпазир гардонд, қонунҳои нави ҳаракати микрозарраҳо – қонунҳои механикаи квантӣ кашф шуданд.

§71. Сохти атом. Таҷрибаҳои Резерфорд

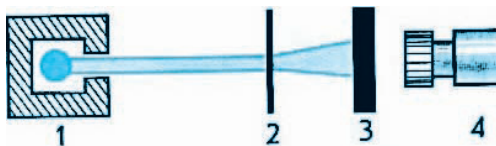
Олими машҳури англис Э.Резерфорд ба таҳқиқи масъалаи аз моддаҳо пареш хӯрдани алфа-зарраҳо пардохта, с.1911 ҳастаи атомро кашф кард; \bar{y} дарёфт, ки 1) андозаҳои ҳастаи атом назар ба андозаҳои ҳуди атом даҳҳо ҳазор бор хурд аст ва 2) қариб ҳамаи массаи атому тамоми барқкаи мусбати он (яъне бори электрикии ҳастаи атом) дар ҳамин ҳаста ҷамъ омадаанд.

Модели Томсон. Тасаввуроти дуруст дар бораи сохти атом на яқбора ба даст омад. Нахустин модели атомро олими англис кошифи электрон Ч.Ч.Томсон пешниҳод кардааст. Ба ақидаи Томсон барқкаи мусбати атом тамоми ҳаҷми онро фаро гирифта, дар ин ҳаҷм бо зичии якхела тақсим шудааст. Содатарин атом атоми ҳидроген аст; ин атом кураи мусбатбарқаст, ки радиусаш қариб 10^{-8} см аст ва як электрон дорад; атомҳои мураккабтар дар даруни кураи мусбатбарқкаи худ чанд электрон доранд, яъне умуман атом нони мавиздореро мемонад, ки дар он ба ҷойи донаҳои мавиз электронҳо воқеанд. Ҳамин гуна шакл дошт модели томсонии атом.

Вале модели атоми Томсон бо таҷрибаҳои онвақтаи таҳқиқи тақсимои барқкаи мусбат дар ҳаҷми атом муҳолифат дошт. Ин таҷрибаҳо, ки онҳоро бори аввал Резерфорд анҷом дод, дар дарки сохти атом нақши бағоят бузург доштанд.

Таҷрибаҳои Резерфорд. Массаи электрон (ҷирми электрон) назар ба массаи атом чанд ҳазор бор кам аст. Азбаски атом ҷамъан хунсо (яъне сифрӣбарқа) мебошад, пас, қисми асосии массаи онро массаи қисми мусбатбарқкаи он ташкил медиҳад.

Барои таҳқиқи таҷрибавии тақсимоти барқаи мусбат ва бар ҳамин асос, тақсимоти масса (яъне чирм) дар ҳаҷми атом Резерфорд с.1906 тарҳи таҷрибаеро пеш ниҳод, ки мувофиқи он атом бояд ба воситаи алфа-зарраҳо гумона (зонд) зада шавад. Ин гуна зарраҳо дар натиҷаи коҳиши радиоактивии ҳастаҳои радий ва баъзе унсурҳои дигар ба вуҷуд меоянд. Массаяи α -зарра назар ба массаяи электрон қариб 8000 бор зиёд аст; барқаи α -зарра ба қимати дучандаи барқаи электрон баробар мебошад, вале аломати муқобил (аломати мусбат) дорад. Алфа-зарраҳо атомҳои комилан ионшудаи ҳелий (гелий) мебошанд. Ба иборати дигар, α -зарраҳо атомҳои парткардаи ҳелий ҳастанд. Суръати онҳо бағоят зиёд – тақрибан понздаҳаки суръати нур (рӯшноӣ) аст.



Рас.165.

Резерфорд атомҳои унсурҳои вазнинро бо ҳамин алфаҳо зарраборон кард. Электронҳо ба сабаби сабук будани худ самти ҳаракати α -зарраро тағйир дода наметавонанд, мисли он ки сангчаи чандгиромӣ дар сурати бо мошини боркаш бархӯрдан суръати онро ба дараҷаи намоён тағйир намедихад.

Алфа-зарраҳоро танҳо қисми мусбатбарқаи атом пароканда (яъне самти парвози онҳоро тағйир дода) метавонад. Ҳамин тариқ, аз рӯи манзараи пароканиши α -зарраҳо манзараи тақсимоти барқаи мусбат ва массаро андаруни атом дарк кардан мумкин аст.

Тарҳи таҷрибаҳои Резерфорд дар рас.165 тасвир ёфтааст.

Манбаи радиоактив (масалан, каме радий) андаруни силиндри сурбии 1 гузошта шудааст. Силиндр барои берун омадани α -зарраҳо сӯроҳе дорад. Дастаи α -зарраҳо аз ин сӯроҳ баромада, ба варақаи тунуки (2)-и иборат аз моддаи таҳқиқшаванда (тилло, нукра, мис ва ғ.) мезанад. Ин зарраҳо баъди пароканиш ба пардае (3) мезананд, ки нимшаффоф аст ва дар рӯяш сулфиди руҳ давонда шудааст. Дар натиҷаи ба парда задани ҳар як зарра ҳамон нуктаи экран шуълавар мешавад (ё чунонки мегӯянд, милт-милт мекунад). Шуълаҳои дар ин мавридҳо рӯйдихандаро бо микроскопи 4 мушоҳида кардан мумкин буд. Ҳама ҷузъиёти таҷриба (ғайри микроскоп) дар зарфе ҷой дода шуда буд, ки ҳавояш ҳатталимкон тунук карда мешуд.

Агар ҳавои даруни асбоб тунук бошад, дар набудани варакаи таҳқиқшаванда дар экран аз асари α -зарраҳо доирачаи рӯшане пайдо мешавад, ки мисли дастаи α -зарраҳо борик аст. Вале агар дар роҳи α - зарраҳо варақа бошад, онҳо дар натиҷаи пареш хӯрдан дар моддаи парда (экран) доирачаи васеътар ба вучуд меоваранд.

Резерфорд дастгоҳи таҷрибаро такмил дода, кӯшид, ки мавридҳои ба кунҷҳои калон пареш хӯрдани α -зарраҳо ошкор созад. Ва ногаҳон ӯ дарёфт, ки баъзе α -зарраҳо (тақрибан яке аз ду ҳазор) ба кунҷҳои бештар аз 90° майл меҳӯранд. Ин падида тамоман ғайриҷашмдошт буд. Баъдҳо Резерфорд иқрор кард, ки шогирдонашро ба санҷиши падидаи ба кунҷҳои калон пареш хӯрдани α -зарраҳо раҳнамунӣ карда, худ ба натиҷаи мусбат гирифтани онҳо бовар надошт. «Ин қариб ба дараҷае дур аз эҳтимол аст, – гуфтааст ӯ, – ки гӯё тири 15-дуюмӣ сӯйи варақи қоғаз тунук паррондаи шумо аз он қоғаз инъикос гашта, боз сӯйи шумо биёяд».

Дар ҳақиқат, дар сурати дар тамоми ҳаҷми атом паҳн будани барқои мусбати атом, чунонки аз модели Томсон бармеомад, ин гуна натиҷаро чашм доштан берун аз имкон менамуд: дар ин сурат майдони электрикии барқои мусбати атом он қадр пурзӯр намебуд, ки α -зарраро ақиб гардонда тавонад. Қувваи зиёдтарини талахӯрди α -зарра аз рӯйи қонуни Кулон ин тавр ёфта мешавад:

$$F_{\max} = \frac{q_a q}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \quad (9.1)$$

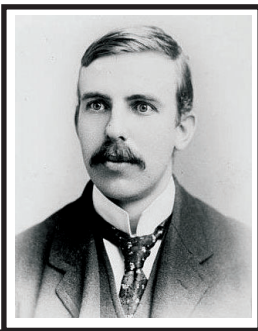
ки ин ҷо q_a барқои α -зарра асту q барқои мусбати атом, R – радиуси атом ва ϵ_0 – собити электрикӣ. Шиддати майдони электрикии кураи муназзамона барқамандшуда дар сатҳи он қимати зиёдтарин дорад ва ба андозаи сӯйи маркази кура рафтани то ба сифр кам мешавад.

Аз ин рӯ ҳар қадаре, ки масофаи байни α -зарраву қисми марказии атом кӯтоҳтар бошад, зарра ҳамон қадр сахттар тела меҳӯрад.

Муайян кардани андозаи ҳастаи атом. Резерфорд пай бурд, ки танҳо дар мавриди дар соҳаи бағоят хурдандозаи фазо ҷамъ будани қариб ҳамаи масса (ҷирм) ва тамоми барқои мусбати атом α -зарра аз он инъикос шуда метавонад. Бар ҳамин асос *Резерфорд ба гоյи ҳастаи атом омад: ҳастаи атом қисми хурдандозаест, ки дар он тамоми барқои мусбати атом ва қариб ҳамаи массаи он ҷамъ омадааст.*

Резерфорд Эрнест (1871-1937) - физикдони бузурги инглис, зодаи Зеландия Нав. Кашфиёти таҷрибавии Резерфорд заминаи таълимоти имрӯзаи сохти атом ва падидаи радиоактивият гаштанд. Ӯ нахустин касе буд, ки таркиби тобиши унсурҳои радиоактивиро таҳқиқ кард. Резерфорд атомро ба воситаи алфа-зарраҳо «рентген» карда, ошкор сохт, ки атом ҳаста (ядро) дорад. Резерфорд инчунин аввалин муҳаққиқи буд, ки табдили сунъии ҳастаҳои атомиро воқеи гардонд. Ӯ таҷрибаҳои ӯ таҷрибаҳои бунёӣ (фундаменталӣ) ва бағоят сода буданд.

Дар тавсифи Резерфорд бас аст бигӯем, ки ӯ узви ҳама академияҳои олам буд.



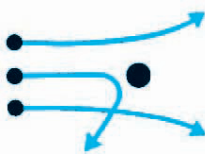
Дар рас.166 масир (траектория)-и парвози α -зарраҳое тасвир ёфтааст, ки аз ҳаста дар масофаҳои гуногун мегузаранд.

Резерфорд адади α -зарраҳои таҳти кунҷҳои гуногун пареш-хӯрдари ба ҳисоб оварда, андозаи ҳастаро баҳодод кард. Маълум шуд, ки қутри ҳаста 10^{-12} – 10^{-13} см будааст (қутри ҳастаҳои гуногун ҳар хел аст). Ин назар ба андозаи ҳуди атом (яъне назар ба қутри атом, ки 10^{-8} см аст) 10^4 – 10^5 бор хурд аст. Баъдҳо муайян кардани барқои ҳаста низ муяссар гардид. Агар барқои электронро шартан чун воҳид қабул кунем, барқои ҳаста айнан ба рақами атомии унсурӣ кимиёӣ дар чадвали Д.И. Менделеев баробар хоҳад буд.

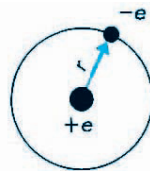
Модели сайёравии атом. Аз таҷрибаҳои Резерфорд бевосита модели сайёравии атом бармеояд. Дар маркази атом ҳастаи он ҷой гирифтааст, ки қариб тамоми массаи атомро дарбар мегирад. Атом ҷамъан хунсо (яъне сифрибарқа) мебошад. Пас, адади электронҳои атом низ мисли барқои ҳаста ба рақами атомии унсур (дар системаи даврии унсурҳо) баробар аст.

Равшан аст, ки электрон андаруни атом қарор буда наметавонад, вагарна ба рӯйи ҳаста меафтад. Электронҳо гирди ҳаста дар гардишанд – мисли он ки сайёраҳо гирди Офтоб гардонанд. Ин гуна рафтори электронҳо бо асари қувваҳои кулонии таъсири мутақобили ҳаставу электронҳои атрофи он таъйин мешавад.

Дар атоми ҳидроген дар гирди ҳаста танҳо як электрон гардиш мекунад. Ҳастаи ин атом барқои мусбате дорад, ки он модулан баробари барқои электрон аст. Массаи ҳастаи атоми ҳидроген ба 1836,1-чанди массаи электрон баробар мебошад. Ин ҳаста *протон* ном гирифтааст ва то ҳамин



Рас.166.



Рас.167.

карибихо чун зарраи бунёди (чун зарраи элементарӣ) пиндошта мешуд. *Андозаи атом* гуфта радиуси мадори ҳаракати электрони онро фаҳмидан мебояд (рас.167).

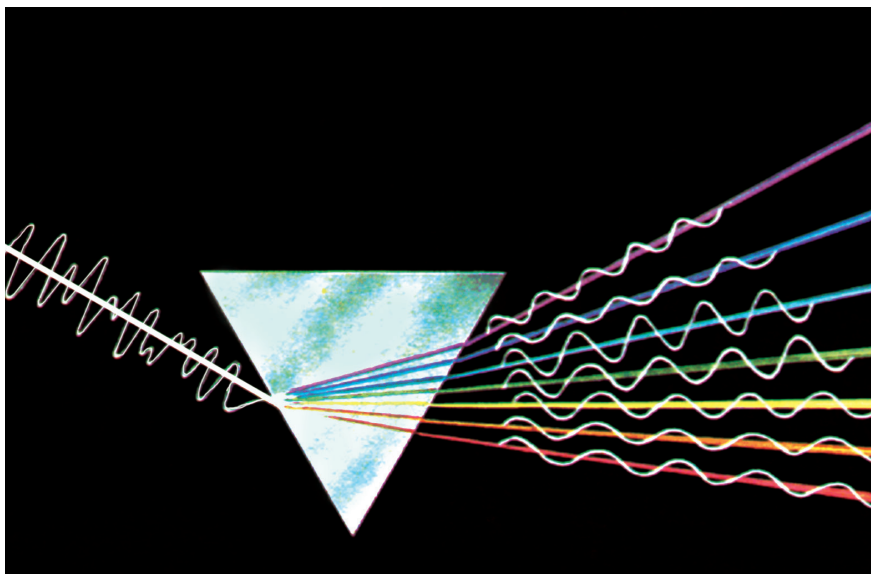
Моделҳои сайёравии атом бо ҳамма содагиву аёнӣ худ бунёди кавии таҷрибавӣ дорад. Вай дар шарҳи таҷрибаҳои таҳқиқи пароканиши алфа-зарраҳо ҳатман зарур менамояд. Лекин ин модел дар шарҳи ҳуди мавҷудияти атом, дар шарҳи пойдорӣ атом тамома оғиз монд. Дарвоқеъ, электрон дар гирди ҳаста бо шитоб ҳаракат мекунад ва ин шитоб бисе бузург аст. Аз нигоҳи қонунҳои электродинамикаи Максвелл барқии бо шитоб ҳаракаткунанда бояд мавҷҳои электромагнитие афкананд, ки басомади онҳо ба басомади гирди ҳаста гардидани барқа баробар аст. Ин афканиш боиси кам шудани энергия мегардад. Ва модом ки энергияи электрон кам шавад, вай бояд ба ҳаста торафт наздик ояд, мисли он ки радиои маснӯъ хангоми тормоз хӯрдан (дар қабатҳои болоии атмосфера) ба Замин наздик меояд. Чунонки ҳисобукитоби дақиқ дар заминаи механикаи Нютон ва электродинамикаи Максвелл нишон медиҳад, электрон дар муддати бағоят кӯтоҳ (тақрибан $\sim 10^{-8}$ с) бояд ба сатҳи ҳаста биафтад, яъне гӯё атом набояд системаи физикии пайдор бошад.

Аммо ҳақиқат на чунин аст. Атомҳо пайдоранд ва дар ҳолати ноангехта муддати номаҳдуд вучуд дошта метавонанд, бе он ки мавҷи электромагнитӣ афкананд.

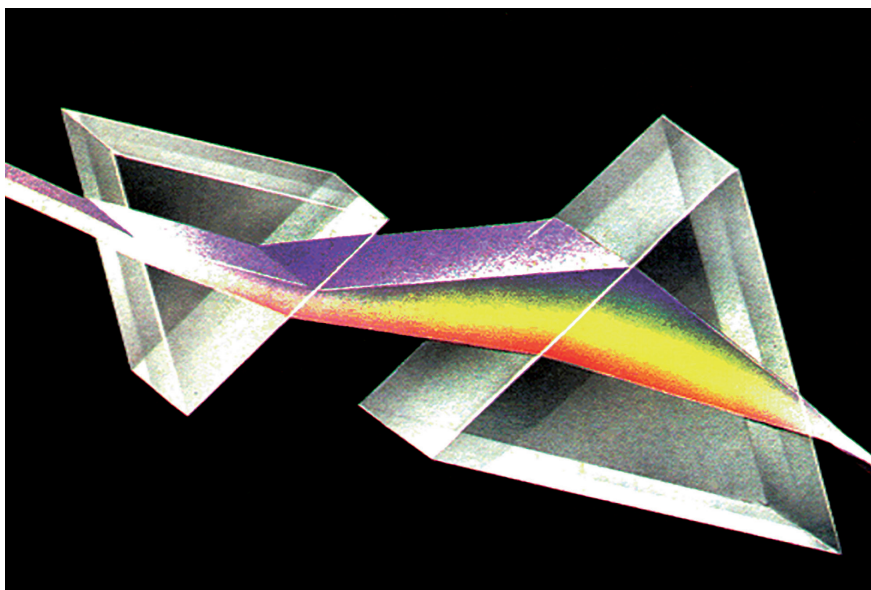
Хулосаи зиддитаҷрибавии зикршуда дар бораи он ки атом дар натиҷаи нурафкани (энергияафкани) ногузир вайрон мешавад, оқибати он аст, ки қонунҳои физикаи классикӣ бе ҳеҷ асос дар шарҳи рӯйдодҳои дохилиатомӣ қорбаст шудаанд. Аз ин ҷо бармеояд, ки қонунҳои физикаи классикӣ барои маънидод қардани рӯйдодҳои атомӣ қобили истифода нестанд.



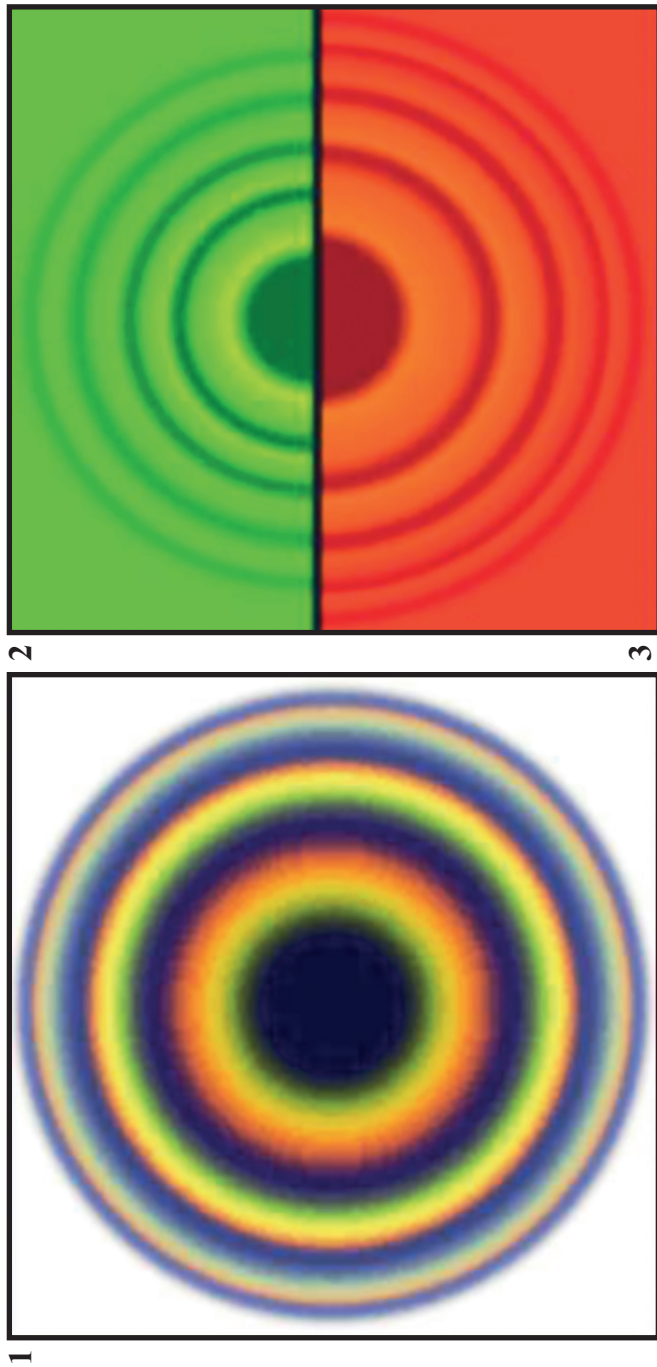
Резерфорд модели сайёравии атомро бунёд қард, модели бунёд қард, ки дар он электронҳо дар гирди ҳаста гардиши мехӯранд, мисли он ки сайёраҳо дар гирди Офтоб гардонанд. Ин модел бисёр сода аст ва заминаи таҷрибавӣ дорад, вале пайдорӣ атомҳоро маънидод қарда наметавонад.



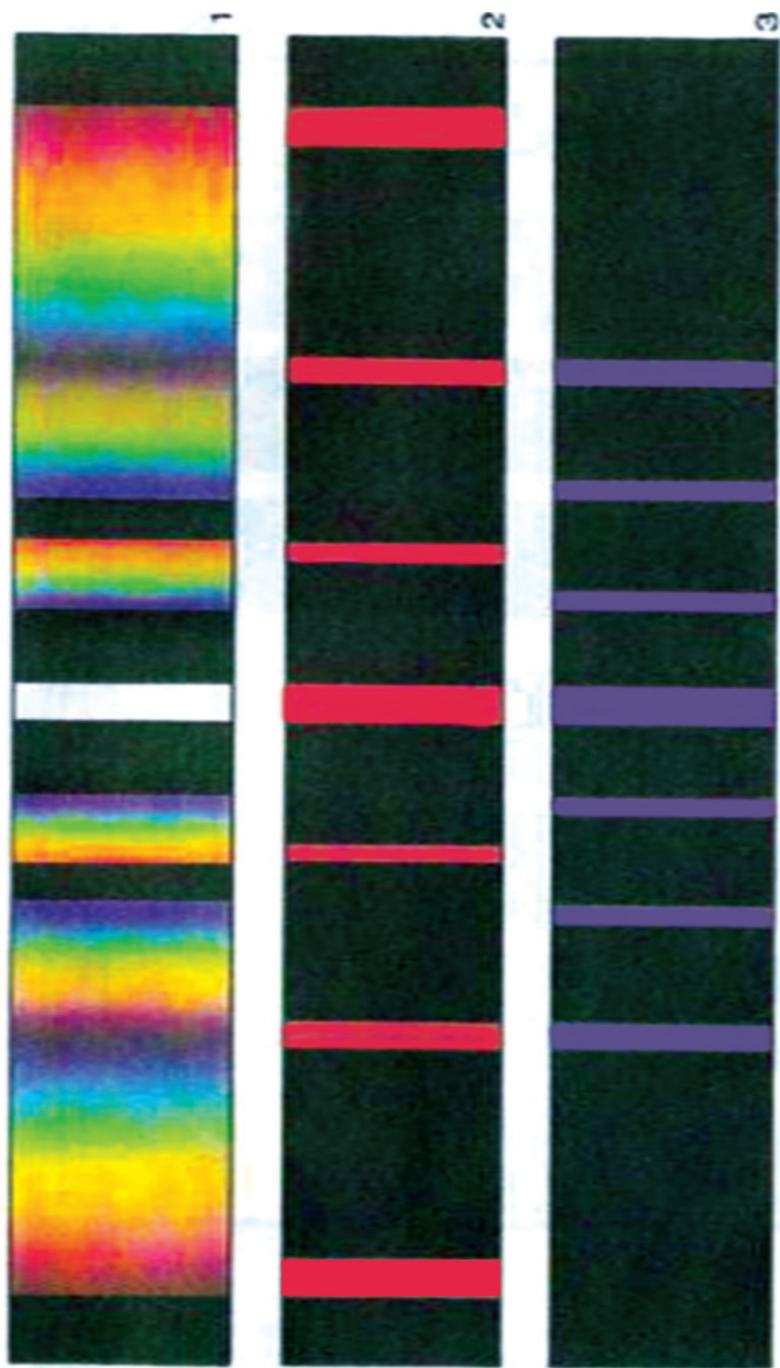
Рас. I. Тархи таҷзияи нури сафед ба воситаи маншур (призма).
Рангҳои гуногунро мавҷҳои гуногундарозӣ рост меояд.



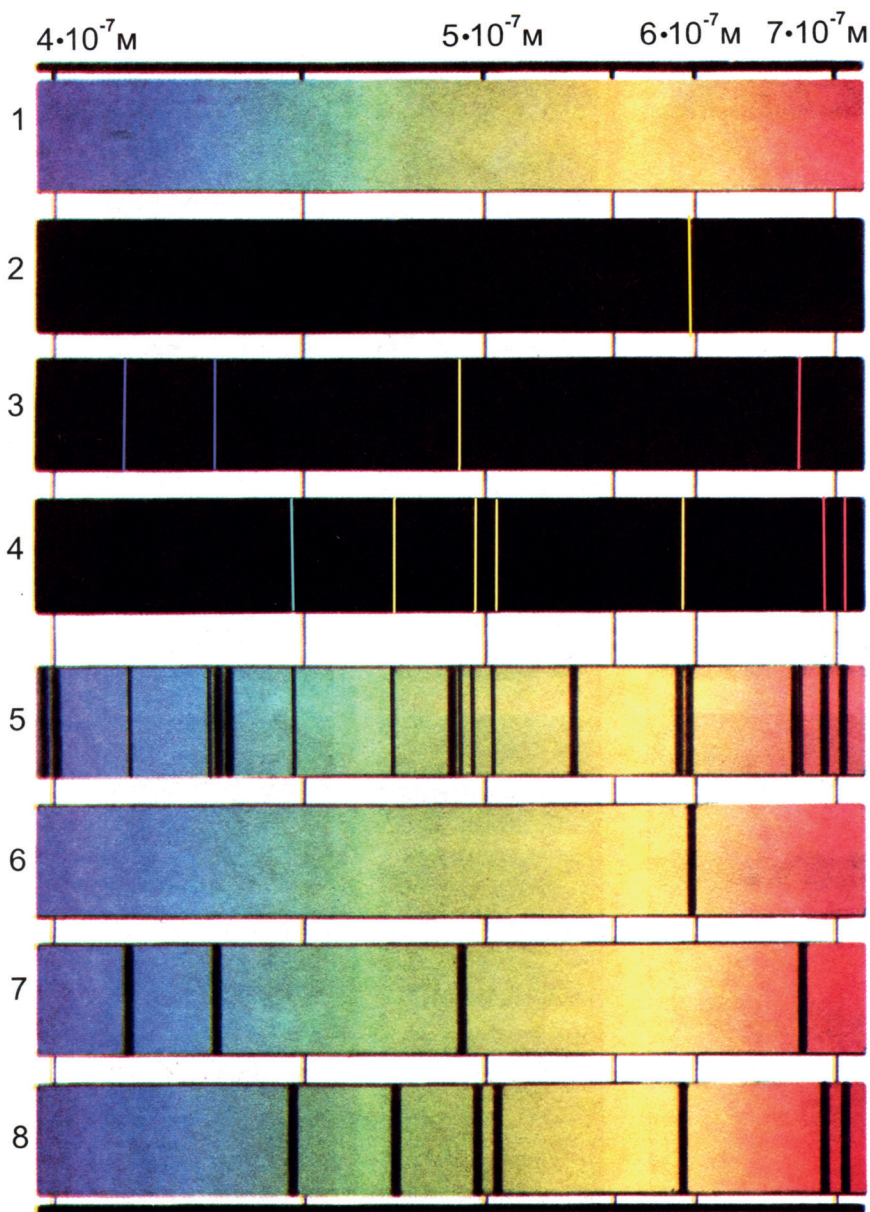
Рас. II. Таҷзияи нури сафед ва яккард (синтез)-и он ба
воситаи ду маншур (призма).



Рас. III. Ҳалқаҳои Нյутон дар партави инъикосшудаи сафед (1), сабз (2) ва сурх (3).



Рас. IV. Тайфхо (спектрхо)-е, ки ба воситаи панҷараи дифраксионӣ ҳосил карда шудаанд:
 1 - нури сафед; 2 - нури сурхи якбасомад; 3 - нури бунафши якбасомад.



Рас. V. Тайфхо (спектрхо)-и афканиш: 1 - бефосила;
 2 - натрий; 3 - ҳидроген; 4 - ҳелий (гелий).
 Тайфхои фурубурд: 5 - партави Офтоб; 6 - натрий;
 7 - ҳидроген; 8 - ҳелий.



1. *Сабаб чист, ки зарраҳои манфибарқаи таркиби атом ба пароканиши алфа-зарраҳо таъсири намоён расонда наметавонанд?*
2. *Дар чӣ асос гуфтан мумкин аст, ки азар барқаи мусбати атом дар тамоми ҳаҷми он паҳншуда мебуд, алфа-зарраҳо ба кунҷҳои калон пареш хӯрда наметавонистанд?*
3. *Чарост, ки модели сайёравии атом бо қонунҳои физикаи классикӣ мутобиқат надорад?*

§72. Постулатҳои квантии Бор. Модели бории атом

Ҳалли муаммои дар §72 зикришударо с.1913 олими бузурги дан-маркӣ (даниягӣ) Н. Бор дар натиҷаи инкишоф додани тасаввуроти квантии роҷеъ ба рӯйдодҳои табиӣ ёфт.

Эйнштейн ин кӯшиши Борро «чун як хушоҳангии олии тафаккур» мешумурд ва ин ӯро ҳамеша мафтун медошт. Бор дар заминаи далелҳои таҷрибавии пароканда тавонист, ки моҳияти масъаларо дарёбад.

Постулатҳои Бор. Вале Бор назарияи мукамал офарида на-тавонист. Ӯ моҳияти асосии назарияи навро дар шакли ду постулат баён кард. Зимнан, Бор дар постулатҳои худ қонунҳои физикаи классикиро бечунучаро рад накардааст. Постулатҳои нав танҳо баъзе маҳдудиятҳои физикиро аз миён мебардоштан.

Бо вучуди ин, назарияи Бор ба комёбиҳои ҳайратангез ноил омад. Аҳли илм яқин кард, ки Бор роҳи дурусти пеш бурдани назарияро ёфтааст. Ин роҳ баъдҳо заминаи пайдоиши назарияи мавзунӣ ҳаракати микроразраҳо – заминаи пайдоиши механикаи квантӣ гардид.

Постулати якуми Бор ин аст: манзумаи атомӣ (системаи атомӣ) танҳо дар ҳолатҳои махсуси муқимие (ҳолатҳои статсионарӣ) ё ҳолатҳои махсуси квантӣ вучуд дошта метавонад, ки ҳар яки онҳоро энергияи муайяни E_n рост меояд. Атом дар ҳолатҳои муқимӣ нур намеафканад.

Ин постулат бо механикаи классикӣ муҳолифати ошкоро до-рад, зеро аз нигоҳи механикаи классикӣ электрон энергияи дилҳош дошта метавонад. Ин постулат ба электродинамикаи Максвелл низ муҳолиф аст, зеро мегӯяд, ки электрони бо шитоб ҳаракаткунанда метавонад мавҷи электромагнитӣ наафканад.



Бор Нилс (1885-1962) - физикдони бузурги данмаркӣ (даниягӣ), ки нахустин назарияи квантии атомро бунёд кард ва баъд дар таҳияи бунёди механикаи квантӣ басте фаъолона ширкат варзид. Бор ҳамчунин дар офариниши назарияи ҳастаи атом ва вокунишҳои ҳастай (реаксияҳои ҳастай) саҳми бузург дорад. Ӯ аз ҷумла, назарияи пора шудани ҳастаҳои атомиро бунёд сохт ва нишон дод, ки дар натиҷаи ин падида энергияи бағоят зиёд хориҷ мегардад.

Бор дар Копенхаген мактаби байналмилалӣи физикӣи кушод ва барои иштироки ҳамкориҳои физикдонҳои дунё хидмати шоистаи таҳсин кард. Бор яке аз муборизони фаъоли зидди истифодаи силоҳи атомӣ буд.

Мувофиқи постулати дуюми Бор атом он гоҳ нур (энергия) меафканад, ки аз ҳолати муқимии зиёдеэнергия (E_k) ба ҳолати муқимии камэнергия (E_n) ояд. Энергияи фотони дар ин маврид хориҷшаванда ба фарқи энергияҳои ҳолатҳои муқимӣ баробар аст:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n. \quad (9.2)$$

Пас, басомади нури афкандашавандаро чунин ифода кардан мекояд:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}. \quad (9.3)$$

Дар натиҷаи фурӯ бурдани энергия атом аз ҳолати муқимии камэнергия ба ҳолати муқимии зиёдеэнергия мегузарад.

Постулати дуюм низ муҳолифи электродинамикаи Максвелл меканад, зеро мувофиқи ин постулат басомади нури хориҷшуда на аз хусусиятҳои ҳаракати электрон далелат мекунад, балки танҳо аз тағйироти энергияи атом гувоҳӣ медиҳад.

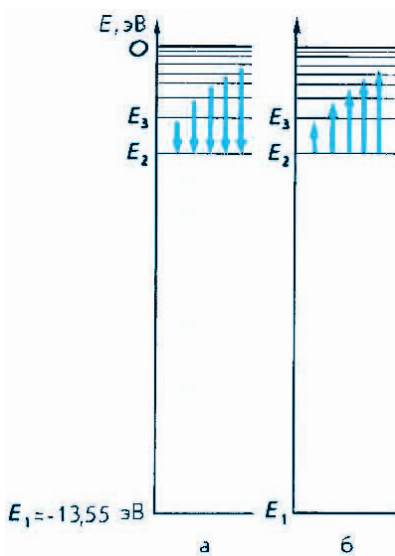
Бор постулатҳои худро барои бунёд соختани назарияи содатарин системаи атомӣ – атоми ҳидроген ба қор бурд. Вазифаи асосӣ ёфтани басомади мавҷҳои электромагнитии афкандаи атомҳои ҳидроген буд. Ин басомадҳоро дар заминаи постулати дуюм ёфтани осон аст, ба шарте ки қоидаи муайян кардани қиматҳои энергияи ҳолатҳои муқимии атом маълум бошад. Ин қоиदारо низ, ки қоидаи квантониш аст, Бор дар шакли постулат баён кард.

Модели бориш атоми ҳидроген. Бор заминаи қонунҳои механикаи Нютон ва қоидаи квантониш (ки ҳолатҳои имконпазири муқимино чӯдо мекунад)-и радиуси мадорҳои қоиизи электрон ва энергияи ҳолатҳои муқимино ёфта тавонист. Хурдтарин радиуси мадор андозаи атомро ифода мекунад. Дар рас. 168, а,б қиматҳои

энергияи ҳолатҳои муқимии атом¹ дар тирҳои амудӣ тасвир ёфтаанд².

Постулати дуҷуми Бор имкон медиҳад, ки аз рӯи қиматҳои муайяни энергияи ҳолатҳои муқимӣ басомади тобиши атоми ҳидроген ёфта шавад.

Қиматҳои дар асоси назарияи Бор ёфтшудаи ин басомадҳо бо таҷриба мутобиқати миқдорӣ низ доранд. Ҳама басомадҳои тобиши ҳидрогенӣ чанд силсилае (гурӯҳи хатҳои спектри тобиш) ба вуҷуд меоранд, ки ҳар яки онҳо дар натиҷаи аз ҳама ҳолатҳои боло (ҳолатҳои зиёдаэнергия) ба яке аз ҳолатҳои поёни гузаштани атом пайдо мешавад.



Рас.168.

Гузаришҳое, ки дар сурати аз ҳолатҳои боло ба ҳолати якуми ангехта (яъне ба савияи дуҷуми энергӣ) ҷаҳидани система рӯи медиҳанд, силсилаи Балмер (яъне силсилаи хатҳои балмерӣ)-ро ташкил медиҳанд. Ин гузаришҳо дар рас.168,а бо тирчаҳо ишорат шудаанд. Хатти сурх, хатти сабз ва ду хатти кабудӣ қисми намоёни спектр (тайф)-и ҳидроген (ниг. варақаи ранга, рас. V, 3 сах. 264) дар натиҷаи гузаришҳои зайл ба вуҷуд меоянд:

$$E_3 \rightarrow E_2, \quad E_4 \rightarrow E_2, \quad E_5 \rightarrow E_2, \quad E_6 \rightarrow E_2.$$

Номи ин силсилаи тайфӣ аз исми омӯзгори суисӣ (швейтсариягӣ) Иоханн Балмер бармеояд, ки ханӯз с.1885 бо роҳи таҷрибавӣ барои басомадҳои қисми намоёни тайф (спектр)-и ҳидроген формулаи содае ёфта буд.

Фурӯбурди рӯшноӣ. Фурӯбурди рӯшноӣ падидаест нисбат ба падидаи афканиш ҷаппа. Атом дар натиҷаи фурӯ бурдани рӯшноӣ

1. Дар физикаи атом, физикаи ҳаста ва зарраҳои бунёди энергия маъмулан бо эВ (электронвольт) ифода карда мешавад. 1 эВ энергияест, ки электрон ба он дар натиҷаи «паймудан»-и фарқи потенциалҳои баробари 1 В соҳиб мегардад; $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{Ҷ}$.
2. Шарҳи мафҳумҳои «ҳолати муқимӣ» (ҳолати статсионарӣ) ва «савияи энергия»-ро аз китоби мо (С. Қодирӣ «**Лугати русӣ-тоҷикӣ истилоҳоти физика**», «Маориф», 1985, с. 333, 378) мутолиа кардан мумкин аст.

аз ҳолати поёнии энергия ба яке аз ҳолатҳо (савияҳо)-и боло мегузарад (рас.168,б: ин ҷо тирчаҳо гузаришҳои атомро аз як ҳолат ба ҳолати дигар ифода мекунанд). Дар ин маврид атом тобиши соҳиби ҳамон басомадҳоро фурӯ мебарад, ки онгунаҳоро худ хангоми аз савияҳои боло ба ҳолатҳои поёни гузаштан меафканад.



Бор дар асоси ду постулати эҷодкардаи худ ва қоидаи квантониши радиуси атоми ҳидроген ва энергияи ҳолатҳои муқимӣ (ҳолатҳои статсионарӣ)-и атомро муайян кард. Ин имкон дод, ки ӯ басомади мавҷҳои электромагнитии афкандашаванда ва фурӯравандаро ёбад.



- 1. Постулатҳои Бор ва қонунҳои механикаи классикиву электродинамикаи классикӣ чӣ муҳолифат доранд?*
- 2. Дар сурати ба савияи поёнтарини энергия гузаштани электрон (дар атоми ҳидроген) чӣ гуна тобиш мушоҳида мешавад? Ин гузаришҳоро дар реҷаи гузаришҳои квантии дар рас.168 тасвиршуда бо тирчаҳо сабт кунед.*

§73. Мушкилоти назарияи Бор. Механикаи квантӣ

Бузургтарин комёбии назарияи Бор дар муоинаи атоми ҳидроген ба даст омадааст, зеро дар заминаи назарияи Бор бунёд сохтани назарияи миқдории спектр (тайф)-и ҳидроген имконпазир гашт.

Лекин офариниши ҳамин гуна назарияи миқдорӣ барои атоми ояндаи ҷадвали унсурҳо, яъне барои ҳелий (гелий) дар асоси назарияи Бор номумкин буд. Дар бораи атоми ҳелий ва атомҳои назар ба он мураккабтар назарияи Бор танҳо ин қадар имкон дод, ки хулосаҳои танҳо сифатӣ (вале бас муҳим) гирифта шавад.

Ин ҷойи тааҷҷуб надорад. Назарияи Бор номукамал ва зиддиятнок буд. Аз як тараф, чунонки дидем, назарияи Бор барои бунёд сохтани назарияи атоми ҳидроген қонунҳои муқаррарии механикаи Нйутон ва қонуни Кулонро истифода мекарду аз тарафи дигар – постулатҳои квантиро, ки онҳо бо механикаи Нйутон ва электродинамикаи Максвелл ҳеч гуна алоқамандӣ надоштанд. Дар физика роиҷ гардондани тасаввуроти квантӣ тақозо мекард,

ки бунёди механика ва электродинамика нав шавад. Ин бозсозӣ он гоҳ имконпазир гашт, ки дар аввали чаҳоряки дуҷуми а.ХХ назарияҳои нави физикӣ – *механикаи квантӣ* ва *электродинамикаи квантӣ* ба вучуд омаданд.

Постулатҳои Бор комилан дуруст баромаданд. Вале онҳо акнун на чун постулат, балки чун натиҷаи қоидаҳои бунлодӣ (принсипҳои асосӣ)-и ин назарияҳо пазируфта мешуданд. Вале ҷунонки равшан гашт, қоидаи квантониши Бор на ҳамеша қобили истифода будааст.

Маълум гашт, ки тасаввуроти пешина дар бораи мадорҳои электронӣ (дар атоми Бор) шартинд. Дарвоқеъ, ҳаракати электрон дар атом ба ҳаракати сайёраҳо дар гирди Офтоб бисе кам монандӣ дорад. Агар сурати атоми ҳидрогенро дар ҳолати поёнтарини энергӣ (бо муддати зиёди сабт) гирифтанд имкон мебошад, дар он (сурат) абрӯ ҳувайдо мегашт, ки дар масофаи муайян аз ҳаста як зичӣ дораду қадре дуртар ё наздиктар аз он – зичии дигар. Ба иборати дигар, дар ин маврид абрӯ гуногунзичӣ мушоҳида мешуд. Он гоҳ равшан мегашт, ки электрон қисми зиёди вақтро дар масофаи муайян аз ҳаста мегузаронад. Ин масофаро дар тақриби аввал чун радиуси мадори электрон пазируфтанд ҷоиз мебуд. Сурати атом ба сурати маъмулии манзумаи сайёраҳо ҳаргиз монанд намебуд, балки ба доғи новозеҳе монанд мебуд, ки ҳангоми ба сурат гирифтани ҳаракати парвонаи гирди ҷароғ бетартибона парвозкунанда ҳосил мешавад¹.



Дар замони мо дар заминаи механикаи квантӣ ба ҳама гуна суолҳои содаву мураккаб дар бораи сохти атомҳо ва хосиятҳои қабатҳои электронии онҳо ҷавоби қаноатбахш додан имконпазир аст. Вале назарияи миқдории дар ин маврид истифодашаванда бисе мураккаб аст – бинобар ин мо онро ин ҷо муоина намекунем. (Тавсифи сифатҳои қабатҳои электронии атомҳоро шумо, хонандаи азиз, аз китоби дарсии кимиё пайдо карда метавонед).

1. Ин ҷо шабоҳати манзараҳо танҳо барои муддати муайяни вақт, муддати ба қадри кофӣ зиёди сабти суратҳо дар назар доштан мебошад. Ҳаракати электронро бо парпари парвона ё бо ҳаракати ҳар гуна ҷисми дигари макроскопӣ монанд кардан носоҳеҳ аст.

§75. Лазерҳо

Ба пурсиши ин ки лазер¹ чист, олими машҳури рус Н. Басов чунин посух дод: «Лазер олатест, ки дар он энергия, масалан энергияи ҳароратӣ, кимиёӣ ё электрикӣ ба энергияи майдони электромагнитӣ – ба шуоъи лазерӣ табдил меёбад. Дар ин гуна табдилот як қисми энергия ногузир талаф мешавад. Вале дар ин маврид ҳаминаш муҳим аст, ки энергияи лазерии дар натиҷаи табдилот ҳосилишуда сифатан хубтар мебошад. Сифати энергияи лазерӣ бо дараҷаи баланди тарокум (концентратсия) ва имкони ба масофаҳои зиёд нақл кардани он таъйин мешавад. Шуоъи лазериро дар шакли нуқтае конундод кардан мумкин аст, ки андозаҳои он тақрибан ҳамчун дарозии мавҷи рӯшноӣ бошад – дар ин сурат зичии энергияро он қадр зиёд кардан мумкин аст, ки назар ба зичии энергияи таркишиҳои атомӣ беиштар бошад. Бо ёри шуоъҳои лазерӣ аллақай ҳарорат, фишор ва индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ)-и баландтарин ба даст оварда шудааст. Ва филохир, шуоъи лазер нургуҷойиштарин ҳомили ахбор ва дар ин «ҷода» воситаи аслан нави нақли ахбор ва қорбасти он мебошад».

*Тобиши илқошуда (нурафканиши индусиронида). Соли 1917 Эйнштейн имкони тобиши ба истилоҳ маҷбурӣ ё илқошудаи рӯшноиро пешгӯӣ кард. Тобиши маҷбурӣ гуфта чараёни пайдоиши мавҷҳоеро мефаҳманд, ки онҳо бо таъсири рӯшноӣ аз атомҳои ангефта афканд мешаванд. Хусусияти ачиби ин гуна афканиш он аст, ки мавҷи рӯшноии дар ин маврид пайдошаванда аз мавҷи ба атом зананда **на** бо басомад фарқ мекунаду **на** бо фази худ ва **на** бо қутбиши (поларизатсия)-и худ.*

Дар забони назарияи квантӣ тобиши маҷбурӣ нишони он аст, ки атом аз савияи баланди энергия ба савияи поёнӣ мегузарад, аммо на худбахуд (чунонки дар чараёни нурафканиши муқаррарӣ ба назар мерасад), балки бо таъсири омили берунӣ (чунончи: рӯшноӣ).

Лазерҳо. Ҳанӯз с.1940 физикдони рус В.А. Фабрикант собит карда буд, ки падидаи тобиши маҷбуриро барои тақвият додани мавҷҳои электромагнитӣ ба қор бурдан имконпазир аст. Соли

1. *Лазер* – истилоҳе, ки аз сарҳарфҳои ибораи англисии Light Amplification by stimulated Emission of Radiation (тақвияти тобиш тавассути тобиши илқоӣ) ҳосил мешавад.

1954 олимони рус Н.Г. Басов ва А.М. Прохоров ва беҳабар аз онҳо олими амрикоӣ Ч. Таунс падидаи тобиши маҷбуриро барои бунёд сохтани генератори микромавҷии радиомавҷҳо бо дарозии $\lambda = 1,27$ см истифода карданд. Барои эҷоди тарзи нави тавлид ва тақвияти радиомавҷҳо Н. Г. Басов ва А. М. Прохоров с.1959 бо Мукофоти ленинӣ ва с.1963 (ҳамроҳи Ч. Таунс) бо Мукофоти нобелӣ сарфароз гардонда шуданд.

Соли 1960 дар ИМА нахустин генератори квантии мавҷҳои электромагнитии соҳаи намоёни спектр (тайф), яъне лазер сохта шуд.

Ҳосиятҳои нури лазерӣ. Манбаҳои лазери рӯшноӣ дар муқобили манбаҳои навӣ дигар ҷанд бартарӣ доранд:

1. Ба воситаи лазер дастаи рӯшноии бағоят борике метавон ҳосил кард, ки барои он кунҷи титшуд (ё худ кунҷи воғаройӣ) на бештар аз 10^{-5} рад бошад. Ин гуна дастаро агар аз Замин сӯйи Моҳ равона кунем, он ҷо доғе ба вучуд меоварад, ки қутраш на бештар аз 3 км меояд.

2. Нури лазер ба дараҷаи фавқулода якрағ (монохроматӣ) аст. Бар хилофи манбаҳои муқаррарии рӯшноӣ, ки дар онҳо атомҳо новобаста ба якдигар нур меафкананд, тобиши атомҳои лазерӣ ҳамоҳанг аст. Ҳамин аст, ки тағйироти фази мавҷҳои лазерӣ ҳеҷ гуна номуруттабӣ надорад.

3. Лазерҳо манбаҳои пуриқтидортарини рӯшноианд. Тавон (тавноӣ)-и нури лазерӣ барои фосилаи танги спектр (тайф) ва муддати кӯтоҳи тобиш (10^{-13} с) то ба 10^{17} Вт/см² мерасад, ҳол он ки тавони тобиши Офтоб ҳатто барои ҳама соҳаҳои спектр ҳамагӣ $7 \cdot 10^3$ Вт/см² аст. Дар фосилаи танги $\Delta\lambda = 10^{-6}$ см (пахноии хати спектри нури лазер), тобиши Офтоб ҳамагӣ $0,2$ Вт/см² аст. Шиддати майдони электрикӣ дар мавҷи электромагнитии лазерӣ аз шиддати майдони даруниатомӣ низ зиёд мебошад.

Тарзи кори лазерҳо. Дар шароити муқаррарӣ аксари кулли атомҳо дар савияҳои поёнтарини энергӣ воқеанд. Ҳамин аст, ки дар ҳарорати паст моддаҳо нур намеафкананд.

Ҳангоми аз тариқи модда гузаштани мавҷи электромагнитӣ модда ин ё он миқдори энергияи электромагнитиро фурӯ мебарад ва аз ҳисоби ҳамин энергия қисме аз атомҳо ангехта мешавад, яъне ин атомҳо ба савияҳои баландтари энергӣ мегузаранд. Дар ин сурат энергияи дастаи рӯшноӣ ба бузургие ($h\nu$) кам мешавад,

ки он ба фарқи энергияҳои савияи боло (2) ва савияи поён (1) (рас.169,а) баробар аст:

$$h\nu = E_2 - E_1.$$

Дар ин расм (169,а) тасвири шартии атоми ноангехта ва мавҷи электромагнитӣ дар шакли порчаи синусоида оварда шудааст. Электрон дар савияи поён аст. Дар рас.169,б атоми ангехта, яъне атоми энергияхӯрда тасвир ёфтааст. Атоми ангехта метавонад, ки энергияи худро дар натиҷаи бархӯрдҳо ба атомҳои ҳамсоя диҳад ё ба самти дилхоҳ фотон афканад.

Акнун биед, тасаввур кунем, ки мо бо ин ё он тарз қисми зиёди атомҳои муҳитро ангехта бошем. Он гоҳ дар сурати аз дохили модда гузаштани мавҷи электромагнитии басомадаш

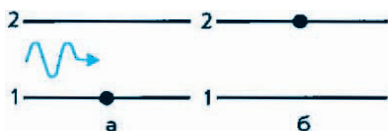
$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

ин мавҷ суст намешавад, балки аз ҳисоби тобиши илқошуда тақвият меёбад (зӯр мешавад). Бо таъсири ин мавҷ атомҳо ҳамохангона бо якдигар ба савияҳои поёнии энергия мегузаранд ва дар ин гузариш мавҷе меафкананд, ки бо мавҷи атомангез ҳамбасомад ва ҳамфаз мебошад. Дар рас.170,а атоми ангехта ва мавҷ тасвир шудааст. Мисли ҳамин, дар рас.170,б мавриде тасвир шудааст, ки атом ба савияи поёнӣ (яъне ба ҳолати асосӣ) гузаштасту мавҷ тақвият гирифтааст (зӯртар шудааст).

Системаи сесавияӣ. Атомҳои муҳитро бо тарзҳои гуногун ангехтан мумкин аст. Барои ин дар лазери ёкутӣ лампаи махсуси пуртавоне истифода мешавад. Атомҳои муҳит дар натиҷаи фуруӯ бурдани рӯшноӣ ангехта мешаванд.

Аммо барои кори лазер ду савияи энергия кофӣ нест. Ҳар қадре ки лампа пуртавон бошад, адади атомҳои ангехта аз адади атомҳои ноангехта зиёд шуда наметавонад, зеро рӯшноӣ дар як вақт атомҳоро ҳам меангезаду ҳам гузаришҳои илқошударо (аз ҳолати боло ба ҳолати поёнӣ) боис мегардад.

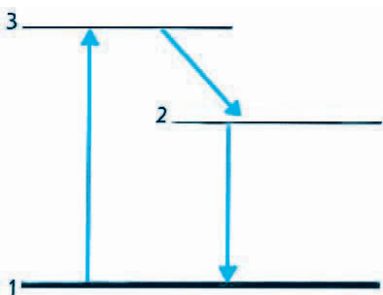
Муҳаққиқон илоҷи инро дар истифодаи се савияи энергия дидаанд (адади умумии савияҳо ҳамеша зиёд аст, вале ин ҷо гап дар



Рас.169.



Рас.170.



Рас.171.

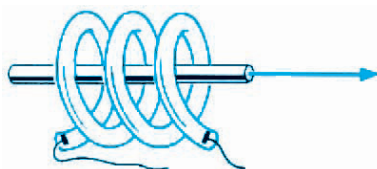
сари савияҳои корӣ мебошад). Дар рас.171 се савияи энергия тасвир ёфтааст. Он чиз муҳим аст, ки дар набудани таъсири берунӣ муддати мавҷудият (ё худ «умр») -и система дар савияҳои гуногуни энергия нобаробар меояд. Система дар савияи 3 баста кам – тақрибан 10^{-8} с «мезияд» ва баъд худбахуд бе афканиши рӯшноӣ ба ҳолати 2 мегузарад. Дар ин сурат энергия ба панҷараи булӯр

(панҷараи кристалл) дода мешавад. Умри система дар савияи 2 сад ҳазор бор зиёд, яъне қариб 10^{-3} с аст. Гузариш аз ҳолати 1 бо таъсири мавҷи электромагнитии берунӣ боиси нурафканиш мегардад. Дар лазерҳо маҳз ҳамин хусусияти ин гуна система истифода мешавад. Баъди шуълавар шудани лампа система ба ҳолати 3 мегузарад ва пас аз муддати тақрибан 10^{-8} с ба ҳолати 2 меояд. Дар ин ҳолат система нисбатан дер мезияд. Савияи ангехтаи 2 нисбат ба савияи ноангехтаи 1 маҳз ба ҳамин тарз пуртар карда мешавад.

Ин гуна савияҳои короянда дар булӯри ёқут (кристалли рубин) мавҷуданд. Ёқут булӯри лаълфои оксиди алумин Al_2O_3 аст, ки 0,05% ғаши хромӣ (атомҳои хром) дорад. Маҳз савияҳои ионҳои хром (андар булӯр) соҳиби хосиятҳои матлубанд.

Сохти лазери ёқутӣ. Аз булӯри ёқут милае месозанд, ки нӯгҳош ҳамвори сайқалӣ ва нисбат ба якдигар мувозӣ (параллел) бошанд. Лампаи газпардаҳтӣ (газтахлия)-и морпечшакл (рас.172) рӯшноии кабудӣ сабзранг медиҳад. Импулси кӯтоҳмуддати чараёни электрикии силсилаи конденсаторҳо (бо гунҷойиши чанд ҳазор микрофарад) лампаро саҳт фурузон мекунад. Пас аз муддати кӯтоҳе савияи 2 беш аз ҳад пури атоми ангехта мешавад.

Дар натиҷаи гузаришҳои худбахудии $2 \rightarrow 1$ афканиши мавҷҳои ҳамасамта оғоз меёбад. Мавҷҳои, ки нисбат ба меҳвари булӯр таҳти ин ё он кунҷ равонаанд, аз он берун мебароянд ва дар қори минбаъдаи лазер ҳисса намегузоранд. Вале мавҷе, ки ба қадди меҳвари булӯр раван аст, аз нӯгҳои он чандин бор



Рас.172.

инъикос мешавад. Ин мавч тобиши илқоӣ (тобиши маҷбурӣ)-и ионҳои ангехтаи хромо боис мегардад ва хеле зуд зӯр мегирад.

Як нӯги милаи ёқутӣ ойинавӣ асту нӯги дигараш – нимшаффоф. Импулси кӯтоҳмуддати бағоят қавии рӯшноии сурх (бо тӯли қариб сад микросония), ки дар бораи хосиятҳои фавқулодаи он дар оғози ҳамин банд сухан рафт, аз ҳамин нӯги мила берун меояд. Мавч ҳамчӯр (коҳерентӣ) аст, зеро ҳама атомҳо ҳамоҳангона нур меафкананд. Ин мавч бағоят пурзӯр низ ҳаст, зеро дар тобиши илқоӣ ҳама энергияи захирашуда дар муддати басе кӯтоҳ афканда мешавад.

Навъҳои дигари лазерҳо. Лазери ёқутӣ режими импулсӣ дорад. Лазерҳое низ мавҷуданд, ки режимшон бефосила аст.

Дар ин навъи лазерҳо моддаи қорӣ газ аст. Атомҳои моддаи қорӣ ба воситаи пардаҳт (тахлия)-и электрикӣ ангехта мешаванд.

Лазерҳои бефосилакори нимоқилӣ низ мавҷуданд. Онҳо пеш аз ҳама дар Русия сохта шудаанд. Дар ин қабил лазерҳо энергияи «ғизоӣ» аз ҷараёни электрикӣ гирифта мешавад.

Лазерҳои газодинамикии бефосилакоре низ сохта шудаанд, ки тавонашон ба садҳо киловатт мерасад. Дар онҳо савияҳои энергияи болоӣ дар натиҷаи васеъ кардан ва ба таври адиабатӣ сард гардондани селҳои газии фавқуссадое пурбор мешаванд, ки харораташон ба чанд ҳазор келвин мерасад.

Татбиқи лазерҳо. Истифодаи нури лазерӣ дар алоқа, хусусан дар алоқаи қайҳонӣ ояндаи хуб дорад (зеро фазои Қайҳон абрҳои рӯшнофурубаранда надорад).

Тавони фавқулодаи шуоъҳои лазерӣ барои дар ҷойи беҳаво (вакуум) бухор кардани моддаҳо, барои кафшер кардани ашё ва ғ. истифода мешавад. Ба воситаи шуоъҳои лазерӣ ҷарроҳӣ кардан, ҷунончи, шабакаи аз таҳи ҷашм ҷудошударо «кафшер» кардан ё тасвири ҳаҷмии ашёро ҳосил кардан (дар он замина ки нуриҳои лазерӣ ҳамчӯр ҳастанд) имконпазир аст.

Ба воситаи лазерҳо бунёд сохтани *шуоълоқатор* ном дастгоҳе имконпазир гашт, ки дурии ашёро ба дурустии то чанд миллиметр ҷен карда метавонад – ин гуна дараҷаи дурустӣ барои радио-лоқаторҳо дастнорас аст.

Шуоъи лазерӣ атомҳоро молекулаҳоро ангехта, воқунишҳои кимиёе ба вучуд оварда метавонад, ки онҳо дар шароити муқаррарӣ воқеъ шуда наметавонанд.

Истифодаи шуоъҳои лазерӣ дар кори воқеӣ гардонидани вокунишҳои гармоҳастаии идорашаванда низ ояндаи умедбахш дорад.

Дар замони мо лазерҳо то он ҷо татбиқи бисёр ёфтаанд, ки ҳамаи онҳоро ҳатто ном бурдан муҳол аст.



Бунёд кардани лазерҳо мисоли равшани он аст, ки инкишоф додани назарияи квантӣ ворӣ як соҳаи бунёӣ (фундаменталӣ)-и илм соҳаҳои гуногуни техникаву технологияро то кучо равнақ дода метавонад.



1. Тобиши лазерӣ аз тобиши тафслампа чӣ фарқ дорад?
2. Лазер чӣ гуна татбиқҳо дорад?

Машқи 9

1. Суръат ва шитоби электрон дар мадори якуми борӣ чиқадарианд?

Нишондод: Радиуси мадори борӣ ин тавр ёфта мешавад:

$$r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2}.$$

Ин ҷо m ва e масса (чирм) ва барқии электрон ҳастанду $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл/(Н·м²) – собити электрикӣ.

2. Алфа-зарраи суръаташ 10^9 см/с (массааш $6,7 \cdot 10^{24}$ г) ба ҳастаи қарори арзиз (қалбагӣ) дар сурати марказӣ будани бархӯрд то кадом масофа наздик рафта метавонад?

3. Дарозии мавҷи рӯшноiero ёбед, ки онро атоми ҳидроген дар сурати аз ҳолати муқимӣ (статсионарӣ)-и энергияаш $E_4 = -1,7$ эВ ($k = 4$) ба ҳолати энергияаш $E_2 = -6,8$ эВ ($n = 2$) гузаштан меафканад.

4. Аз рӯйи рас.168 энергияи иониш (потенсиали ионизатсия)-и атоми ҳидрогенро муайян кунед.

Муҳимтарин хулосаҳои боби нӯҳум

1. Резерфорд падидаи аз моддаҳо пареш хӯрдани алфа-зарраҳо ро таҳқиқ карда, мавҷудияти ҳастаи атомро ошкор сохт. Ӯ дарёфт, ки тамоми барқайи электрикӣ (бори электрикӣ)-и мусбат ва қариб ҳамаи массаи атом дар ҳамин ҳаста гирд омадаанд ва андозаҳои ҳастаи атом ҳамагӣ $10^{-12} - 10^{-13}$ см аст, ки назар ба андозаҳои ҳуди атом $10^4 - 10^5$ бор хурд мебошад. Барқайи ҳастаи атом ба ҳосили зарби рақами атомии унсури кимиёӣ дар чадвали даврии Менделеев ва қимати барқайи электрон баробар аст.

Ҳастаи атоми ҳидроген аз як протон иборат аст.

2. Резерфорд дар заминаи таҷрибаҳои худ модели сайёравии атомро ба миён овард. Дар ин модел электронҳо гирди ҳастаи атом гардиш меҳӯранд, мисли он ки сайёраҳо гирди Офтоб гардонанд. Вале мувофиқи қонунҳои физикаи классикӣ ин гуна атом пайдор буда наметавонад, зеро электронҳо бояд (тибқи қонунҳои номбурда) энергияи худро охишта-охишта гум карда, ба сатҳи ҳаста биафтанд. Аммо атомҳо бар хилофи ин хулоса пайдоранд.

3. Ин муамморо Бор шикоят. Ӯ кушоиши гирехро дар инкишофи минбаъдаи назарияи квантӣ дид. Бор ду постулате пеш ниҳод, ки ҳарду хилофи механикаи классикии Нютон ва электродинамикаи Максвелл буданд.

Постулати якуми Бор мегӯяд: манзумаи атомӣ (системаи атомӣ) танҳо дар ҳолатҳои муқимӣ (ҳолатҳои статсионарӣ) ё худ ҳолатҳои квантӣе воқеъ мегардад, ки ҳар яки онҳо бо энергияи муайяни E_n тавсиф мешавад; атом дар ҳолатҳои муқимӣ нур (энергия) намеафканад.

Мувофиқи постулати дуюми Бор афканиш ва фурӯбурди рӯшноӣ он гоҳ рӯй медиҳад, ки атом аз як ҳолати муқимӣ ба ҳолати муқимии дигар гузарад. Дар ин маврид энергияи фотони афкандашаванда ё фурӯраванда бо фарқи энергияҳои ҳолатҳои муқимӣе таъйин мешавад, ки гузариш дар байни онҳо рӯй медиҳад, яъне

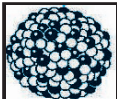
$$h\nu_{kn} = E_k - E_n.$$

4. Назарияи Бор барои ҳама басомадҳои спектр (тайф)-и тобиши ҳидроген қиматҳои саҳеҳ пешгӯӣ кард; имкон дод, ки қимати назарии радиуси атоми ҳидроген ёфта шавад.

Бо вучуди ин назарияи Бор аз мухолифатҳои дохилӣ холӣ набуд. Дар заминаи ин назария бунёд сохтани назарияи миқдории атомҳои ҳелий (гелий) ва атомҳои назар ба он мураккабтар илоч надошт.

Роиҷ гардондани тасаввуроти квантӣ бозсозии қатъии механика ва электродинамикаро тақозо мекард. Ин гуна бозсозӣ солҳои бистуми а. ХХ сурат гирифт. Маҳз дар тайи ҳамон солҳо механикаи квантӣ ва электродинамикаи квантӣ ба арсаи вучуд қадам ниҳоданд.

5. Дар заминаи назарияи квантии нурафканиш генераторҳои квантии радиомавҷҳо ва генераторҳои квантии соҳаи рӯшноии намоён – лазерҳо сохта шудаанд. Лазерҳо шуоъҳои чӯрбасомади бағоят пуртавон ҳосил карда метавонанд. Нурҳои лазерӣ дар соҳаҳои гуногуни илму амалия татбиқи бисёр доранд.



Боби 10

ФИЗИКАИ ҲАСТАИ АТОМ

Ибораҳои ҳастаи атом ва зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ)-ро мо аллакай чанд бор истеъмол кардем. Шумо медонед, ки атом аз ҳаста ва электронҳо таркиб ёфтааст. Фасле аз фаслҳои физика, ки сохт ва табилолоти ҳастаҳои атомиро меомӯзад, физикаи ҳастаи атом ном гирифтааст.

Дар ибтидо физикаи зарраҳои бунёдӣ аз физикаи ҳастаи атом ҷудо набуд. Пажӯҳандагони соҳаи физика бо гуногунии олами зарраҳои бунёдӣ гоҳи таҳқиқи рӯйдодҳои ҳастаӣ дучор омаданд. Физикаи зарраҳои бунёдӣ соҳаи нисбатан ҷавони пажӯҳишхост – вай қарибҳои с.1950 ба вуҷуд омадааст. Акнун ду соҳаи мустақили илмӣ мавҷуд аст: якеи онҳо бо сохт ва табилолоти ҳастаӣ саруқор дораду дигаре – бо табиат, хосиятҳо ва табилолоти зарраҳои бунёдӣ. Аммо дар ҳаллу фасли масъалаҳои дар ин ҷо муоинашаванда ва усулҳои таҳқиқ ин ду соҳа умумияти бисёре доранд.

Мо ин ҷо қисми зиёди вақти омӯзиширо ба муоинаи масъалаҳои асосии физикаи ҳаста мебахшему дар бораи хосиятҳои зарраҳои бунёдӣ дар охир, ба таври бисёр мухтасар, сухан меронем.

§75. Усулҳои мушоҳида ва сабти зарраҳои бунёдӣ

Аввал, биёед, бо асбобҳои шинос шавем, ки умуман пайдоиши ва тараққиёти физикаи ҳаста ва зарраҳои бунёдиро имконпазир гардонданд. Инҳо асбобҳои сабт ва омӯзиши бархӯрдҳои табилолоти ҳастаҳо ва зарраҳои бунёдӣ мебошанд. Маҳз ба воситаи ҳамин гуна асбобҳо мо дар бораи рӯйдодҳои микролам маълумот ба даст меорем.

Тарзи кори асбобҳои сабти зарраҳо. Ҳама гуна асбоби сабти зарраҳо ё ҳастаҳои дарҳаракат ба туфанги пуртире монанд аст, ки кулангаш кашида шуда бошад. Чангаки туфангро бо қувваи андаке кашидан кофист, ки натиҷаи ҳазорҳо бор пуртаъсиртар – части тир воқеъ шавад.

Асбоби сабткунанда – ин дастгоҳи макроскопии камобеш мураккабест, ки дар ҳолати ноустувор (нопойдор) буда метавонад. Дар ин гуна дастгоҳ баъди аз тарафи зарраи сабтшаванда

ба вучуд оварда шудани ин ё он изтироб марҳалаи ба ҳолати нав – ба ҳолати устувортар гузаштани ҷузъи сабткунанда оғоз мешавад. Ана ҳамин ҷараёни гузариш ба ҳолати нав имкон медиҳад, ки зарра сабт карда шавад. Дар замони ҳозира чанд тарзи сабт кардани зарраҳо истифода мешавад.

Вобаста ба мақсади таҷриба ва шароити қор ин ё он асбоби сабткунандаро истифода меку-
нанд.

Ҳисобгираки газпардохтӣ (*газтахлиягӣ*)-и **Гейгер**. Ҳисобгираки Гейгер барои ҳисоби автоматии зарраҳо яке аз асбобҳои асоситарин аст.

Ин ҳисобгирак (рас.173) аз найчаи шишагини сатҳи даруниаш филизандуд (катод) ва сими борике (анод), ки дар маркази найча ба қадди он кашида шудааст, иборат мебошад. Найчаро пури газ, масалан, пури аргон мекунад. Қори ҳисобгирак бар падидаи иониш (ионизатсия)-и зарбатӣ асос ёфтааст. Зарраи барқаманд (электрон, протон ва ғ.) ба найча зада, аз девори шишагини он мегузарад ва дар муҳити газии даруни найча ҳаракат карда, аз атомҳои электронҳои сари роҳи худро бармеканад – дар натиҷа ионҳои мусбат ва электронҳои озод ба вучуд меоянд. Майдони электрикии байни аноду катод (ки ба манбаи волтажи баланд пайвастанд) электронҳоро то дараҷае шитоб мебахшад, ки онҳо бо зарбаи худ атомҳои газро ион-ион карда (ионизатсия карда) тавонанд. Он гоҳ «тармаи» ионӣ ба вучуд меояд ва дар занҷири ҳисобгирак ҷараён пайдо мешавад – дар натиҷа дар муқовимати R (бори занҷир) импульси волтаж ҳосил мешавад. Ин импульсро асбоби сабткунанда сабт мекунад.

Барои он ки ҳисобгирак зарраи ояндаро низ «ҳис» карда тавонад, тармаи номбурдаро хомӯшондан зарур аст. Ин ба таври автоматӣ рӯй медиҳад. Азбаски дар лаҳзаи пайдоиши импульси ҷараён дар муқовимати R афтиши зиёди волтаж рӯй медиҳад, пас, волтажи байни аноду катод якбора кам мешавад, ба дараҷае кам мешавад, ки аз задухӯрдҳои пешина нишоне намонанд.



Рас.173.

Ҳисобгираки Гейгер асосан барои сабт кардани электронҳо ва гамма-квантҳо (яъне фотонҳои баландэнергия) истифода мешавад. Аммо гамма-квантҳо ба сабаби қобилияти ками ионофарӣ доштани худ бевосита сабт шуда наметавонанд. Барои ошкор соختани онҳо сатҳи даруни найчаи ҳисобгиракро моддае медавонанд, ки гамма-квантҳо аз он электрон бароварда тавонанд.

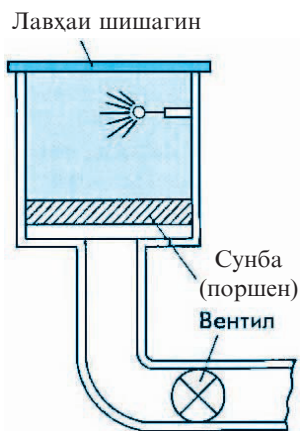
Ҳисобгираки Гейгер қариб ҳама электронҳои ба даруни найча даромадари сабт мекунад. Вале барои гамма-квантҳо сурати ҳол дигар аст: аз ҳар сад кванте, ки ба ҳаҷми кори ҳисобгирак (найча) ворид мешавад, тақрибан яктоаш сабт мегардад. Сабт кардани зарраҳои вазнин (чун алфа-зарраҳо) душвортар аст, зеро дар ҳисобгирак «даричае» («тирезае») шинондан мушқил аст, ки барои алфа-зарраҳо шаффоф бошад.

Дар замони ҳозира ҳисобгиракҳое низ сохта шудаанд, ки тарзи корашон дигар аст.

Камераи Вилсон. Ҳисобгираки Гейгер имкон медиҳад, ки факти аз дохили он гузаштани зарра ва баъзе мушаххасот (характеристикаҳо)-и он сабт шавад. Дар камераи Вилсон бошад, зарраи барқаманди баландсуръат радд (из, пай) мегузорад, ки онро бевосита мушоҳида кардан ё сураташро гирифтани мумкин аст. Ин камера ихтироии Ч. Вилсон (с.1912) мебошад. Онро «равзана»-и микроолам, яъне «равзана»-и олами зарраҳои бунёди ва манзумаҳо (системаҳо)-и физикии иборат аз онҳо номидан ҷоиз аст.

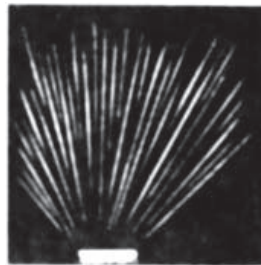
Кори камераи Вилсон бар он асос ёфтааст, ки бухори фавкусер дар ионҳои дар ҳаҷми кори камера ҳосилгашта конденсатсия мешаванд - дар натиҷа дар ин марказҷаҳои конденсатсия (ионҳо) чакраҷаҳои об ба вучуд меояд. Ин ионҳоро зарраи барқаманди дар бухори сер ҳаракаткунанда дар роҳи рафти худ ба вучуд меоварад.

Камераи Вилсон зарфи маҳкаме мебошад (рас.174), ки бо бухори қариб сери об ё алкул (спирт) пур аст. Дар сурати якбора поён ҳаракат додани сунба (поршен)-и камера, яъне дар натиҷаи якбора кам кардани фишори зери он бухори даруни камера ба таври адиабатӣ (яъне бе мубодилаи гармо) васеъ мешавад. Он гоҳ бухор сард



Рас.174.

мешавад ва ба ҳолати фавкуссерӣ меояд. Ин ҳолати бухор нопойдор аст, ҳолатест, ки дар он газ бо осонӣ конденсатсия мешавад. Ин ҷо ба сифати марказҳои конденсатсия ионҳои хидмат мекунад, ки онҳоро зарраи аз даруни бухор гузаранда ба вучуд меоварад. Агар зарра ба камера бевосита пеш аз лаҳзаи ва-сеъ шудан ё фавран баъди он ворид гардад, ионҳои ҳосилкардаи он, чунонки гуфтем, чун марказҳои конденсатсия хидмат мекунад ва



Рас.175.

дар атрофи онҳо чакрачаҳои об ҳосил мешаванд. Ин чакрачаҳои радди зарраи «муоинашаванда»-ро ба вучуд меоваранд (рас.175). Сипас, камера ба ҳолати ибтидоиаш меояд ва майдони махсуси «тозакунанда» ионҳои акнун нодаркорро маҳв месозад. Фосилаи вақти барқарор гаштани режими кори камераро вобаста ба андозаҳои он аз чанд сония то даҳҳо дақиқа тағйир додан имконпазир аст.

Маълумоте, ки ба воситаи камераи Вилсон ба даст меояд, назар ба он ки ҳисобгираки Гейгер медиҳад, пурратар аст. Аз рӯи дарозии радди «пой»-и зарра энергияи он ва аз рӯи адади чакрачаҳои воҳиди дарозии радд суръати ҳаракати зарраро муайян кардан мумкин аст.

Ҳар қадре ки радди зарра дарозтар бошад, маълум мешавад, ки энергияи он ҳамон қадр зиёдтар будааст. Ва ҳар қадре, ки адади чакрачаҳои об дар воҳиди дарозии радди зарра бештар бошад, маълум мешавад, ки суръати он ҳамон дарача камтар будааст. Ва ҳамчунин, заррае, ки барқаи бештар дошта бошад, радди ғафстар ба вучуд меорад.

Олимони рус П.Капитса ва Д.Скобелсин пешниҳод карданд, ки камераи Вилсон дар майдони магнитии якҷинса ҷой дода шавад. Майдони магнитӣ ба зарраи ҳаракаткунанда бо қувваи муайян (бо қувваи лоренсӣ) таъсир меоварад. Ин қувва масир (траектория)-и зарраро қач мекунад (бе он ки модули суръати онро тағйир диҳад). Ҳар қадре ки барқаи зарра зиёд ва массаи он кам бошад, радди он дар майдони магнитӣ ҳамон қадр қачтар меояд. Аз рӯи қачии радд нисбати барқаи зарраро бар массаи он (яъне барқаи ҳоси зарраро) ёфтан имконпазир аст. Дар сурати маълум будани якеи ин бузургиҳо бузургии дигарро ёфтан осон мешавад.

Хубобкамера. Соли 1952 олими амрикой Д.Глейзер пешниҳод кард, ки ба рои ошкор сохтани радди зарраҳо моеи фавкуттафсон истифода шавад. Дар ин гуна моеъ дар рӯйи ионҳои ҳосилкардаи зарраи барқаманди баландсуръат хубобчаҳое пайдо мешавад, ки радди зарраро менамоянд (яъне онро аён мегардонанд). Ин гуна камераро хубобкамера ном до- даанд.



Рас.176.

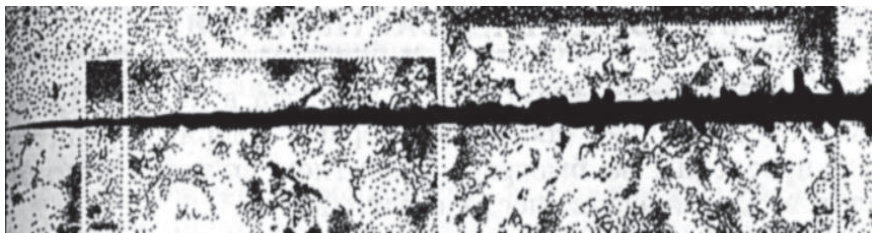
Дар ҳолати ибтидоӣ моеъро дар ка- мера таҳти фишори баланд нигоҳ ме- до- ранд, то ки чӯш наояд, бо вучуде ки ҳарорати моеъ назар ба ҳарорати чӯшиши он (дар фишори атмосферӣ) баланд бошад. Дар сурати якбора паст кардани фишор моеъ фавкуттафсон мешавад ва муддати кӯтоҳе дар ҳолати нопойдор воқеъ мегардад. Зарраи барқаманде, ки маҳз дар ҳамин лаҳза аз даруни камера мегузарад, радде ҳосил мекунад (рас.176), ки он аз хубобҳои бухорӣ иборат мебошад. Ба сифати моеъ аксаран ҳидрогени моеъ ва пропанро ба қор мебаранд. Тӯли як сикли қори хубобкамера тақрибан 0,1 с аст.

Бартариҳои хубобкамера дар пеши камераи Вилсон ин аст, ки моддаи қории хубобкамера зичии зиёд дорад. Аз ин рӯ дави¹ зарраҳо дар хубобкамера кӯтоҳтар меояд ва дигар ин, ки дави зарраҳои баландэнергия ҳам дар он «гунҷида» метавонад. Ин хусусияти хубобкамера мушоҳидаи табдилоти паёпаӣ зарра ва вокунишҳо (реаксияҳо)-и ҳосилкардаи онро инконпазир мегардо- над. Камераи Вилсон ва хубобкамера муҳимтарин воситаҳои ба даст овардани маълумот дар бораи рафтор ва хосиятҳои зарраҳо ба шумор мераванд.

Мушоҳидаи изи зарраҳо бағоят аҷиб аст ва бинандаро як хиссиёти шавқангези бо микроолам бархӯрдан мебахшад.

Усули фотоэмулсияҳои гафсқабат. Барои мушоҳидаи кар- дани зарраҳо дар баробари камераи Вилсон ва хубобкамера фотоэмулсияҳои гафсқабат низ истифода мешаванд. Таъсири ионофарандагии зарраҳои барқаманди баландсуръат ба эмулси-

1. Дави зарра зиёдтарин масофаест, ки онро зарра то дами битамом сарф шуда- ни энергияи худ мепаймояд (С.Қ).



Рас.177.

яи фотолавха олими фаронсавӣ Анрӣ Беккирелро с.1896 ба сари кашфи падидаи радиоактивият (партавзойӣ)-и моддаҳо овард.

Фотоэмулсия микдори зиёди булӯракҳо (кристаллҷаҳо)-и микроскопии бромиди нукра дорад. Зарраи барқаманди баландсуръат ҳангоми аз дохили булӯракҳо гузаштан чанде аз электронҳои атомҳои алоҳидаи бромро меканад. Занҷири ин гуна булӯракҳо тасвири ниҳоние ба вучуд меорад. Ҳангоми паид овардани тасвир дар ин булӯракҳо нукраи филизӣ барқарор мешавад ва силсилаи нукрадонаҳо радди зарраро зохир мегардонад (рас.177). Аз рӯйи дарозӣ ва ғафсии радди зарра энергия ва массаи онро ёфтани осон аст.

Азбаски зичии моддаи фотоэмулсия зиёд аст, радди зарраҳо кӯтоҳ меоянд (тақрибан 0,001 см барои алфа-зарраҳои афкандаи манбаҳои радиоактив); аммо онҳоро дар тасвирҳои фотографияи калон кардан душвор нест.

Бартариҳои фотоэмулсияҳо ин аст, ки онҳо таъсири зарраро бо модда «захира» мекунанд, яъне муддати «вобуд» (муддати экспозитсия)-и онҳо ба дараҷаи матлуб зиёд буда метавонанд. Ин имкон медиҳад, ки падидаҳои нодир низ сабт карда шаванд. Ин ҳам муҳим аст, ки ба сабаби зиёд будани қобилияти боздорӣ (тормоздод)-и фотоэмулсия адади вокунишҳои байни зарраҳо ва ҳастаҳо меафзояд.

Мо ин ҷо дар бораи на ҳама асбобҳои сабткунандаи зарраҳо сухан рондем. Асбобҳои, ки дар замони ҳозира барои сабт кардани зарраҳои камдучороянда ва бағоят кӯтоҳумр истифода мешаванд, бисёр мураккабанд. Барои корбаст ва истифода кардани онҳо садҳо одамро машғули кор доштан мебояд.



1. *Оё ба воситаи камераи Вилсон зарраҳои хунсо (бемарқа)-ро сабт кардан имконпазир ҳаст?*
2. *Ҳубобкамера дар пеши камераи Вилсон чӣ бартарӣ дорад?*

§ 76. Кашфи радиоактивият (партавзойӣ)

Нопойдор будани атомҳо охири а. XIX ошкор гардида буд. Баъди 46 сол нахустин реактори атомӣ бунёд карда шуд. Мо ин ҷо ин гуна инкишофи нуравҷи физикаи ҳастаи атомро ба тартиби воқеъ шудани кашфиёти марбутуи ин ҷабҳа хоҳем омӯхт.

Падидаи *радиоактивият* – падидае, ки мураккаб будани сохти ҳастаи атомро собит кард, дар натиҷаи тасодуфи хушбахтонае кашф шуд. Тобиши рентгенӣ, чунонки шумо аллақай медонед, бори аввал дар натиҷаи ба девори шишагини пардахтлӯла (найчаи разрядӣ) бархӯрдани электронҳои баландсуръат ба вучуд меоянд. Дар айни ҳол деворҳои найча низ нур меафкананд.

Олими фаронсаӣ А. Беккирел муддати тӯлоние ба таҳқиқи падидаи монанди радиоактивият – нурафшонии баъдинаи моддаҳои машғул гашт, ки пеш аз таҷриба таҳти тобиши Офтоб қарор дода мешуданд. Аз ҷумла, намакҳои уран, ки Беккирел истифода мекард, аз ҷумлаи ҳамин моддаҳо буданд.

Ва дар сари ӯ суол пайдо шуд, ки оё баъди офтоб додани намакҳои уран дар баробари рӯшноии намоён нурҳои рентгенӣ низ ба вучуд намеоянд?

Беккирел фотолавлҳаеро дар қоғази сиёҳи ғафс печонда, дар рӯйи он чанд ғуруша (дона)-и намаки уран гузошт ва онро дар ҷойи офтобрас ниҳод. Баъди падидаи овардани тасвир маълум шуд, ки ҷойҳои ғурушадори фотолавлҳа тира (сиёҳ) гаштаанд. Пас, фаҳмоист, ки намакҳои уран ягон навъ нуре афкандаанд, ки мисли тобиши рентгенӣ аз ҷисмҳои ношаффоф гузаштаанд ва фотолавлҳаро тирагун кардаанд. Беккирел гумон кард, ки ин тобиш бо таъсири тобиши Офтоб ба вучуд меояд. Аммо боре, феврале 1896, вақте ки абр Офтобро панаҳ мекард, ӯ имкони таҷриба кардан наёфт ва фотолавлҳаро дар даруни миз гузошта, дар рӯяш як чалипо (салиб)-и мисини уранолуд ниҳод. Ва ӯ пас аз ду рӯз фотолавлҳаро падидаи оварда, дид, ки сатҳи он ба шакли чалипо тирагун аст. Ин нишони он буд, ки *намакҳои уран худбахуд, бе таъсири ягон омилӣ берунӣ ким-чӣ хел нур афкандаанд.*

Пажӯҳиши бесаброна, вале пурмахсул оғоз ёфт. Албатта, агар ин тасодуфи дилпазир рӯй намедод ҳам, падидаи радиоактивият ба яқин ошкор карда мешуд. Аммо, аз афташ, ин хеле дер муяссар мегардид.

Дере нагузашта, Беккирел ошкор сохт, ки тобиши уранӣ мисли тобиши рентгенӣ ҳаворо ион-ион (ионизатсия) ва электроскопро хунсо (бебарқа) мекунад. Ҷ пайвастагиҳои гуногуни кимиёии уранро санчида, ба ин гуна хулосаи муҳим омад: шиддати тобиш танҳо ба миқдори урани таркиби намакҳо вобаста асту ба навъи пайвастагиҳо тамоман бастагӣ надорад. Пас, хулоса гирифт Беккирел, ин хусусият на хоси пайвастагиҳо, балки хоси уран, хоси атомҳои уран мебошад.

Баъди ин кашфиёт ба миён овардани суоли зайл табиӣ буд: оё унсурҳои кимиёии дигар низ қобилияти худбахуд нур афкандан надоранд? Соли 1898 Мария Склодовская Кюри дар Фаронса ва муҳаққиқони дигар тобиши торийро ошкор сохтанд. Дар давраи минбаъда дар роҳи ҷустуҷӯи унсурҳои нав М.Склодовская-Кюри ва ҳамсари ӯ П.Кюри кӯшиши зиёде кардаанд. Тадқиқи мураттаби маъданҳои урандор ва торийдор онҳоро имкон дод, ки унсури то он дам номаълумро ошкор созанд. Ин унсур ба шарафи ватани М.Склодовская-Кюри – Полша (Лаҳистон) *полоний* ном гирифт. Онҳо унсури дигаре низ кашф карданд, ки сели тобишаш басе шадид буд. Онро *радий* (яъне тобон) ном ниҳоданд. Худи падидаи худбахуд нур афкандани моддаҳои Кюриҳо *радиоактивият* номиданд, ки маънои *партавзӣ* дорад.

Радий соҳиби массаи атомии нисбии 226 аст ва дар хонаи 88-уми чадвали унсурҳои кимиёии Менделеев ҷой дорад. Ин хонаи чадвал то рӯзи кашфи унсури номбурда ҳолӣ буд. Радий аз рӯи хосиятҳои кимиёии худ ба унсурҳои ишқорзаминӣ мансуб мебошад.

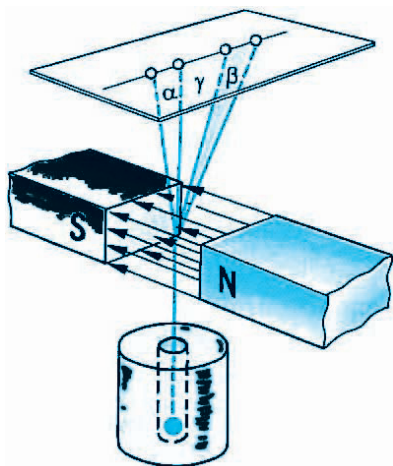
Дар давраи минбаъда маълум шуд, ки ҳама унсурҳои кимиёии рақами тартибиашон $Z > 82$ радиоактив, яъне партавзо ҳастанд.



Дар охири а. XIX падидаи нави физикӣ – падидаи радиоактивият кашф гардид. Ва маълум шуд, ки баъзе унсурҳои кимиёӣ худбахуд, бе таъсири берунӣ нур (нурҳои гуногун) меафкананд.

§77. Алфа-, бета- ва гамма-тобиш

Баъди кашфи унсурҳои кимиёии радиоактив тадқиқи табиати физикии нурҳои афкандани онҳо оғоз ёфт. Ғайр аз Беккирел ва Кюриҳо ба ин ҷустуҷӯ Резерфорд низ ҷамроҳ шуд.



Рас.178.

Таркиби мураккаб доштани тобиши радиоактивӣ дар таҷрибаи классикии зайл ба исбот расид. Манбаи радиоактиви радийдорро дар қаъри сӯрохи борики хоначаи сурбӣ ҷой дода, дар муқобили он сӯрох фотолавҳа гузоштан. Дастаи зарраҳои аз сӯрох бароянда ба майдони магнитии пурзӯре дохил мегашт, ки хатҳои индуксия (яъне хатҳои илқо)-и он нисбат ба самти даста амудона равона буд (рас.178). Дастгоҳи таҷриба дар ҷойи беҳаво (вакуум) ҷойгир буд.

Маълум шуд, ки дар сурати вучуд надоштани майдони магнитӣ дар фотолавҳа (баъди падида овардани тасвир) танҳо як доғ (дар ростии даҳони сӯрох) пайдо мешавад. Аммо дар майдони магнитӣ дастаи нурҳо се тақсим мешавад. Ду ҷузъи даста ба тарафҳои муқобили якдигар майл меҳӯранд. Ин далел буд, ки он ҷузъҳо аз зарраҳои гуногунбарқа (гуногунзаряд) иборатанд. (Зимнан, ҷузъи манфии даста назар ба ҷузъи мусбат зиёдтар майл мегашт). Ҷузъи сеюми даста дар майдони магнитӣ майле надид. Ҷузъи мусбати дастаро алфа-тобиш (α -тобиш), ҷузъи манфии онро бета-тобиш (β -тобиш) ва ҷузъи хунсоро гамма-тобиш (γ -тобиш) номиданд.

Ин нурҳо аз ҷиҳати қобилияти нуфуз, яъне қобилияти аз дохили моддаҳои гуногун гузарандагии худ фарқи куллӣ доранд. Алфа-тобиш соҳиби камтарин қобилияти нуфуз аст. Қоғазӣ ғафсиаш ҳамагӣ 0,1 мм барои алфа-тобиш ношаффоф аст. Агар дар роҳи нурҳои аз сӯрохи хоначаи сурбӣ бароянда як варақ қоғазӣ муқаррарӣ гузошта шавад, дар фотолавҳа доғи хоси α -тобиш ба вучуд намеояд.

Бета-тобиш дар мавриди аз дохили моддаҳо гузаштан назар ба алфа-тобиш хеле кам фуруӯ бурда мешавад. Лавҳаи алюминӣ онҳоро танҳо дар сурати чанд миллиметр будани ғафсиаш пурра фуруӯ мебарад.

Гамма-тобиш қобилияти нуфузи зиёдтарин дорад. Дарачаи фуруӯбурди γ -тобиш ба андозаи афзудани рақами атомии моддаи фуруӯбаранда зиёд мешавад. Аммо қабати сурбии ғафсиаш як сан-

Склодовская-Кйурй Мария (1867-1934) – физикдон ва кимиёдони барҷаста. Дар Лахистон, дар оилаи омӯзгор зода шудааст. Дар Фаронса кор кардааст. Ӯ нахустин профессорзани Донишгоҳи Париж буд.

М.Склодовская-Кйурй ҳамроҳи ҳамсараш П.Кйурй ду унсури нави радиоактив – радий ва полонийро кашф карда, хосиятҳои онҳоро омӯхтааст. Таҳияи нахустин усули классикии коркард ва таҳлили қонҳои уран, таҳқиқи нахустин изотопҳои радиоактив, хосиятҳои тобиши радиоактивӣ ва таъсири онҳо ба ҳуҷайраҳои зинда ва ғ. бо номи ӯ алоқаманданд.

Склодовская-Кйурй бо ду мукофоти нобелӣ – аз физика ва кимиё сарфароз гардонда шудааст.



тиметр барои гамма-тобиш садди ногузаштанӣ буда наметавонад. Дар сурати аз ин гуна садд гузаштани γ -тобиш шиддати онҳо ин ё он дараҷа кам мешаваду бас.

Табиати физикии алфа-, бета- ва гамма-тобиш гуногун аст, албатта.

Гамма-тобиш. Хосиятҳои гамма-тобиш ба хосиятҳои тобиши рентгенӣ бисёр монандӣ доранд, аммо қобилияти нуфузи гамма-тобиш назар ба тобиши рентгенӣ хеле баланд аст. Ин он гуна фикрро пеш меорад, ки γ -тобиш мавҷҳои электромагнитӣанд. Ҳамаи ин шакку шубҳа он гоҳ аз байн рафт, ки дифраксияи γ -тобиш ошкор гардид ва дарозии мавҷи ин тобиш дар таҷриба чен карда шуд. Дарозии мавҷи гамма-тобиш $10^{-8} - 10^{-11}$ см баромад, яъне гамма-тобиш назар ба тобиши рентгенӣ ҳам кӯтоҳмавҷтаранд.

Дар шкала (микрос)-и мавҷҳои электромагнитӣ γ -тобиш бевоқифа пас аз тобиши рентгенӣ меояд. Суръати густариши γ -тобиш баробари суръати густариши мавҷҳои электромагнитӣ, яъне 300 000 км/с аст.

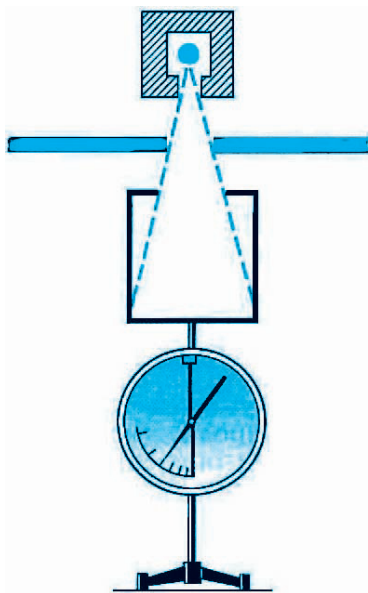
Бета-зарраҳо. Аз ибтидои тадқиқот алфа- ва бета-тобиш чун сели зарраҳои барқаманд муоина мешуданд. Омӯзиши таҷрибавии бета-зарраҳо осонтар буд, зеро онҳо ҳам дар майдони магнитӣ ва ҳам дар майдони электрикӣ саҳт майл меҳӯрданд.

Масъалаи асосӣ чен кардани барқа (бори электрикӣ) ва масъалаи зарраҳо буд. Таҳқиқи падидаи дар майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ майл хӯрдани β -зарраҳо нишон дод, ки онҳо ба ҷуз электронҳо чизи дигаре нестанд ва бо суръатҳои наздики суръати вакуумии рӯшноӣ ҳаракат мекунанд. Ҷолиби диққат аст, ки β -зарраҳои афкандаи унсурҳои радиоактив суръати гуногун

доранд. Маҳз ҳамин аст, ки дастаи бета-зарраҳо дар майдони магнитӣ васеъ мешавад (ниг. рас. 178).

Алфа-зарраҳо. Табиати алфа-зарраҳоро дарк кардан мушкилтар буд, зеро онҳо дар майдонҳои электрикӣ ва магнитӣ кам майл меҳӯранд.

Ин масъаларо Резерфорд ҳал кард. \bar{U} нисбати барқии зарраҳо бар масса (цирм)-и он аз рӯи дараҷаи дар майдони магнитӣ майл хӯрдани он муайян кард. Ин нисбат барои алфа-зарра назар ба протон (ҳастаи атоми ҳидроген) тақрибан ду бор камтар баромад. Барқии протон ҳамчени барқии бунёдӣ, яъне ҳамчени барқии электрон аст, вале массааш назар ба массаи электрон хеле зиёд, тақрибан як воҳиди атомии масса (ВАМ)¹ мебошад. Пас, барои алфа-зарра бар як барқии бунёдӣ массаи баробар ба ду ВАМ рост меояд. Аммо барқа ва массаи алфа-зарра ҳанӯз маълум набуданд. Пас, дар навбати аввал барқа ё массаи α -зарраҳо чен кардан мебоист. Баробари пайдо шудани ҳисобгиракҳои Гейгер маҳз барқии α -зарраҳоро чен кардан осонтар ва эътимодноктар



Рас.179.

буд. Агар ҳисобгирак даричае дошта бошад, ки монеи ҳаракати α -зарраҳо нагардад (яъне бағоят тунук бошад), ин зарраҳо ба даруни ҳисобгирак даромада сабт шуда метавонанд.

Резерфорд ҳисобгираки Гейгерро дар роҳи α -зарраҳо гузошта, адади зарраҳоеро чен кард, ки онҳоро манбаи радиоактив дар муддати муайян хориҷ мекунад. Баъд \bar{u} ба ҷойи ҳисобгирак силиндри филизие гузошта, онро бо электрометри ҳассосе пайваст (рас.179). Резерфорд ба воситаи электрометр адади α -зарраҳоеро чен кард, ки онҳоро манбаъ дар ҳамон муддат ба даруни цилиндр равона мекунад. (Радиоактивияти бисёр моддаҳои дар ин маврид истифодашуда

1. Массаи зарраҳо, атомҳо ва молекулаҳо бо воҳидҳои атомии масса (ВАМ) ифода мекунад. 1ВАМ ба 1/12 хиссаи массаи изотопи ^{12}C ё худ ба $(1,66043 \pm 0,00031) \cdot 10^{-27}$ кг баробар аст. (С. Қ.).

бо мурури замон қариб тағйир наменпазируфт). Барқаи умумии зарраҳо ва адади онҳоро дониста, Резерфорд нисбати ин бузургиро, яъне барқаи як α -зарраро ёфт. Ин барқа ҳамчени ду барқаи бунёдӣ (барқаи элементарӣ) баромад.

Ҳамин тариқ, Резерфорд дарёфт, ки ба сари ҳар яке аз ду барқаи воҳидии α -зарра массаи баробар ба ду воҳиди атомии масса рост меояд. Ба иборати дигар, α -зарра ду воҳид барқа (бори электрикӣ) дораду чаҳор воҳид масса (тақрибан 4 ВАМ). Ҳамин гуна барқа ва ҳамин гуна массаро ҳастаи атоми ҳелий соҳиб аст. Аз ин ҷо бармеояд, ки α -зарра ҳастаи атоми ҳелий будааст¹.

Ин бурҳон қотей буд. Аммо Резерфорд бо он қоней нашуда, баъдтар бо таҷрибаҳои бевосита собит сохт, ки ҳангоми рӯй додани α -қоҳиши радиоактивӣ (ниг. §79) ҳелий ҳосил мешавад. Ӯ дар бадали чанд рӯз α -зарраҳоро дар зарфи махсусе захира карда, ба воситаи таҳлили тайфӣ (таҳлили спектри) дарёфт, ки дар зарф ҳелий чамъ мешавад (ҳар як α -зарра ду электрон рабуда, ба атоми хунсои ҳелий табдил меёбад).



Дар қоҳиши радиоактивӣ α -зарраҳо (ҳастаҳои атоми ҳелий), β -зарраҳо (электронҳо) ва γ -тобиши (тобиши электромагнитии кӯтоҳмавҷ) афканда мешаванд.



1. *Табиати α -зарраҳоро дарк кардан назар ба дарки ҳосиятҳои β -зарраҳо душвортар буд. Сабаби ин дар чӣ буд?*
2. *(Иловаи тарҷумон). Резерфорд барқаи α -зарраҳоро чӣ тавр муайян кард?*

§78. Табдилоти радиоактивӣ

Ҳуб, модда дар қоҳиши радиоактивӣ чӣ тағйирот мебинад? Дар ибтидои а. XX ба ин пурсиши посух додан осон набуд. Ҳанӯз дар оғози таҳқиқи падидаи радиоактивият бисёр чиз аҷиб ва гайриодӣ менамуд.

1. Он вақт (даҳсолаи аввали а. XX) ҳастаи атом ҳанӯз кашф нашуда буд. Аз ин рӯ Резерфорд ба ҷойи ҳастаи атоми ҳелий истилоҳи «иони атоми ҳелий»-ро истеъмол мекард.

Аввалан, суръати кохиши нурафкании уран, торий ва радий ба дараҷаи тааҷҷубангез собит (доимӣ) буд. Шиддати тобиши онҳо дар тӯли шаборӯзҳо, моҳҳову солҳо ба қадри назаррас тағйир намеёфт. Гарм кардан ё зиёд кардани фишор ворӣ омилҳои муқаррарӣ ба шиддати тобиш асаре надошт. Вокунишҳои кимиёе ҳам, ки бо иштироки ин моддаҳои радиоактив рӯй меоданд, ба шиддати тобиш дигаргунӣ ворид намасошт.

Сониян, пас аз кашфи радиоактивият дере нагузашта равшан гашт, ки дар ин маврид ғайри тобишҳои гуногун энергияи зиёде низ хориҷ мешавад. П.Кйурӣ ампули пури хлориди радийро дар калориметр ҷой дода, муайян кард, ки дар натиҷаи дар калориметр фуру рафтани энергияи алфа- ва бета-зарраҳову гамма-квантҳои афкандаи 1г радий ҳар соат тақрибан 582 Ч энергия ҷудо мешавад. Ва ин миқдор энергия дар тӯли солҳо бефосила ҷудо шудан мегирад.

Ин энергия, ки пайдоиши он ба асари омилҳои беруна бастагӣ надорад, аз кадомин сарчашма ба вуҷуд меояд? Аз афташ, моддаи радиоактив дар натиҷаи кохиши радиоактивӣ ким-чӣ хел тағйироти ҷуқуре мебинад, ки он аз табдилоти муқаррарии кимиёӣ ба кулӣ фарқ мекунад. Ва тахмине ба миён омад, ки табдилот бо «ташаббус»-и худӣ атомҳо рӯй медиҳад.

Ҳозир ин фикр касеро дар вартаи ҳайронӣ намеандозад, зеро ҳар хонандаи мактаб дар бораи он ҳанӯз пеш аз омӯхтани хатҳои огоҳӣ ёфта метавонад. Аммо дар ибтидои а.ХХ ин фикр ғайриодӣ менамуд ва барои изҳор кардани он ҷуръати беҳамто доштан мебоист. Он вақтҳо мавҷудияти атомҳо навақас ба таври раднопазир собит гардида буд. Тахмини чандин аср пеш аз замони мо изҳоркардаи Демокрит дар бораи сохти атомӣ доштани модда тантана кард.

Вале якбора баъди ин тантана масъалаи тағйирнопазирии атомҳо мавриди шакк қарор гирифт.

Мо ин ҷо ҳама таҷрибаҳоеро, ки охири охирон муҳаққиқонро ба хулосаи дуруст оварданд - ин ки дар натиҷаи кохиши радиоактивӣ атомҳо силсилаи табдилоти гуногунро «аз сар мегузаронанд», баён накарда, танҳо дар сари нахустин таҷрибаҳои таваққуф мекунем, ки онҳоро Резерфорд оғоз карда, баъдҳо ҳамроҳи кимиёдонии англис Ф. Соддӣ идома додааст.

Резерфорд ошкор сохт, ки фаъолияти торий (яъне адади алфа-зарраҳои дар воҳиди вақт афкандаи торий) дар ампули маҳкам

соби́т мемонад. Вале агар макони таҷриба таҳти сели ҳатто сусти ҳаво қарор дода шавад, радиоактивияти торий хеле кам мешавад. Резерфорд гумон бурд, ки торий дар баробари α -зарраҳо газе низ хорич мекунад, ки он ҳам радиоактив аст.

Баъд Резерфорд ҳавои ампули торийдорро кашида, гази радиоактивро чудо кард. Ў аз таҳқиқи фаъолияти ионофарандагии ин газ хулоса гирифт, ки фаъолияти ин газ (бар хилофи фаъолияти уран ва радий) хеле зуд кам мешавад: адади коҳишҳои он (дар воҳиди вақт) ҳар дақиқа ду баробар кам мешавад ва баъди даҳ дақиқа аз он амалан асаре намемонад. Ф. Соддӣ хосиятҳои кимиёии ин газро таҳқиқ карда, дарёфт, ки он дар ҳеч гуна вокуниши кимиёӣ иштирок намекунад, яъне гази нофаъол (гази инертӣ) мебошад. Баъдҳо ин газро *радон* номиданд. Ҷойи он хонаи 86-уми чадвали Менделеев аст.

Унсурҳои радиоактиви дигар – уран, актиний ва радий ҳам паёпай табдил меёфтанд. Хулосаи умумии пажӯҳиширо Резерфорд ин гуна шакли дақиқ дод: «Атомҳои моддаи радиоактив қобили *тағйироти худбахуд* мебошанд. Дар ҳар лаҳзаи вақт қисми муайяни атомҳо нопадид шуда, таркишон коҳиш меёбад. Дар аксари кулли мавридҳо як пораи атом – алфа-зарра бо суръати хеле баланд берун андохта мешавад. Дар баъзе мавридҳои дигар дар натиҷаи таркиш электрони баландсуръат хорич мегардад ва тобише ба вучуд меояд, ки мисли тобиши рентгенӣ қобилияти баланди нуфуз дорад – ин тобиш *гамма-тобиш* ном гирифт.

Хулоса, дар натиҷаи табдилоти атомӣ моддаи нава ба вучуд меояд, ки бо хосиятҳои физикиву кимиёии худ аз моддаи ибтидоӣ ба кулӣ фарқ мекунад. Аммо худи ин моддаи нава нопадид аст ва тобиши ба худ хосе дорад¹.

Яқин гашт, ки атомҳои баъзе унсурҳо худбахуд коҳиш ёфта, он миқдор энергия меафкананд, ки он назар ба энергияи дар натиҷаи тағйироти муқаррарии молекулаи хоричшаванда бағоят зиёд мебошад».

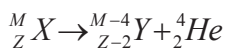
Ҳамоно, баъди кашфи ҳастаи атом равшан гашт, ки *сабабгори табдилоти радиоактивӣ* маҳз ҳамин ҳаста мебошад. Дарвоқеъ, дар қишри электронии атом α -зарра мавҷуд нест ва ба як воҳид кам шудани адади электронҳо атомро на ба унсурҳои кимиёии нава, балки

1. Дар ин маврид ҳастаҳои падидор низ ба вучуд омада метавонанд.

ба ион табдил медиҳад. Вале аз ҳаста хориҷ гаштани электрон барқаи ҳастаро як воҳид тағйир медиҳад (зиёд мекунад).

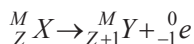
Хулоса, радиоактивият падидаи худбахудиш табдили ҳастаҳои радиоактив ба ҳастаҳои навъи дигар аст, ҳодисаест, ки дар натиҷаи он ҳаста ин ё он навъ зарра меафканад.

Қоидаи кӯчиш. Табдилоти ҳастаҳо тобеи қоидаи кӯчиш ном қоидаест, ки онро бори нахуст Соддӣ баён кардааст: дар α -коҳиш барқаи ҳаста ба қадри $2e$ ва массааш ба қадри тақрибан чаҳор воҳиди атомии масса кам мешавад – дар натиҷа унсурӣ маҳсул ду хона сӯйи ибтидои чадвали даврӣ мекуҷад. Ин нуктаро ба во-ситаи рамзҳо чунин ифода кардан мумкин аст:



Ин ҷо унсур бо рамзҳои маъмулии кимиёӣ ишорат шудааст: дар тарафи чапи рамзи унсур дар шакли шохис (индекс)-и поёни барқаи ҳаста сабт мешаваду дар шакли шохиси болоӣ – массаи атомӣ. Чунончи, ҳидроген рамзи ${}^1_1 H$ дорад. Барои α -зарра (ҳастаи атоми ҳелий) ишорати ${}^4_2 He$ қабул шудааст ва ғ.

Дар бета-коҳиш ҳаста электрон меафканад – дар натиҷа барқаи ҳаста як воҳид меафзояд, вале массааш қариб бетағйир мемонад:



Ин ҷо ${}^0_{-1} e$ ишорати электрон аст: шохиси «0» нишон медиҳад, ки массаи электрон назар ба як воҳиди атомии масса ночиз аст. Баъди β -коҳиш унсур як хона сӯйи поёни чадвали даврии унсурҳо мекуҷад.

Дар афканиши гамма-квант барқаи ҳаста тағйир намеёбад; массаи ҳаста низ дар ин маврид хеле кам тағйир меёбад.

Қоидаҳои кӯчиш нишон медиҳанд, ки дар коҳиши радиоактивӣ барқа ба дурустӣ бобақо аст ва массаи атомии нисбии ҳаста тақрибан бақо дорад.

Ҳастаҳои нави дар натиҷаи коҳиши радиоактивӣ пайдошуда (дар навбати худ) низ радиоактив буда метавонанд.



Дар коҳиши радиоактивӣ табдили ҳастаҳои атомӣ рӯй медиҳад.



1. Дар коҳиши радиоактивӣ кадом қонунҳои ба шумо маълуми бақориоя мешаванд?
2. (Иловаи тарҷумон). Дар сурати аз ҳастаи атом хориҷ гардидани электрон барқои ҳаста як воҳид зиёд мешавад. Шумо инро чӣ шарҳ медиҳед?

§79. Қонуни коҳиши радиоактивӣ. Даври нимкоҳиш

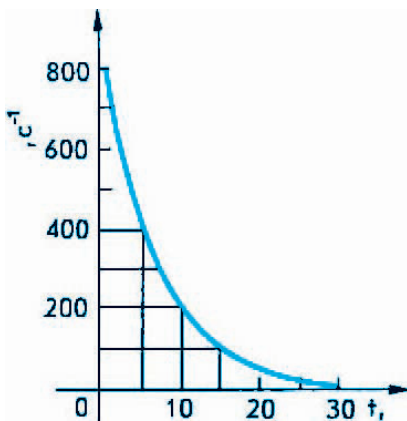
Падидаи коҳиши радиоактивӣ тобеи қонуни оморӣ (қонуни статистикӣ) мебошад.

Резерфорд табилоти ҳастаҳои радиоактивро таҳқиқ карда, бо роҳи таҷрибавӣ дарёфт, ки фаъолияти он моддаҳо бо мурури замон тағйир меёбад. (Аз ин хусус дар банди пешина сухан рафт). Чунончи, фаъолияти радон пас аз 1 дақ аллакай ду бор кам мешавад¹. Фаъолияти уран, торий ва радий ворӣ унсурҳои радиоактив низ бо мурури замон мекоҳад (кам мешавад), аммо ин коҳиш бағоят оҳиста аст. Барои ҳар як моддаи радиоактив фосилаи муайяни вақте вучуд дорад, ки дар он фаъолият ду бор кам мешавад. Ин фосила даври нимкоҳиш ном гирифтааст.

Даври нимкоҳиш T фосилаи вақтест, ки дар тӯли он нисфи адади мавҷудаи атомҳои радиоактив мекоҳад. Дарвоқеъ, фаъолияти манбаъро дар натиҷаи ду тақсими баробар кардани он ҳам ду бор кам кардан мумкин аст.

Коҳиши фаъолият, яъне кам шудани адади коҳишҳо дар воҳиди вақт барои яке аз моддаҳои радиоактив дар рас.180 тасвир ёфтааст. Даври нимкоҳиши ин модда 5 шабонарӯз аст.

Акнун бубинем, ки қонуни коҳиши радиоактивиро чӣ тавр ифода кардан мумкин аст. Бигзор,



Рас. 180

1. Аслан ин чо гап на дар бораи худӣ радон, балки дар бораи торон ном изотопи он меравад, ки ишорати ^{220}Rn дорад ва даври нимкоҳишаш қариб 1 дақ (55,6 с) аст. (С.К.).

адади атомҳои радиоактив дар лаҳзаи аввали вақт ($t=0$) N_0 бошад. Он гоҳ, пас аз муддати баробар ба як даври нимкоҳиш ин адад баробари $N_0/2$ мешавад. Пас аз як даври дигар ин адад баробари

$$\frac{1}{2} \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$$

мешавад. Пас аз муддати $t=nT$, яъне пас аз n даври нимкоҳиш ин миқдор атоми радиоактив боқӣ мемонад:

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}$$

ё ин ки азбаски $n=t/T$ аст, пас

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (10.1)$$

Ҳамин аст ифодаи риёзии қонуни коҳиши радиоактивӣ. Аз рӯйи ин ифода адади атомҳои то ин ё он лаҳза нокоҳидаи радиоактивно муайян мекунамд.

Даври нимкоҳиш бузургии асосиест, ки суръати коҳиши радиоактивиро ифода мекунад. Ҳар қадре ки даври нимкоҳиш кам бошад, атомҳо муддати ҳамон қадр кӯтоҳтар мезиянд (нокоҳида боқӣ мемонанд), яъне коҳиш ҳамон қадр зудтар рӯй медиҳад. Даври нимкоҳиш барои моддаҳои радиоактиви гуногун қиматҳои бисёр гуногун дорад. Мисол, даври нимкоҳиши урани $^{238}_{92}\text{U}$ тақрибан $4,5 \cdot 10^9$ сол аст. Маҳз ҳамин аст, ки фаъолияти уран солҳои сол қариб бетағйир мемонад. Даври нимкоҳиши радий ^{226}Ra назар ба уран хеле кам – ҳамагӣ 1600 сол аст. Ҳамин аст, ки радий назар ба ҳамон миқдори уран фаъолияти хеле зиёд дорад. Унсурҳои радиоактиве низ мавҷуданд, ки даври нимкоҳиши миллионяки сония ё камтар аз он мезиянд.

Барои аз рӯйи формулаи (10.1) муайян кардани даври нимкоҳиш адади ибтидоии атомҳои N_0 -ро дониста, адади атомҳои нокоҳида N -ро барои ин ё он фосилаи вақти t ёфта намоянд.

Ҳуди қонуни коҳиши радиоактивӣ бисёр сода аст. Вале маъноии физикии онро фаҳм кардан осон нест. Дарвоқеъ, мувофиқи ин қонун дар ҳар яке аз фосилаҳои вақт ҳамон як ҳиссаи атомҳои мавҷуда (дар муддати як даври нимкоҳиш нисфи атомҳо) мекоҳад. Пас, бо мурури замон суръати коҳиш ҳеҷ тағйир намеёбад.

Атомҳои радиоактив «пир» намешаванд. Масалан, атомҳои радон, ки аз коҳиши радий ба вуҷуд меоянд, чӣ дар лаҳзаи пайдоиши

худ ва чӣ баъди 10 дақиқаи тавлиди худ имкони якхелаи коҳиш ёфтан доранд. Коҳиши ҳар як ҳаста – ин, содатар гӯем, на «марг аз пирӣ», балки «фалокати ногаҳонист» дар «ҳаёти» он. Мафҳуми синн барои атомҳо (сахехтар гӯем, барои ҳастаҳо)-и радиоактив маънӣ надорад. Барои онҳо танҳо умри миёнаи атомҳои радиоактив τ маънои равшан дорад.

Муддати мавҷудияти атомҳои алоҳида аз ҳиссаҳои сония то миллиардҳо сол буда метавонад. Масалан, атоми уран метавонад, ки миллиардҳо сол қарор хобида, ногаҳон битаркад, бо вучуде, ки атомҳои ҳамсоҳаҳои он метавонанд, ки миллиардҳо соли дигар қарор бихобанд. Умри миёна τ – ин қимати миёнаи арифметикӣ (ҳисобӣ), умри адади ба қадри кофӣ зиёди ҳамон як навъи атомҳост ва бо даври нимкоҳиш T чунин алоқаманд аст:

$$\tau \approx 1,4T. \quad (10.2)$$

Лаҳзаи коҳиши атоми алоҳидаро пешгӯӣ кардан имконнопазир аст. Танҳо дар бораи умри миёнаи атомҳои таркиби маҷмӯи сератом сухан рондан маънии муайян дорад. Қонуни коҳиши радиоактивӣ адади атомҳои маҳз ба ҳисоби миёна дар ин ё он фосилаи вақт коҳандаро муайян мекунад. Вале майл аз қимати миёна ба ин ё он дараҷа ҳамеша вучуд дорад ва ҳар қадре ки адади атомҳои маҷмӯъ (чунончи, адади атомҳои радиоактиви манбаъ) кам бошад, ин майл ҳамон қадр зиёд хоҳад буд. Қонуни коҳиши радиоактивӣ қонуни оморӣ (қонуни статистикӣ) мебошад¹.



Дар бораи қонуни коҳиши радиоактиви адади ками атомҳо ба таври муайян муҳокима рондан беҳуда аст, зеро ин қонун танҳо барои маҷмӯи иборат аз адади зиёди атомҳои таҳқиқшаванда риоя мешавад.



1. *Ҳисобгирак бета-зарраҳои манбаи радиоактиви камфаъолиятро сабт мекунад. Оё фосилаҳои байни импульсҳои сабткардаи ҳисобгирак баробар меоянд?*
2. *(Иловаи тарҷумон). Мо гуфтем, ки атомҳои радиоактив «пир» намешаванд. Ин чӣ маънӣ дорад?*

1. Яъне танҳо барои адади зиёди атомҳои радиоактив риоя мешавад (С.Қ.).

§80. Изотопҳо

Омӯзиши падидаи радиоактивият кашифиёти муҳимро боис гардид, ки он бо табиати ҳастаҳои атомӣ алоқаманд аст.

Чунонки аз мушохидаи адади зиёди табдилоти радиоактивӣ охиста-охиста равшан гашт, моддаҳои мавҷуданд, ки бо вучуди хосиятҳои кимиёии қомилан яқхела доштан соҳиби хосиятҳои ба қуллӣ гуногуни радиоактиванд (яъне бо тарзҳои гуногун қоҳиш меёбанд). Онҳоро бо ҳама усулҳои мавҷудаи кимиёӣ ҷудо кардан муяссар нагардид. Дар ҳамин замина с.1911 Соддӣ тахмин кард, ки атомҳои аз ҷиҳати кимиёӣ ҳамхосият, вале аз ҷиҳати дигар (масалан) аз ҷиҳати радиоактивият гуногунхосият мавҷуданд – ин унсурҳоро дар ҳамаи як ҳонаи ҷадвали даврии Менделеев ҷой додан мебояд. Соддӣ онҳоро *изотоп* номид (*аз юн. isos – баробар, монанд ва topos – ҷой, яъне унсурҳое, ки ҳамаи як ҷойро ишғол мекунанд*).

Баъди як сол, вақте ки **Ҷ.Ҷ.Томсон** массаи ионҳои неонро бо усули дар майдонҳои магнитӣ ва электрикӣ майл додани онҳо чен кард, гуфтаи Соддӣ ба қуллӣ тасдиқ гашт ва шарҳ ёфт. Қисми зиёди онҳо массаи атомии нисбии 20 ва қисми хеле камашон массаи 22 доранд. Ҳамин аст, ки массаи атомии нисбии омехта 20,2 мешавад. Атомҳои соҳиби ҳамаи як хосиятҳои кимиёӣ дорои массаи гуногун буда метавонистанд. Табиист, ки ҳарду навъи неон дар ҷадвали Менделеев ҳамаи як ҳонаро ишғол мекунанд, яъне изотоп мебошанд.

Ҳамин тариқ, изотопҳо на танҳо бо хосиятҳои радиоактивӣ, балки **бо массаи худ низ фарқ мекунанд**. Зимнан, равшан гашт, ки маҳз фарқи массаҳо муҳим аст. Барқои ҳастаҳои атомҳои изотопҳо, ки адади электронҳои атомӣ ва аз ин рӯ хосиятҳои кимиёии атомҳоро ифода мекунанд, баробаранд. Вале массаи ҳастаҳои изотопҳо аз якдигар фарқ доранд.

Ҳастаҳо устувор ҳам буда метавонанд ноустувор ҳам. Тафовути хосиятҳои радиоактивии изотопҳо бо он алоқаманд аст, ки ҳастаҳои онҳо массаи гуногун доранд.

Ҳоло собит шудааст, ки ҳамаи унсурҳои изотоп доранд. Аммо на ҳамаи унсурҳои изотопи устувор доранд. Баъзеи онҳо танҳо изотопҳои нопойдор (яъне изотопҳои радиоактив) доранд. Вазнинтарин унсурҳои табиӣ – уран ҳам чанд изотоп дораду (массаи

атомии нисбиашон 238, 235, 234) сабуктарин унсур – ҳидроген ҳам (масаи атомии нисбиашон 1, 2, 3).

Изотопҳои ҳидроген шоёни тавачҷуҳанд, зеро массаи онҳо аз якдигар ду ё се бор фарқ мекунанд. Изотопи массаи атомии нисбиаш 2 *дейтерий* ном гирифтааст. Дейтерий устувор аст (яъне радиоактив нест). Миқдори он дар омехтаи изотопҳои ҳидроген басте кам – ҳамагӣ 1:4500 мебошад.

Дар натиҷаи бо оксиген омезиш ёфтани дейтерий *оби вазнин* ном обе ҳосил мешавад, ки хосиятҳои физикии он аз хосиятҳои оби муқаррарӣ фарқи намоён доранд. Дар фишори атмосферии муътадил ин об дар ҳарорати 101,2°C меҷӯшаду дар ҳарорати 3,8°C ях мебандад.

Изотопи дигари ҳидрогенро, ки массаи атомии нисбиаш 3 аст, *тритий* мегӯянд. Ин изотоп бета-радиоактив мебошад (яъне электрон меафканад) ва даври нимкоҳиши тақрибан 12,3 сол дорад.

Мавҷудияти изотопҳо нишон медиҳад, ки барқаи ҳастаи атом на ҳама хосиятҳои он, балки танҳо хосиятҳои кимиёӣ ва ҳамон хосиятҳои физикии атомро таъйин мекунад, ки онҳо (чунончи, андозаҳои атом) ба сарҳадди қишри электронӣ вобастаанд. Вале қимати саҳеҳи масса ва хосиятҳои радиоактивии атомро аз рӯи рақами тартибии он (дар чадвали унсурҳо) муайян кардан муҳол аст.

Дақиққорона чен кардани массаи атомии изотопҳо нишон дод, ки массаи атомии нисбии изотопҳо ба ададҳои том наздиканд. Аммо массаи атомии унсурҳои кимиёӣ дар баъзе мавридҳо аз ададҳои том хеле фарқ мекунанд. Чунончи, массаи атомии хлор 35,5 аст. Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар ҳолати табиӣ моддаи (аз ҷиҳати кимиёӣ) пок иборат аз омехтаи изотопҳоест, ки ҳиссаи онҳо дар офариниши масса гуногун мебошад. Ба адади том наздикӣ доштани массаи атомии нисбии изотопҳо барои равшан кардани сохти ҳастаи атом басте муҳим буд.



Ҳама унсурҳои кимиёӣ изотоп доранд. Ҳастаҳои атомии изотопҳо барқаи якхела, вале массаи гуногун доранд.



1. (Иловаи тарҷумон). Изотопҳои ҳидроген аз якдигар бо кадом ҷиҳати худ фарқ мекунанд?
2. Оё барий, ки массаи атомии нисбиаш 137,34 аст, изотоп дорад?

§81. Кашфи нейтрон

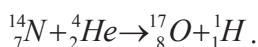
Дар роҳи инкишофи физикаи ҳастаи атом кашфи нейтрон (с. 1932) оғози марҳалаи муҳиме буд.

Табдили сунъии ҳастаҳои атомӣ. Ҳастаи атомро ба таври сунъӣ бори нахуст с.1919 Э.Резерфорд табдил додааст. Ин акнун кашфи тасодуфӣ набуд.

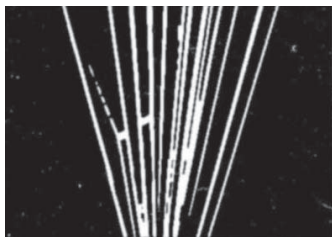
Азбаски ҳастаи атом манзума (система)-и бисе пойдор мебошад ва азбаски **на** ҳароратҳои баланду **на** фишорҳои баланд ва на майдонҳои электрикиву магнитӣ ба ҷараёни табдили унсурҳо ва ба суръати коҳиши радиоактивӣ асаре надоранд, Резерфорд пай бурда тавонист, ки барои хароб кардан ё табдил додани ҳаста энергияи зиёде зарур аст. Он вақтҳо воситаи беҳтарин α -зарраҳое буданд, ки дар натиҷаи коҳиши радиоактивӣ ба вучуд меомаданд.

Нахустин ҳастае, ки ба таври сунъӣ табдил дода шуд, ҳастаи атоми нитроген ${}^{14}_7N$ буд. Резерфорд нитрогенро бо α -зарраҳои афкандаи радий алфабарон карда, ошкор сохт, ки дар натиҷаи ин ҳастаҳои атоми ҳидроген – протонҳо ба вучуд меоянд.

Дар таҷрибаҳои нахустин протонҳо бо усули шараршуморӣ (усули синтиллатсияҳо) ба ҳисоб гирифта мешуданд. Бинобар ин санҷишҳо чандон саҳеҳ набуданд. Аммо баъди чанд сол табдили нитроген дар камераи Вилсон мушоҳида карда шуд. Ҳастаҳои нитроген тақрибан ҳар як α -зарраи 50 000-уми афкандаи манбаи радиоактивро (ки дар даруни камера ҷой дошт) фурӯ бурда, ба ҳастаи оксиген табдил меёфтанд:



Дар рас.181 яке аз фотосуратҳои ин рӯйдодҳо тасвир ёфтааст. Дар тарафи чапи сурат душоҳагӣ ба назар мерасад, ки шоҳаи гафси он хоси ҳастаи оксиген асту шоҳаи бориқаш – хоси протон.



Рас.181.

Радд (пай, из)-и алфа-зарраҳои дигаре, ки дар расм падида омаданд, ростхаттаанд, зеро онҳо бо ҳастаҳои нитроген барнахӯрданд.

Бо таъсири α -зарраҳо табдил ёфтани ҳастаҳои фтор, натрий, алюмин ва ғ.-ро муҳаққиқони дигар ошкор карданд. Аз ҳамаи ин ҳастаҳо бо таъсири α -зарраҳо

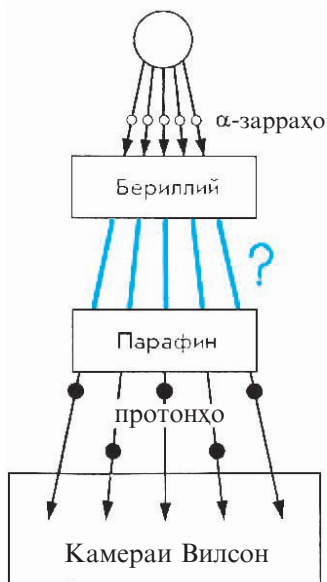
протон хорич мегардад. Вале ҳастаҳои вазнин (ҳастаҳои охири чадвали унсурҳо) бо таъсири α -зарраҳо табдил намеёфтанд. Равшан буд, ки барқай бузурги онҳо α -зарраҳои истифодашавандаро ба ҳаста наздик шудан намонд.

Кашфи нейтрон. Соли 1932 дар таърихи физикаи ҳастаи атом воқеаи бисёр муҳим ба вуқӯъ пайваст – он сол Ч. Чэдвик (ҳамкори Резерфорд) заррае кашф кард, ки он *нейтрон* ном гирифт.

Дар сурати алфаборон кардани бериллий протон ба вучуд намеомад. Вале дар ин маврид тобише мушоҳида мешуд, ки қобилияти зиёди нуфуз дошт ва аз варақаҳои сурбии ғафсиашон 10-20 см гузафта метавонист. Гумон рафт, ки ин тобиш гӯё гамма-квантҳои баландэнергия бошанд. Ирен Жолио-Кйурӣ (духтари Мария ва Пйер Кйурӣ) ва ҳамсари ӯ Фредерик Жолио-Кйурӣ ошкор карданд, ки агар дар роҳи тобиши бериллий лавҳаи парафинӣ гузошта шавад, қобилияти ионофарии он нурҳо яқбора меафзояд. Онон дуруст тахмин карданд, ки тобиши бериллий аз парафин (ки моддаи серҳидроген аст) протонҳоро зада мебаранд. Жолио-Кйуриҳо ба воситаи камераи Вилсон (тарҳи таҷриба дар рас.182 омадааст) ин протонҳоро ошкор сохта, аз рӯйи дарозии дави онҳо энергияшонро баҳодод карданд. Агар гӯем, ки протонҳо дар натиҷаи ба онҳо задани гамма-квантҳо шитоб гирифтаанд, пас, энергияи ин квантҳо мебоист бисёр зиёд – қариб 55 МэВ (миллион электронвольт) мебуд. Ҳамон с.1932 Чэдвик дар камераи Вилсон радд (пай)-и ҳастаҳои бо зарраҳои бериллий бархӯрдаи нитрогенро мушоҳида кард.

Аз рӯйи баҳододи ӯ энергияи гамма-кванте, ки ҳастаи нитрогенро суръати мутобиқ ба суръати мушоҳидашуда мебахшад, бояд камаш 90 МэВ бошад. Мушоҳидаи ҳастаҳои ақибрафтаи аргон дар ҳамон гуна шароит рақами боз ҳам зиёдтар – 150 МэВ дод.

Ҳамин тариқ, муҳаққиқон пайдоиши ин ҳастаҳоро натиҷаи бархӯрди онҳо ба зарраҳои маҳрум аз массаи оромиш (гамма-квантҳо) пиндошта, ба муҳоли-



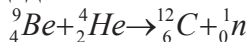
Рас.182.

фати ошкоро бархӯрданд: тавре ба назар мерасид, ки гӯё ҳамон як навъи гамма-квантҳо дар ҳар маврид энергияи ҳархела дошта бошанд.

Равшан гашт, ки тахмини муҳаққиқон дар бораи он ки гӯё беррилий гамма-квант меафканда бошад, заминаи мантиқӣ надорад. Ҳамчунин равшан гашт, ки бериллий бо таъсири α -зарраҳо ким-чӣ хел зарраҳои вазнин меафканад, зеро протонҳо ё ҳастаҳои нитроген ва аргон маҳз дар натиҷаи бо зарраҳои вазнин бархӯрдан соҳиби энергияи зиёд гардида метавонанд. Азбаски ин зарраҳо қобилияти баланди нуфуз доштанду газро бевосита ионида (ионизатсия карда) наметавонистанд, хулоса гирифта шуд, ки онҳо зарраҳои хунсо (яъне бебарқа) мебошанд. Ин фаҳмоист, зеро агар онҳо хунсо намебуданд, бо моддаҳо таъсири мутақобили зӯр медоштанд ва аз ин рӯ, энергияи худро босе зуд сарф мекарданд.

Зарраи нав *нейтрон* ном гирифт. Буди онро ҳанӯз с. 1920 Резерфорд пешгӯӣ карда буд. Массаи нейтронҳоро аз рӯи энергия ва импульси ҳастаҳои бо онҳо бархӯрда муайян кардаанд. Массаи ин зарра назар ба массаи протон, ки 1836,1 m_e аст (m_e - массаи электрон) андак зиёдтар – 1838,6 m_e баромад.

Дар натиҷаи дар ҳастаи бериллий фуру рафтани α -зарра воқуниши зайл рӯй медиҳад:



Ин чо ${}^1_0\text{n}$ рамзи нейтрон аст; массаи нисбии нейтрон тақрибан як воҳиди атомии масса асту барқаи он баробари сифр.

Нейтрон зарраи нопойдор аст: нейтрони озод (он ки аз ҳастаи атом берун аст) бо даври нимқоҳиши 11,3 дақ мекоҳад ва як протону як электрону як нейтрини ном зарраи бемассаи оромиш ба вучуд меоварад.



Нейтрон зарраест, ки барқа (бори электрикӣ, заряди электрикӣ) надорад. Массаи нейтрон назар ба массаи протон ба қадри 2,5 массаи электрон афзунтар аст. Ин зарра нопойдор мебошад ва бо даври нимқоҳиши тақрибан 11,3 дақ мекоҳад.



1. *Чарост, ки нейтрон дар натиҷаи бархӯрди ростакӣ бо протон энергияи худро битамом ба он медиҳаду дар бархӯрд бо ҳастаи нитроген – танҳо қисми онро?*
2. *(Иловаи тарҷумон). Нейтрон чӣ тавр кашф шудааст?*

§82. Сохти ҳастаи атом. Қувваҳои ҳастаӣ

Дафъатан пас аз кашфи нейтрон олими рус Д.Иваненко ва олими олмонӣ В.Ҳайзенберг беҳабар аз якдигар модели протонӣ-нейтронии ҳастаҳои атомиро пешниҳод карданд, ки он дар тадқиқоти ояндаи табилооти ҳастаӣ тасдиқ гардид ва ҳоло ҷойи шакку шубҳа надорад.

Модели протонӣ-нейтронии ҳастаи атом. Мувофиқи модели протонӣ-нейтронӣ ҳаста аз ду навъ зарра – аз протонҳо ва нейтронҳо таркиб меёбад.

Адади протонҳои таркиби ҳаста ба адади электронҳои қишри электронии атом баробар аст, зеро атом ҷамъан хунсо (яъне сифрийбарқа) мебошад. Пас, адади протонҳои ҳаста ба рақами атомии унсури кимиёӣ (дар ҷадвали Менделеев) Z баробар аст.

Ҷамъи адади протонҳои ҳаста Z ва нейтронҳои он N , яъне

$$Z+N=A \quad (10.3)$$

адади массавӣ (яъне адади чирмӣ) ном гирифтааст. Азбаски массаи протон ба массаи нейтрон наздик аст ва ҳар яки онҳо тақрибан баробари як воҳиди атомии масса мебошад, пас, адади массавӣ ба массаи атомии нисбии то адади том яклухтшудаи унсур баробар меояд (массаи электронҳои таркиби атомиро дар ин муқоиса ба эътибор нагирифтани мумкин аст, зеро он назар ба массаи ҳаста ҳазорҳо бор кам аст). Барои муайян кардани ададҳои массавӣ асбобҳои массасанҷии махсусе истифода мешаванд, ки саҳеҳияти баланд доштани онҳо ҳатмӣ нест.

Изотопҳо гуфта ҳастаҳоеро мефаҳманд, ки миқдори протонҳои онҳо Z баробар аст, аммо миқдори нейтронҳои онҳо N (ё адади массавии онҳо A) гуногун.

Қувваҳои ҳастаӣ. Азбаски ҳастаҳо бисёр пайдоранд, пас, протонҳои онҳо нейтронҳои онҳо андаруни ҳаста бояд бо қувваҳои пурзӯр алоқаманд бошанд. Чигунаанд ин қувваҳо?

Пешакӣ метавон гуфт, ки қувваҳои ҳастаӣ қувваҳои ҷозиба нестанд (қувваҳои ҷозиба бағоят сустанд). Ин қувваҳои қувваҳои электромагнитӣ низ нестанд, зеро онҳо дар байни зарраҳои ҳамбарқа – протонҳо ҳам вучуд доранд, дар байни зарраҳои аз ҷиҳати электрикӣ хунсо – нейтронҳо ҳам.

Пас, дар байни зарраҳои даруниҳастай – протонҳои нейтронҳо (онҳоро *нуклон* низ мегӯянд) қувваҳои махсус амал мекунад. Номи онҳо худбахуд ёфт шуд – *қувваҳои ҳастай*.

Хуб, хосиятҳои асосии қувваҳои ҳастай чигунаанд?

Қувваҳои ҳастай назар ба қувваҳои электрикӣ (ё худ қувваҳои кулонӣ) тақрибан сад бор қавитаранд. Ва умуман, онҳо пурзӯртарин қувваҳои табиатанд. Ҳамин аст, ки *таъсири мутақобили зарраҳои ҳастаиро* таъсири мутақобили зӯр меноманд.

Таъсири мутақобили зӯр бо таъсири мутақобили нуклонҳои таркиби ҳаста маҳдуд намешавад. Ин нави махсуси таъсири мутақобил аст ва дар баробари *таъсири мутақобили электромагнитӣ* бисёр зарраҳои бунёди хос мебошад.

Хосияти дигари муҳими қувваҳои ҳастай ин аст, ки онҳо кӯтохтаъсиранд. Қувваҳои электромагнитӣ бо афзоиши масофа нисбатан оҳиста кам мешаванд ва доираи зуҳуроти онҳо номаҳдуд мебошад, ҳол он ки қувваҳои ҳастай (чунонки ҳанӯз аз таҷрибаҳои Резерфорд рӯшан буд – ниг. §72) танҳо дар масофаҳои ҳамчени андозаи ҳаста, яъне дар масофаҳои 10^{-12} – 10^{-13} см зоҳир мегарданд. Ҳаста, маҷозан гӯем, «пахлавонест бағоят кӯтохтаст».

Назарияи микдории қувваҳои ҳастай ҳанӯз чандон мукамал нест. Бисёр ҷиҳатҳои соҳтмони ин назария дар ҳамин 10–15 соли охир равшан гаштааст.



Ҳастаҳои атомӣ аз протонҳо ва нейтронҳо таркиб ёфтаанд. Ин зарраҳо дар ҳаста бо қувваҳои қавитарини табиат – бо қувваҳои ҳастай ниғаҳдорӣ мешаванд.



1. *(Иловаи тарҷумон). Кӯтохтаъсир будани қувваҳои ҳастай зуҳуроти чист?*
2. *Шумо боз чӣ гуна хосиятҳои асосии қувваҳои ҳастаиро медонед?*
3. *(Иловаи тарҷумон). Оё мавҷудияти дейтрон (ҳастаи атоми дейтерий) бурҳони қотее буда метавонад, ки дараҷаи зӯрии қувваҳои ҳастай ба барқои нуклонҳои мутақобилтаъсиркунанда вобастагӣ надоранд?*

§83. Энергияи бандиши ҳастаҳои атомӣ

Мафҳуми энергияи бандиши ҳаста дар саросари физикаи ҳаста мақоми бағоят муҳим дорад. Энергияи бандиши шарҳи пойдорӣ ҳастаҳоро осон мегардонад, имкон медиҳад, ки сабаби хориҷ гардидани энергияи дохилиҳастаӣ ба хубӣ дарк шавад.

Нуклонҳоро андаруни ҳаста қувваҳои тавоноӣ ҳастаӣ нигоҳ медоранд. Барои аз ҳаста кандани нуклон (протон ё нейтрон) кори зиёде иҷро кардан, яъне ба ҳаста энергияи зиёде додан мебояд.

Энергияи бандиши ҳаста гуфта энергияро фаҳмидан мебояд, ки барои ба нуклонҳои алоҳида таҷзия (ҷузъ-ҷузъ) кардани ҳаста зарур аст. Дар заминаи қонуни бақои энергия инчунин метавон гуфт, ки энергияи бандиш ба энергияе баробар мебошад, ки дар натиҷаи аз нуклонҳои алоҳида таркиб ёфтани ҳаста хориҷ мегардад.

Энергияи бандиши ҳастаҳо ба ҳама бузург аст. Хуб, онро чӣ тавр муайян кардан мумкин аст?

Дар замони ҳозира, ки назарияи микродорӣ қувваҳои ҳастаӣ мукамал нест, ба таври назарӣ ҳисоб кардани энергияи бандиш (мисли он ки энергияи бандиши электронҳоро ҳаста ёфта мешавад) бас душвор аст. Бо вучуди ин, ҳисобҳои тақрибӣ имконпазиранд, ба шарте ки массаи ҳаста камубеш дақиқ муайян бошад. Он гоҳ дар сурати истифода кардани таносуби эйнштейнии байни масса ва энергия, яъне

$$E = mc^2 \quad (10.4)$$

энергияи бандиши ҳар гуна ҳастаҳо ёфтани (ба маънои баҳодод кардан) имконпазир ва осон аст.

Дақиқтарин санҷишҳои массаи ҳастаҳо нишон медиҳад, ки *массаи оромии ҳаста M_x назар ба ҷамъи массаҳои оромии протонҳоро нейтронҳои таркибдиҳандаи он ҳамеша кам аст:*

$$M_x < Zm_p + Nm_n \quad (10.5)$$

Дар ин маврид, чунонки мегӯянд, камомати масса вучуд дорад: фарқи массаҳои $\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_x$ мусбат мебошад. Аз ҷумла барои ҳелий ${}^4\text{He}$ массаи ҳаста назар ба массаи ду протону ду нейтрон ба қадри 0,75% кам аст. Пас, барои як мол ҳелий $\Delta M = 0,03$ г хоҳад буд.

Кам шудани масса гоҳи аз протонҳоро нейтронҳо ташкил ёфтани ҳаста он гуна маънӣ дорад, ки дар ин маврид энергияи ин

манзумаи нуклонҳо ба қадри энергияи бандиш E_6 кам мешавад, яъне:

$$E_6 = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_x) c^2 \quad (10.6)$$

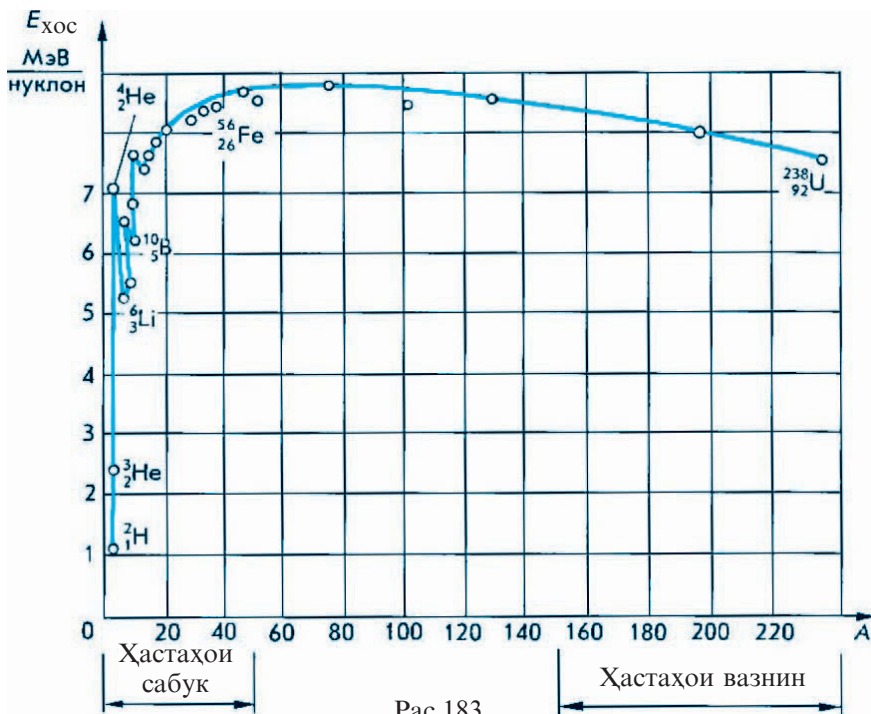
хоҳад буд. Аммо энергияи E_6 ё массаи ΔM дар ин сурат қучо мешаванд?

Дар мавриди аз нуклонҳо ташкил ёфтани ҳаста ба сабаби танҳо дар масофаҳои кӯтоҳ вучуд доштани қувваҳои ҳастай ин зарраҳо бо шитоби хеле зиёд сӯйи якдигар меоянд. Гамма-квантҳои дар ин маврид хориҷшаванда соҳиби энергияи маҳз E_6 ва ин миқдор масса мешаванд:

$$\Delta M = \frac{E_6}{c^2}.$$

Дар бораи он ки энергияи бандиш бағоят бузург аст, мисоли зайл шаҳодат медиҳад: аз ташаккули 4 г ҳелий он қадр энергия ҷудо мешавад, ки хангоми сӯختани 1,5–2 вагон ангиштсанг хориҷ мегардад.

Маълумоти бисе муҳим дар бораи хосиятҳои ҳастаҳо аз таҳқиқи вобастагии энергияи бандиши хос ё, хубтараш, энергияи бандиши



вежа (энергияи бандише, ки ба сари як зарраи ҳастай рост меояд) ба адади массавӣ A ба даст меояд. Онро бо роҳи таҷрибавӣ муайян мекунам.

Аз рас.183 ба хубӣ аён аст, ки сарфи назар аз ҳастаҳои сабуктарин энергияи бандиши хос барои аксари кулли ҳастаҳо тақрибан доимӣ ва баробари 8 МэВ/нуклон мебошад. Ин аз энергияи бандиши электрону ҳастаи ҳидроген, ки ба энергияи иониш (ионизатсия) баробар аст, қариб миллион бор зиёд аст.

Ҳатти қачи дар ин расм тасвиршуда дар соҳаи ададҳои массивии $A = 50-60$, яъне дар соҳаи оҳан ва унсурҳои ба он наздик максимуми норавшане дорад. Энергияи бандиши хоси баъзе ҳастаҳои ин соҳа ба $8,5-8,6 \text{ МэВ/нуклон}$ мерасад. Ҳастаҳои атомҳои ин соҳа пойдортаринанд.

Энергияи бандиши хоси як нуклони ҳастаҳои вазнин бо зиёд шудани адади нуклонҳо A аз он сабаб кам мешавад, ки баробари зиёд шудани адади нуклонҳо адади протонҳои ҳаста низ меафзояд – дар натиҷа қувваҳои талахӯрди кулонии байни протонҳо афзуда, энергияи бандишро кам мекунам, зеро қувваҳои кулонӣ зидди қувваҳои ҳастай равоананд ва ҳастаро майли пора кардан доранд.



Нуклонҳо андаруни ҳастаи атом ба воситаи қувваҳои нурзӯри ҳастай алоқаманданд. Энергияи бандиши хоси як зарраи ҳастаиро аз рӯйи камомади массаи ҳаста ёфтан мумкин аст.



1. *Энергияи бандиши ҳаста чӣ гуна энергия аст?*
2. *Сабаб чист, ки ҳастаи мис пойдор аст ҳастаи уран – нопойдор?*

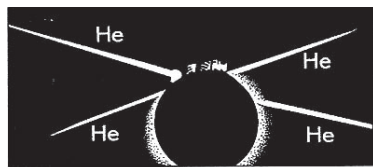
§84. Вокунишҳои ҳастай

Ҳастаҳои атомӣ дар натиҷаи таъсироти мутақобил қардан табдил ёфта метавонанд. Дар ин гуна табдилот энергияи кинетикии зарраҳои вокунишкунанда кам ё зиёд шуда метавонад.

Вокуниши ҳастай гуфта тағйиротеро мефаҳманд, ки дар таъсироти мутақобили онҳо бо зарраҳо ё бо ҳастаҳои дигар рӯй мебахсад. Мисолҳои вокунишҳои ҳастаиро шумо дар §82 дида будед.

Вокунишҳои ҳастай он гоҳ рӯй медиҳанд, ки зарраҳо ба ҳаста хеле наздик рафта, ба доираи таъсири қувваҳои ҳастай даромада тавонанд. Зарраҳои соҳиби барқои яхела аз ҳамдигар тела меҳӯранд. Аз ин рӯ зарраи дорои барқои мусбат ба ҳаста ё як ҳаста ба ҳастаи дигар дар сурате наздик рафта метавонанд, ки ба онҳо энергияи кинетикии зиёде бахшида шуда бошад. Ин гуна энергияро, масалан, ба протонҳо ё зарраҳои дигар ё ба ҳастаҳои сабук ба воситаи суръатфизоҳои зарраҳои барқаманд бахшидан мумкин аст. Ин усули шитоб бахшидани зарраҳо назар ба истифодаи алфа-зарраҳои афкандаи ҳастаҳои радиоактиви изотопҳои табиӣ пурсамартар аст. Дарвоқеъ, бо ёрии суръатфизоҳо ин зарраҳоро энергияе (тақрибан 10^5 МэВ) бахшидан имконпазир аст, ки он назар ба энергияи алфа-зарраҳо (ба ҷавраш 9 МэВ) даҳҳо ҳазор бор зиёд аст; дигар ин ки протонҳоро низ истифода кардан мумкин аст (ин зарраҳо дар коҳишҳои радиоактивӣ зоҳир намешаванд ва ғайр аз ин, барқои протонҳо назар ба барқои алфа-зарраҳо ду бор кам аст; пас, қувваи телахӯрди онҳо аз ҳаста низ ду бор кам аст); сеюм ин ки ба воситаи суръатфизоҳо зарраҳои назар ба ҳастаи ҳелий вазнинтарро низ энергияи зиёд бахшидан мумкин аст.

Воқеъ гардондани нахустин вокуниши ҳастай бо таъсири протонҳои шитобдодаи баландэнергия с.1932 муяссар гашт. Он вақт ҳастаи литий ба ду α -зарра таҷзия карда шуд:



Рас.184.

Чунонки аз фотосурати ин зарраҳо (дар камераи Вилсон) аён аст (рас.184), ҳастаҳои ҳелий мувофиқи қонуни бақои импульс аз рӯйи як хатти рост муқобили якдигар меҷаҳанд (импульси протон назар ба импульси α -зарраҳои тавлидшаванда хеле хурд аст ва дар расм «радди по»-и протонҳо зоҳир нагардидааст).

Ҳосили энергияи вокунишҳои ҳастай. Дар вокуниши ҳастаи (*) энергияи кинетикии ҳастаҳои дар ин маврид пайдошудаи ҳелий назар ба энергияи кинетикии протони ба ҳастаи литий зананда ба қадри 7,3 МэВ зиёд аст. Гоҳи табдил ёфтани ҳастаҳо энергияи дохилии онҳо (энергияи бандиш) тағйир меёбад. Дар вокуниши мисолшуда энергияи бандиши хоси нуклонҳо дар ҳастаи ҳелий назар ба ҳастаи литий зиёд аст. Бинобар ин қисми энергияи дохилии

ҳастаи литий ба энергияи кинетикии α -зарраҳои ҳосилшаванда табдил меёбад.

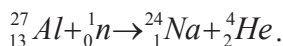
Тағйир ёфтани энергияи бандиши ҳастаҳои нишони он аст, ки энергияи оромиши натиҷавии зарраҳои ҳастаҳои вокунишкунанда бетағйир намоёнад. Дарвоқеъ, энергияи оромиши ҳастаи $M_x c^2$ мувофиқи формулаи (10.6) бевосита бо энергияи бандиш ифода карда шудааст. *Мувофиқи қонуни бақои энергия тағйироти энергияи кинетикӣ дар ҷараёни вокуниши ҳастаӣ ба тағйироти энергияи оромиши зарраҳои ҳастаҳои вокунишкунанда баробар мебошад.*

Ҳосили энергияи вокуниши ҳастаӣ ба фарқи энергияҳои оромиши ҳастаҳои зарраҳо то ва баъди вокуниш баробар аст. Мувофиқи гуфтаҳои пешинаи мо ҳосили энергияи вокуниши ҳастаӣ инчунин ба тағйироти энергияи кинетикии зарраҳои вокунишкунанда баробар мебошад.

Агар энергияи кинетикии зарраҳои ҳастаҳои баъди вокуниш назар ба энергияи кинетикии то вокуниш доштаи онҳо зиёд бошад, дар натиҷаи вокуниш ин ё он миқдор энергия хориҷ мегардад. Дар акси ҳол барои воқеи гардондани вокуниш энергия сарф кардан лозим меояд – ба иборати дигар, дар ин маврид вокуниш дар натиҷаи фуру бурдани ин ё он миқдори энергия рӯй дода метавонад. Дар сурати алфаброн кардани ҳастаҳои нитроген (ниг. §81) маҳз ҳамин гуна вокуниш рӯй медиҳад. Дар ҷараёни ин вокуниш як қисми энергияи кинетикӣ (тақрибан 1,2 МэВ) ба энергияи дохилии ҳастаи маҳсул (ҳастае, ки дар натиҷаи вокуниш ҳосил мешавад) табдил меёбад.

Энергияи дар натиҷаи вокуниши ҳастаӣ хориҷшаванда хеле зиёд буда метавонад. Вале онро бо роҳи бо ҳастаҳои таркиби ин ё он ҳадафи беҳаракат бархӯрд додани зарраҳо ё ҳастаҳои шитобгирифта истифода кардан амалан бефоид аст, зеро аксари кулли зарраҳои шитобдида ба ҳастаи ҳадаф норасида, аз паҳлуи он гузашта мераванд.

Вокунишҳои ҳастаӣ бо иштироки нейтронҳо. Кашфи нейтрон дар роҳи таҳқиқи вокунишҳои ҳастаӣ табодулотии куллии ворид сохт. Нейтрон барқа надорад ва, аз ин рӯ, ба ҳастаи ҳар гуна атом озодона даромада, дар он ҳар гуна тағйирот ба вучуд оварда метавонад. Чунончи, ин гуна вокуниш имконпазир аст:



Физикдони бузурги итолийёй Э. Фермӣ нахустин муҳаққиқи вокунишҳои нейтронӣ буд. Ӯ ошкор сохт, ки табилооти ҳастаиро на танҳо нейтронҳои баландэнергия, балки нейтронҳои сустҳаракат низ воқеъ гардонда метавонанд. Зимнан, нейтронҳои сустҳаракат дар аксари мавридҳо назар ба нейтронҳои баландэнергия (ё чунонки мегӯянд, нейтронҳои сареъ) ҳатто пурсамартаранд. Аз ин рӯ, дар баъзе мавридҳо нейтронҳои сареъро суст кардан зарур меояд. Онҳоро то энергияҳои ҳароратӣ (яъне нейтронҳои энергияшон мутобиқи энергияи ҳаракати ҳароратӣ барои ҳарорати ҳона, яъне 300 К) дар оби муқаррарӣ суст кардан осон аст, зеро об дорои адади зиёди ҳастаҳои ҳидроген – протонҳост; массаи протон ба массаи нейтрон қариб баробар аст; ин ҷиҳат аз он рӯ муҳим аст, ки дар бархӯрди зарраҳои баробармасса додугирифтӣ пурсамартарини энергияи кинетикӣ рӯй медиҳад: дар бархӯрди марказии нейтрон бо протони қарор тамоми энергияи кинетикии нейтрон ба протон дода мешавад.



Вокунишҳои бо иштироки ҳастаҳои атомӣ рӯйдиханда ба се гуногунанд. Ҳастаҳо нейтронҳоро аз худ намеронанд (тела намедиҳанд) ва, аз ин рӯ, нейтронҳо ба даруни ҳастаҳо озодона даромада, табилооти гуногун ба вучуд оварда метавонанд.

1. *Рас.183-ро бодикқат муоина карда, бигӯед, ки чаро вокуниши ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ бе фурӯбурди энергия на танҳо рӯй дода метавонад, балки боз миқдори муайяни энергия хориҷ мегардонад.*
2. *Ҳосили энергияи вокуниши ҳастаӣ чист?*
3. *Тафовути вокунишҳои нейтронӣ аз вокунишҳои, ки бо таъсири зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) рӯй медиҳанд, дар чист?*

§85. Пора шудани ҳастаҳои уран

Падидаи пора (ё худ 2-3 тақсим) шудан хоси танҳо баъзе ҳастаҳои вазнин аст. Гоҳи пора шудани ҳар як ҳаста ду-се нейтрон ва чанд гамма-квант афканда мешавад ва энергияи зиёде хориҷ мегардад.

Кашфи падидаи пора шудани уран. Порашуди ҳастаҳои уранро с.1938 олимони олмонӣ О.Ҳан ва Ф.Штрассман кашф кардаанд.

Онҳо собит карданд, ки дар сурати нейтронборон кардани уран унсурҳои қисми миёнаи чадвали даврӣ – барий, криптон, лантан ва ғ. ҳосил мешаванд. Аммо шарҳи дурусти ин падида маҳз чун падидаи пора шудани ҳастаи уран аввали с.1939 ба олими инглис О.Фриш ҳамроҳи олими австриягӣ Л.Мейтнер муяссар гаштааст.

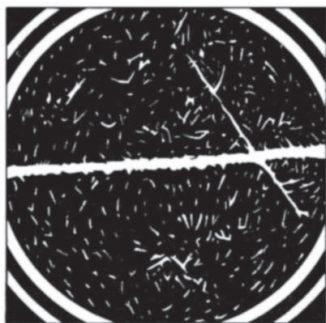
Пора шудани ҳастаи вазнин аз он сабаб имконпазир аст, ки массаи оромиши ин гуна ҳаста (ҳастаи вазнин) назар ба ҷамъи массаҳои оромиши ҳастапораҳои ҳосилшаванда зиёд мебошад. Аз ин рӯ, энергияе хориҷ мегардад, ки ба миқдори дар натиҷаи порашуд костаи массаи оромиш баробар (муодил) аст. Аммо дар ин маврид массаи пурра бобақо аст; ҳастапораҳо баробари ба вучуд омадан бо суръатҳои баланд ҳаракат мекунанд ва назар ба ҳолати оромиши худ массаи бештар доранд.

Имкони порашуди ҳастаҳои вазнинро инчунин бо ёрии ҳатти қачи вобастагии энергияи бандиши ҳоси як нуклон ба адади массавӣ A (ниг. рас.183) шарҳ додан осон аст. Энергияи бандиши ҳоси ҳастаҳои атомҳои охири чадвали даврӣ ($A \approx 200$) назар ба ҳамин гуна энергияи ҳастаҳои миёнаи системаи даврӣ ($A \approx 100$) тақрибан 1 МэВ камтар мебошад. Аз ин рӯ падидаи ба ҳастаҳои миёнамасса тақсим шудани ҳастаи вазнин «аз ҷиҳати энергӣ бо-сарфа» аст. Ҳаста пас аз пора шудан ба ҳолате мегузарад, ки дар он энергияи камтарин бигирад. Дарвоқеъ, ҳар қадре ки энергияи бандиши ҳаста зиёдтар бошад, дар ташаккули он бояд энергияи ҳамон қадр бештар хориҷ шавад ва аз ин рӯ, энергияи дохилии ҳастаи навташқил бояд ҳамон қадр камтар шавад.

Дар натиҷаи пора шудани ҳаста энергияи бандиши ба сари як нуклон ростоянда тақрибан 1 МэВ меафзояд. Пас, энергияи умумии дар ин маврид хориҷшаванда бояд хеле зиёд – тақрибан 200 МэВ бошад. Дар ҳеҷ воқуниши дигари ҳастаӣ (воқунишҳои бо падидаи порашуд ноалоқаманд) ин миқдор энергияи зиёд хориҷ намегардад.

Санҷиши бевоситаи энергияи дар натиҷаи пора шудани ҳастаи ${}_{92}^{235}\text{U}$ хориҷшаванда нишон дод, ки дар ин сурат воқеан, энергияи баробар ба ≈ 200 МэВ хориҷ мегардад ва қисми зиёди ин энергия (тақрибан 168 МэВ)-ро ҳастапораҳо дар шакли энергияи кинетикӣ бо худ мебаранд.

Дар рас.185 «радди по»-и ҳастаҳои порашудаи уран (дар камераи Вилсон) тасвир ёфтааст.



Рас.185.

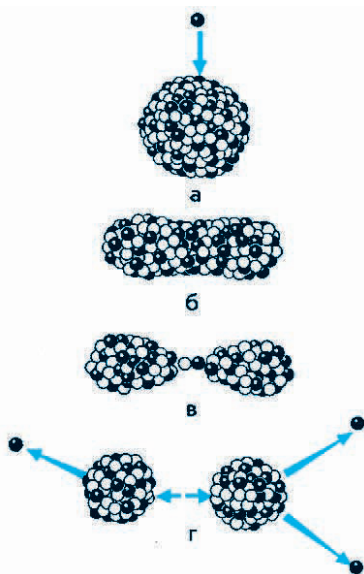
Энергияе, ки дар натиҷаи пора шудани ҳастаҳо хорич мегардад, табиати электростатикӣ дорад, на ҳастай. Энергияи кинетикии бағоят зиёде, ки ҳастапораҳо соҳиб мегарданд, дар натиҷаи талахӯрди кулонии онҳо пайдо мешавад.

Механизми пора шудани ҳаста. Чараёни пора шудани ҳастаро дар заминаи чакрамодели ҳаста метавон шарҳ дод. Мувофиқи ин модел лахти нуклонӣ ба чакраи моеи барқаманд монандӣ дорад

(рас.186,а). Қувваҳои ҳастаии байни нуклонҳо мисли қувваҳои дар байни молекулаҳои моеъ амалкунанда кӯтоҳтаъсиранд. Андари ҳаста дар баробари қувваҳои бузурги электростатикӣ талахӯрди байни протонҳо, ки ҳамеша ҳастаро майли пора кардан доранд, қувваҳои назар ба онҳо хеле пузӯри ҳастай низ амал мекунад, ки хосияти ҷозибавӣ доранд. Маҳз ҳамин қувваҳо ҳастаро аз вайрон шудан нигоҳ медоранд.

Ҳастаи уран-235 курашакл аст. Ин ҳаста дар натиҷаи фуру бурдани нейтрон ангехта мешавад ва тазйиқ ёфта (ё чунонки мегӯянд, деформатсия шуда), меёзад ва шакли дарозрӯ мегирад (рас. 186,б). Ёзиши ин «чакра» то даме давом мекунад, ки қувваҳои талахӯрди байни ҳиссаҳои ёзидаи он назар ба қувваҳои дар гарданаи «чакра» (рас.186,в) амалкунандаи кашиш зиёд шаванд. Баъд гарданаи чакра меканад – ҳаста ду пора мешавад (рас.186,г). Ин қисмҳо, ки ҳастапора ном гирифтаанд, бо таъсири қувваҳои кулонии талахӯрд аз якдигар бо суръати тақрибан сияки суръати рӯшноӣ дур мешаванд.

Афканиши нейтронҳо гоҳи пора шудани ҳаста. Дар чараёни пора шудани ҳаста, чунонки гуфтем, дусе нейтрон ба вучуд меояд. Ин басе



Рас.186.

муҳим аст, зеро истифодаи амалии энергияи дохилиҳастай маҳз дар ҳамин замина имконпазир гашт.

Сабаби чанд нейтрони озод афкандани ҳастаи порашаван-даро дарк кардан душвор нест. Биёед, якҷоя мулоҳиза кунем: маълум аст, ки дар ҳастаҳои устувор нисбати адади нейтронҳо бар адади протонҳо (ё худ адади нисбии нейтронҳо) бо зиёд шудани рақами атомӣ меафзояд. Бинобар ин дар ҳастапораҳо адади нисбии нейтронҳо назар ба ҳамин гуна нисбати хоси ҳастаҳои мобайнии чадвали даврӣ қадре зиёдтар меояд. Ҳамин аст, ки ҳаста гоҳи пора шудан чанд нейтрон хориҷ карда, адади нисбии нейтронҳои хурдро муътадил мегардонад. Онҳо дорои энергияҳои гуногун – аз чанд МэВ то ададҳои хеле хурди наздики сифр буда метавонанд.

Ҳастапораҳо аксаран массаи нобаробар мегиранд. Онҳо саҳт радиоактиванд, зеро чанд нейтрони зиёдтар доранд. Бинобар ин онҳо коҳиш ёфта, дар натиҷаи чанд бета-коҳиш ба изотопҳои устувор табдил меёбанд.

Ҳастаҳои уран (ва баъзе ҳастаҳои дигар) бе таъсири нейтрон, худбахуд низ пора мешаванд. Ин падидаро с.1940 олимони рус Г.Н.Флеров ва К.А.Петржак кашф кардаанд. Даври нимкоҳиши ҳастаҳои уран барои порашуди худбахуд тақрибан 10^{16} сол аст, ки ин назар ба даври нимкоҳиши онҳо бо роҳи алфафиканӣ қариб ду миллион бор тӯлонитар аст.



Пора шудани ҳастаҳои атомии унсурҳои вазнин аз он рӯ имконпазир мебошад, ки энергияи бандиши хоси ин ҳастаҳо назар ба ҳамин гуна энергияи ҳастаҳои дар натиҷаи ин падида ҳосилшаванда камтар аст.

§86. Вокунишҳои ҳастаии занҷирӣ

Дар натиҷаи пора шудани ҳар як ҳастаи уран ду-се нейтрон ба вучуд меояд. Ин имкон дод, ки вокуниши занҷириш порашуди уран амалӣ гардонда шавад.

Ҳар як нейтроне, ки аз ҳастаи порашаванда хориҷ мегардад, дар навбати худ дар ҳастаи ҳамсоя фуру рафта, онро пора карда ва аз он боз ду-се нейтрони дигар ба вучуд оварда метавонад;

нейтронҳои хоричкардаи ин ҳастаҳо ҳастаҳои дигарро пора карда метавонанд ва ғ. Дар натиҷа адади ҳастаҳои порашаванда ба се зуд меафзояд ва вокуниши занҷирӣ рӯй медиҳад.

Вокуниши ҳастаи занҷирӣ вокунишест, ки дар он зарраҳои вокунишовар (нейтронҳо) чун маҳсули худӣ ҳамин вокуниш ба вучуд меоянд.

Дар натиҷаи вокуниши ҳастаи занҷирӣ энергияи зиёде – аз ҳар ҳаста қариб 200 МэВ хорич мегардад. Дар натиҷаи пора шудани ҳама ҳастаҳои таркиби 1 г (1 гиром!) уран 23000 кВт·ст энергия хорич мешавад – ин баробари миқдори энергияест, ки гоҳи сӯхтани 3 т ангишт ё 2,5 т нафт хорич мегардад.

Аммо барои амалӣ гардондани вокуниши занҷирӣ на ҳама гуна ҳастаҳои бо таъсири нейтронҳо порашавандаро метавон истифода кард. Ба чанд сабаб аз ҳама ҳастаҳои атомҳои табиӣ танҳо ҳастаҳои атомҳои изотопи уран-235 ($^{235}_{92}U$) қобили истифода ҳастанд.

Изотопҳои уран. Урани табиӣ асосан аз ду изотоп – ^{238}U ва ^{235}U иборат аст. Изотопи ^{235}U ҳамагӣ 1/140 ҳиссаи изотопи якумро ташкил медиҳад.

Ҳастаҳои ^{235}U ҳам бо таъсири нейтронҳои сареъ (нейтронҳои баландэнергия) пора мешаваду ҳам бо таъсири нейтронҳои ҳароратӣ (онҳое, ки энергияи ҳамагӣ 0,025 эВ доранд). Вале ҳастаҳои ^{238}U танҳо бо таъсири нейтронҳои дорои энергияи камаш 1,1 МэВ пора мешаванд. Тақрибан 60%-и нейтронҳои дар ин маврид ҳосилшаванда ҳамин гуна энергия доранд. Ва тақрибан ҳар як нейтрони панҷум ҳастаи ^{238}U -ро пора мекунаду нейтронҳои боқимондаро ҳастаҳои ҳамин изотоп фуру мебаранд, вале пора намешаванд. Аз ин рӯ, дар сурати истифода кардани танҳо изотопи ^{238}U воқеъ гардондани вокуниши занҷирӣ имконпазир буда наметавонад.

Зариб (коэффициент)-и афзоиши нейтронҳо. Барои воқеъ гардидани вокуниши занҷирӣ шарт нест, ки ҳар як нейтрон як ҳастаро пора кунад. Барои ин танҳо зарур аст, ки адади миёнаи нейтронҳои дар миқдори муайяни уран пайдошуда бо мурури замон кам нашавад.

Ин шарт дар сурате риоя мешавад, ки зариби афзоиши нейтронҳо бештар аз як ё ақаллан баробари як бошад. *Зариби афзоиши нейтронҳо* гуфта нисбати адади нейтронҳои ин ё он «насли» нейтронҳоро бар адади нейтронҳои «насли» пешина мефаҳманд.

Ин чо иваз шудани наслҳои нейтронӣ маҷмӯи падидаҳои пора шуданҳоеро ифода мекунад, ки дар онҳо нейтронҳои насли куҳна фуру бурда мешаванду ба ҷойи онҳо нейтронҳои насли нав ба вучуд меоянд.

Агар зароби афзоиши нейтронҳо $k \geq 1$ бошад, адади нейтронҳо бо мурури замон меафзояд ё собит (бетағйир) мемонад ва воқуниши занҷирӣ қатъ намегардад. Барои $k < 1$ адади нейтронҳо бо мурури замон кам мешавад – дар ин сурат воқуниши занҷирӣ имконпазир буда наметавонад.

Бузургии зароби афзоиши нейтронҳо бо ҷаҳор омили зайл таъйин мешавад.

1) дар ҳастаҳои ^{235}U фуру рафтани нейтронҳои оҳиста ва пора шудани ин ҳастаҳо; дар ҳастаҳои ^{235}U ва ^{238}U фуру рафтани нейтронҳои сареъ (баландсуръат) ва пора шудани ин ҳастаҳо;

2) фуру рафтани нейтронҳо дар ҳастаҳои ^{235}U ва ^{238}U , вале пора нашудани онҳо;

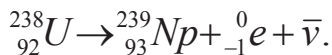
3) аз тарафи ҳастаҳои таркиби маҳсулоти порашуд, моддаи нейтроноҳистакунанда (дар бораи ин сухан дар пеш аст) ва ҷузъиёти сохтмони дастгоҳ рабуда шудани нейтронҳо, ва

4) аз моддаи порашаванда берун рафтани нейтронҳо.

Адади нейтронҳо танҳо дар натиҷаи падидаи навъи яқум меафзояд (ин асосан аз ҳисоби пора шудани ҳастаҳои ^{235}U рӯй медиҳад). Се падидаи боқимонда боиси кам шудани адади нейтронҳо мегарданд. Воқуниши занҷирӣ дар моддаи иборат аз ҳастаҳои танҳо ^{238}U , чунонки гуфтем, имконпазир нест, зеро дар ин маврид $k < 1$ мебошад (адади нейтронҳои тавлидшаванда назар ба адади нейтронҳои фурураванда кам аст).

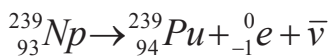
Барои ҷараёни муътадил гирифтани воқуниши занҷирӣ мебошад, ки зароби афзоиши нейтронҳо дар дараҷаи $k = 1$ нигоҳ дошта шавад. Ин баробари ба дурустӣ нигоҳ доштан зарур аст, зеро дар сурати ҳатто $k = 1,01$ шудан қариб дафъатан таркиш рӯй медиҳад.

Ҳосил шудани плутоний. Падидаи нейтронро фуру бурдан, вале пора нашудани ҳастаи ^{238}U бисёр муҳим аст. Ин равоиш боиси ба вучуд омадани изотопи радиоактиви ^{239}U мегардад, ки даври нимҷоҳишаш 23 дақ аст ва як электрон афканда, нептуний (нахустин унсури трансурани) ҳосил мекунад:



Ин чо ν рамзи *антинейтрино* ном зарраи сабукест, ки ҳамроҳи электрон ба вучуд меояд ва антизарраи нейтрино мебошад.

Нептунӣ низ устувор нест ва бо даври нимкоҳиши тақрибан 2 рӯз мекоҳад. Дар ҷараёни ин коҳиш унсури дуҷоми транс-уранӣ (яъне унсури баъдиуранӣ дар ҷадвали даврии унсурҳо) ҳосил мешавад, ки *плутоний* ном гирифтааст. Ин аст воқуниши коҳиши нептуниӣ ва пайдоиши плутоний:



Плутонӣ устувор аст ва даври нимкоҳиши 24 000 сол дорад. Ҳосияти муҳими ин изотопи плутонӣ ин аст, ки вай мисли ${}^{235}\text{U}$ бо таъсири нейтронҳои ҳароратӣ пора мешавад. Пас, плутонӣ низ чун сӯзишвории ҳастаӣ хидмат карда метавонад: дар натиҷаи воқуниши ҳастаии занҷирии плутонийӣ низ энергияи тақрибан 200 МэВ/ҳаста хориҷ мешавад.



Дар натиҷаи воқунишҳои ҳастаии занҷирӣ энергияи зиёде хориҷ мегардад. Ин гуна воқуниш ба он сабаб имконпазир аст, ки дар натиҷаи пора шудани ҳар як ҳаста беш аз як нейтрон, дақиқтар гӯем, ду-се нейтрон ба вучуд меояд (яъне адади нейтронҳои тавлидшуда назар ба адади нейтронҳои маҳвшуда зиёдтар аст). Қисми зиёди энергияи дар натиҷаи пора шудани ҳаста хориҷаиштаро дар шакли энергияи кинетикӣ ҳастапораҳо бо худ мебаранд.



1. *Зарб (коэффисент)-и афзоиши нейтронҳо ба чӣ бастагӣ дорад?*
2. *Барои воқеӣ гардондани воқуниши ҳастаии занҷирӣ кадом изотопҳо истифода мешаванд?*

§87. Реактори атомӣ

Реактори атомӣ (ё реактори ҳастаӣ) дастгоҳест, ки дар он воқуниши ҳастаии занҷирии идорапазир воқеӣ гардонида мешавад.

Ҳастаҳои уран, хусусан ҳастаҳои изотопи ${}^{235}\text{U}$, аз ҳама хубтар нейтронҳои оҳиста (нейтронҳои ҳароратӣ)-ро мерабоянд. Эҳтимоли рабоиши нейтронҳои оҳиста ва порашуди минбаъдаи ҳастаи нейтронхӯрда назар ба ҳамини нейтронҳои саръ садҳо бор

зиёд аст. Аз ин рӯ дар реакторҳои бо урани табиӣ коркунанда ба рои зиёд кардани зарби афзоиши нейтронҳо моддаҳои нейтрон-оҳистакунандаро ба кор мебаранд. Рӯйдодҳои, ки дар реактори атомӣ сурат мегиранд, дар рас. 187 тасвир ёфтаанд.

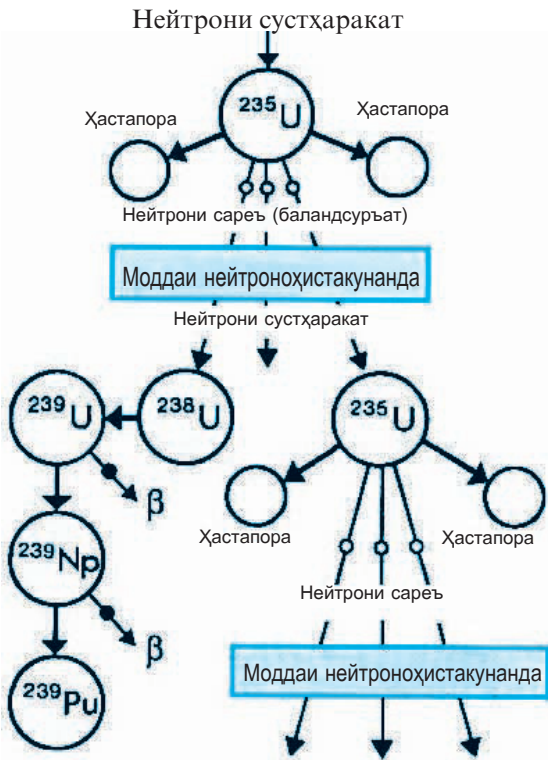
Чузъиёти асосии реактори атомӣ. Дар рас. 188 речаи дастгоҳи энергиядиҳандае омадааст, ки «дилаш» реактори атомист. Инҳоанд чузъиёти асосии реактор: сӯзишвории ҳастай (^{235}U , ^{239}Pu , ^{238}U ва ғ.), моддаи нейтрон-оҳистакунанда (*оби вазнин*, *оби муқаррарӣ*,

графит ва ғ.), моддаи ҳомили гармо барои аз кӯраи реактор (зонаи фаъоли реактор) берун баровардани гармо (*об*, *натрийи моеъ* ва ғ.) ва олати танзими суръати воқуниш (*милаҳои дорои кадмий ё бор* *ворӣ* *моддаҳои хубфурӯбарандаи нейтронҳо*).

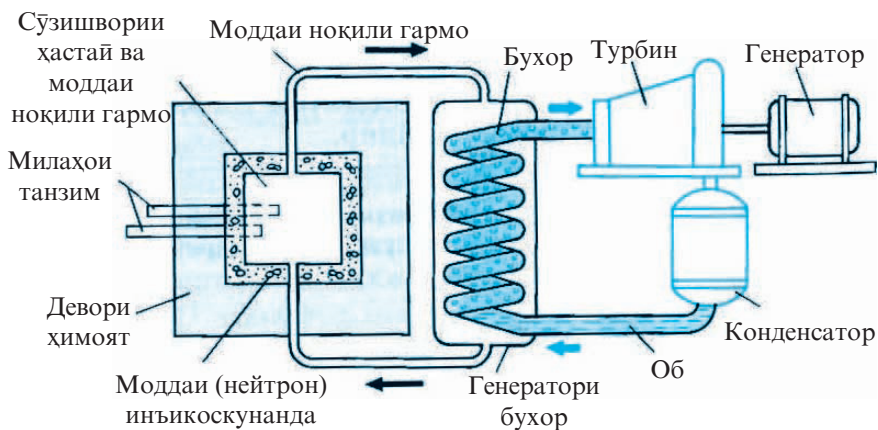
Реактор аз берун бо пӯшиши махсусе чун девори бетони баоҳан пӯшида мешавад, то ки нейтронҳоро гамма-квантҳо боздошта тавонад.

Моддаи нейтрон-оҳистакунандаи хуб *оби вазнин* аст (ниг. §80). *Оби муқаррарӣ* (*одӣ*) худ нейтронҳоро рабуда, ба *оби вазнин* табдил меёбад. Графит низ моддаи нейтрон-оҳистакунандаи хуб аст, зеро ҳастаҳои таркиби он нейтронҳоро *фурӯ* намебаранд.

Массаи бухронӣ. Зариб (*коэффисент*)-и афзоиши нейтронҳо *k* танҳо он гоҳ баробари як мешавад, ки андозаҳои реактор ва мувофиқан ба он массаи сӯзишвории ҳастай аз ҳадди муайян – андозаҳои бухронӣ ва массаи бухронӣ зиёд бошанд. Массаи



Рас.187.



Рас.188.

бухронӣ ҳамон миқдори камтарини моддаи порашаванда аст, ки ҷараён гирифтани воқуниши ҳастаии занҷирии худнигоҳдорандаро имконпазир мегардонад.

Дар сурати хурд будани андозаҳои реактор таровиши нейтронҳо аз тариқи сатҳи кӯраи реактор (зонаи фаъоли реактор, яъне ҷойе, ки дар он моддаи сӯзишвории ҳастай воқеъ аст) аз ҳад зиёд мешавад. Ба қадри зиёд кардани андозаҳои реактор адади ҳастаҳои порашаванда мутаносибан ба ҳаҷм меафзояду адади нейтронҳои тарованда – мутаносибан ба масоҳати сатҳ. Бинобар ин андозаҳои реакторро зиёд карда, зареби афзоиши нейтронҳоро ба $k=1$ расондан мумкин аст. Андозаҳои реактор дар сурате бухронӣ мебошанд, ки адади нейтронҳои дар натиҷаи рабӯиш ва таровиш гумшуда ба адади нейтронҳои дар натиҷаи пора шудани ҳастаҳои сӯзишворӣ ҳосилшуда баробар ояд. Андозаҳои бухронӣ ва мувофиқан ба он массаи бухронӣ ба навъи сӯзишвории ҳастай, ба навъи моддаи нейтроноҳистакунанда ва сохти реактор бастагӣ доранд.

Барои порчаи курашакли урани тозаи ^{235}U массаи бухронӣ (бе моддаи нейтроноҳистакунанда) қариб 50 кг аст. Дар ин сурат радиуси кура бояд тақрибан 9 см бошад (зичии уран $19,1 \text{ г/см}^3$ аст). Истифодаи моддаи нейтроноҳистакунанда ва пӯшиши нейтроинъикоскунандаи бериллий имкон медиҳад, ки массаи бухронӣ то ба 250 г оварда шавад.

Кори реактор ба воситаи милаҳои бақадмий ё бабор (милаҳои дорой унсурҳои кимиёии кадмий ё бор) идора карда мешавад. Агар милаҳо аз кӯраи реактор берун кашида шаванд, $k > 1$ ме-

шаваду агар онҳо ба даруни кӯра дароварда шаванд, $k < 1$ меояд, яъне милаҳоро ба даруни кӯраи реактор дароварда, дар ҳар лаҳза вокуниши занчириро қатъ гардондан мумкин аст. Реактор ба воқитаи компютер аз дур идора карда мешавад.

Реактори саръейтрон. Реакторҳое ҳам сохта шудаанд, ки бе моддаи нейтроноҳистакунанда ва бо нейтронҳои саръе (нейтронҳои баландсуръат) амал мекунанд. Эҳтимоли бо таъсири нейтронҳои саръе пора шудани ҳаста кам аст. Ҳамин аст, ки реактори саръейтрон (реактори мутобиқ ба истеъмоли нейтронҳои баландэнергия) бо истифодаи урани табиӣ кор намекунад.

Вокуниш дар ин гуна реактор он гоҳ занчири мешавад, ки урани истифодашаванда камаш 15% изотопи ^{235}U дошта бошад. Бартарии реактори саръейтрон ин аст, ки гоҳи кор кардани он ба миқдори зиёд плутоний (яъне моддаи нави сӯзишвории ҳастай) ҳосил мешавад ва ҳосиятҳои ҳастаи он ба ҳамин гуна ҳосиятҳои ^{235}U хеле наздиканд. Ин гуна реакторро *реактори бозтавлидӣ* меноманд, зеро дар он моддаи порашаванда тавлид меёбад. Реакторҳое бунёд ёфта истодаанд, ки зариви бозтавлиди онҳо ба 1,5 мерасад, яъне дар онҳо дар натиҷаи «сӯхтан»-и 1 кг ^{235}U то 1,5 кг плутоний ҳосил мешавад, ҳол он ки дар реакторҳои одӣ зариви бозтавлид ҳамагӣ 0,6–0,7 аст.

Нахустин реакторҳои атомӣ. Вокуниши ҳастаи занчирии пора шудани уран бори нахуст 22 декабри соли 1942 дар ШМА таҳти роҳбарии Э.Фермӣ амалӣ гардонида шудааст.

Дар Русия нахустин реактори атомӣ 26 декабри соли 1946 таҳти роҳбарии олими шуҳратманд И.В.Курчатов ба кор дароварда шуда буд.



Дар кӯраи реактор (зонаи фаъоли реактор) гайр аз сӯзишвории ҳастай боз моддаи нейтроноҳистакунанда ва милаҳои танзими кори реактор ҷой дода мешаванд. Энергияи дар кӯраи реактор ҳосилшавандаро ба воқитаи моддаи ноқили гармо берун мебароранд.



1. *Массаи бухронӣ чист?*
2. *Истифодаи моддаи нейтроноҳистакунанда дар реактори атомӣ чӣ зарурат дорад?*
3. *(Иловаи тарҷумон) Реактори саръейтрон дар баробари реактори атомии одӣ чӣ бартарӣ дорад?*

§88. Вокунишҳои гармоҳастай (термоҳастай)

Як шудани ҳастаҳои сабук боиси хориҷ гардидани энергияи зиёде мегардад.

Массаи оромиши ҳастаи уран-235 назар ба ҷамъи массаҳои оромиши ҳастапораҳои ҳосилшаванда бештар аст. Аммо барои ҳастаҳои сабук қор ранги тамоман дигар дорад. Чунончи, массаи оромиши ҳастаи ҳелий назар ба ҷамъи массаҳои оромиши ду ҳастаи дейтерий (ки онҳоро ҷузъҳои таркибии ҳастаи ҳелий пиндоштан мумкин аст) қадре кам аст.

Ин он гуна маънӣ дорад, ки дар сурати як шудани ҳастаҳои сабук массаи оромиш кам мешавад ва, пас, дар ин маврид бояд энергияи зиёде хориҷ гардад. Ин навъ вокунишҳои як шудани ҳастаҳои сабук *вокунишҳои гармоҳастай* ном гирифтаанд, зеро онҳо танҳо дар ҳароратҳои баланд рӯй медиҳанд.

Вокуниши гармоҳастай як шудани ҳастаҳои сабук дар ҳароратҳои бисёр баланд аст.

Барои як шудани ду ҳаста зарур аст, ки онҳо ба якдигар то масофаҳои тақрибан 10^{-12} см наздик карда шаванд, яъне ба соҳаи зухуроти қувваҳои ҳастай дароянд. Телахӯрди кулонии ҳастаҳо аз якдигар монеи ин наздиқӣ мегардад. Ин талахӯрдро дар натиҷаи, масалан, зиёд кардани энергияи кинетикии ҳаракати ҳарорати ҳастаҳо метавон баргараф сохт.

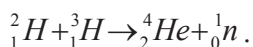
Энергияи дар вокуниши гармоҳастай ба сари ҳар як нуклон ҷудошаванда назар ба энергияи ҳосил дар вокуниши занҷирӣ ҷудошаванда зиёд аст. Чунончи, дар сурати як шудани дейтрон (ҳастаи изотопи вазнини ҳидроген – дейтерий) ва тритон (ҳастаи изотопи абарвазнини ҳидроген – тритий) ба сари ҳар нуклон тақрибан 3,5 МэВ ҷудо мешавад, ҳол он ки ҳамин гуна энергия барои вокуниши занҷирӣ уран ҳамагӣ 0,8 МэВ/нуклон аст.

Вокунишҳои гармоҳастай дар тақомули тадриҷии Коинот роли муҳим доранд. Энергияи тобиши Офтобу ситораҳо табиати гармоҳастай дорад. Аз нигоҳи физикаи муосир ситора дар марҳалаи ибтидоии инкишоф асосан аз ҳидроген иборат мебошад. Ҳарорати даруни ситора ба дараҷае баланд аст, ки рӯй додани вокунишҳои гармоҳастаиро имконпазир мегардонад – ҳамин аст, ки андаруни ситора протонҳо як шуда, ҳастаи ҳелий ҳосил карда

метавонанд. Баъд, дар натиҷаи як шудани ҳастаҳои хелий унсурҳои вазнинтар низ ба вучуд меоянд.

Вокунишҳои гармоҳастай дар тақомули унсурҳои кимиёӣ дар Коинот роли ҳалқунанда доранд. Ин вокунишҳо он қадри энергия хориҷ мегардонанд, ки он ситораҳоро миллиардҳо сол тобон медорад.

Амали гардонидани вокунишҳои гармоҳастаи идорашаванда дар шароити Замин инсониятро манбаи амалан бепоёни энергия хоҳад дод. Аз ин ҷиҳат вокуниши умедбахштарин вокуниши як шудани ҳастаҳои атомҳои изотопҳои ҳидроген – дейтрон ва тритон аст:



Дар натиҷаи ин вокуниш энергияи бағоят зиёд – 17,6 МэВ хориҷ мегардад. Азбаски тритий дар табиат вучуд надорад, вай бояд дар ҳуди реактори гармоҳастай аз литий ҳосил шавад.

Чунонки ҳисобукитоб нишон медиҳад, вокуниш дар сурате босарфа хоҳад буд, ки маводи вокуниш ҳарорати садҳо миллион келвин ва зичии на камтар аз 10^{14} – 10^{15} зарра дар 1 см^3 дошта бошад. Ин гуна ҳароратҳоро усулан дар натиҷаи дар плазма ба вучуд овардани пардаҳт (тахлия, разряд)-и электрикии пурзӯр воқеӣ гардондан имкон дорад. Ин ҷо душвории асосӣ дар тӯли 0,1–1 с нигоҳ дошта тавонистани плазмаи баландҳарорат аст.

Барои ин ҳеҷ гуна «зарфи» моддӣ қор намеояд, зеро дар ин гуна ҳарорат деворҳои он дафъатан бухор мешаванд. Усули ягонаи имконпазир усули дар ҳаҷми маҳдуд ба воситаи майдонҳои магнитии шадид нигоҳ доштани плазма мебошад. Аммо ҳалли ин масъала ба сабаби нопадид будани плазма то ҳол муяссар нагардидааст. Нопадидии плазма боиси он мегардад, ки қисме аз зарраҳои он дар натиҷаи диффуз аз «деворҳои» магнитӣ берун мезаҳад.

Имрӯз хушбинона метавон умед баст, ки дер ё зуд реакторҳои гармоҳастай мавриди истифода қарор мегиранд. Муҳаққиқони кунунӣ дар роҳи ба даст гирифтани «лаҷом»-и вокунишҳои гармоҳастай қомебиҳо бисёр доранд. Ин гуна тадқиқот тахти раҳбарии Л.Арсимович ва М.Леонтович оғоз ёфтааст ва ҳоло ба кӯшиши шогирдони онҳо идома дорад.

Ҳоло бошад, танҳо ҳамин муяссар гаштааст, ки вокуниши як-шуд (синтез)-и идоранопазири таркишсон дар бомбаи ҳидрогенӣ (бомбаи гармоҳастай) амалӣ гардонида шудааст.



Воқеӣ гардондани вокунишҳои гармоҳастаи идороназир ҳалли масъалаи бо гармо (кормоя, энергия) таъмин кардани инсониятро равшан месозад. Вале вокунишҳои гармоҳастаи идоранопазир (дар бомбаҳои ҳидрогенӣ), марғи инсониятро боис гардида метавонанд. Худо нишон надиҳад!



1. *Сабаб чист, ки як шудани ҳастаҳои сабук танҳо дар ҳароратҳои абарбаланд имконпазир буда метавонад?*
2. *Ҳам дар натиҷаи пора шудани як ҳастаи вазнин ва ҳам дар натиҷаи як шудани ду ҳастаи сабук энергия хориҷ мегардад. Шумо инро чӣ шарҳ медиҳед?*

§89. Татбиқи энергияи атомӣ

Энергияи ҳастаи атом ба мақсадҳои нек бори аввал дар Русия истифода шудааст: соли 1954 дар ш. Обнинск неругоҳи атомии барқ (НАБ) бо иқтидори 5 000 кВт ба кор даромад. Гармои дар реактор ҷудошаванда барои ба ҳаракат даровардани турбини бухорӣ истифода мешавад.

Рушди энергетикаи атомӣ. Неругоҳҳои атомии Нововоронеж, Санкт-Петербург, Курск, Чернобил ва ғ. низ ҳамин тавр амал мекунанд. Реакторҳои ин неругоҳҳо тавони 500–1000 МВт доранд.

Неругоҳҳои атомӣ пеш аз ҳама дар қисми аврупоии мамлакат сохта мешаванд. Ин бо он алоқаманд аст, ки дар қисми ғарбии мамлакат неругоҳҳои атомӣ назар ба неругоҳҳои ҳароратӣ (ки моддаҳои органикӣ месӯзанд) ғоидаовартаанд. Реакторҳои атомӣ сӯзишвории органикиро, ки торафт камчинтар шуда истодааст, истифода намеkunанд ва роҳи оҳанро бо вагонҳои пури ангишт банд намеkunанд, оксигени ҳаворо «намеҳӯранд» ва ҳаворо хокистаролуд намеkunанд. Аммо дар маҳалҳои серодам ҷой додани неругоҳҳои атомӣ хавфи бузурге дар худ ниҳон дорад. Реактори ҳароратинейтрон танҳо 1-2 дарсади урани истифодашаван-

Фермӣ Энрико (1901-54) - физикдони итолиёӣ, ки дар инкишоф додани физикаи назарӣ ва таҷрибавӣ сахми зиёд дорад. Соли 1938 ӯ ба ШМА фирор кардааст. Фермӣ дар як вақт бо Дирак назарияи квантии омӯрӣ (статистикӣ)-и электрон ва зарраҳои дигарро офарид, ки он омӯри Фермӣ – Дирак (ё статистикаи Фермӣ – Дирак) ном гирифтааст. Ӯ назарияи миқдории бета-коҳиширо низ бунёд кардааст, ки онро нахустназарияи таъсири мутақобили зарраҳои бунёди пиндоштан мумкин аст. Фермӣ дар соҳаи омӯзиши физикаи нейтрон чанд кашфиёт дорад.

Тахти роҳбарии Фермӣ с.1942 бори нахуст воқуниши ҳастаии идорашаванда амалӣ гардонда шуд.



даро «месӯзонад». Истифодаи пурраи сӯзишвории ҳастай дар реакторҳои сареънейтрон имконпазир аст (ин навъи реакторҳо дар шакли плутоний сӯзишвории нав низ истеҳсол мекунанд). Соли 1980 дар неругоҳи атомии Белоярск нахустин дар ҷаҳон реактори сареънейтрон бо тавони 600 МВт ба кор андохта шуд.

Энергетикаи атомӣ низ мисли бисёр соҳаҳои дигари саноат барои муҳити атроф хавфу хатар дорад, ки номатлубтарини он ғажии радиоактивист. Масъалаи «дафн»-и партовҳои радиоактивӣ ва аз ҳам чидани неругоҳҳои аз кор афтода мушкилоти зиёде пеш меёрад.

НАБ (неругоҳи атомии барқ) тавре бунёд мешавад, ки барои кормандон ва аҳолии атроф то ҷойе, ки имкон дорад, бе-хавф бошад. Таҷрибаи истифодаи НАБҳо дар тамоми ҷаҳон нишон медиҳад, ки муҳити зист аз хавфи ғажидҳои радиоактивии муассисаҳои энергетикаи атомӣ эмин мемонад, ба шарте ки онҳо бо режими муътадил амал кунанд. Аммо таркиши блоки ҷаҳоруми НАБ-и Чернобил нишон дод, ки дар сохтмони реакторҳои атомӣ ва истифодаи онҳо безъятиной қардан ҷӣ бадбахтиҳо пеш оварда метавонад.

Реакторҳои атомӣ дар киштиҳои яхшикан ва киштиҳои зерӣ-обӣ низ истифода мешаванд.

Силоҳи атомӣ (силоҳи ҳастай). Воқуниши занҷирии идоранопазир дар бомбаи атомӣ воқеӣ гардонда шудааст ва дар ин маврид зариб (коэффисент)-и афзоиши нейтронҳо бисе бузург мебошад.

Барои он ки адади ҳарчи бештари ҳастаҳои уран якбора энергия хориҷ кунанд, яъне барои он ки таркиш рӯй диҳад, нейтронҳои сареъ (баландэнергия)-ро бе моддаҳои нейтроноҳистакунанда истифода қардан меояд. Дар бомбаи атомӣ ба сифати моддаи



Курчатов Игор Васильевич (1903-60) - физикдони рус. Курчатов аз с.1943 сарвари тадқиқоти атомӣ буд. Таҳти роҳбарии ӯ нахустин реактори атомии Аврупо (1946) ва нахустин бомбаи атомии шӯравӣ (1949) сохта шудааст. Курчатов пеш аз он ки бо сохтмони реактори атомӣ машғул гашт, хосиятҳои диэлектрикҳо (сегнетоэлектрикҳо), вокунишҳои бо таъсири нейтронҳо рӯйдиханда, радиоактивияти сунъӣ ва ғ.-ро тадқиқ мекард. Кашфи ҳолатҳои ангеҳтаи нисбатан дарозумри ҳастаҳо (ё, чи навъе ки мегӯянд, изомерияи ҳастай) низ бо номи Курчатов алоқаманд мебошад.

тарканда урани ^{235}U -и тоза ё плутонийи ^{238}Pu -и тоза истифода мешавад.

Барои воқеӣ гардондани таркиш шароите фароҳам овардан мебояд, ки андозаҳои маводи тарканда аз андозаҳои бухронӣ зиёд бошад. Барои ин ё ду порчаи андозаҳошон тобухронии маводи таркандаро зуд якҷо мекунанд ё як порчаро якбора то андозаҳои мефишоранд, ки таровиши нейтронҳо аз сатҳи хурдшудаи он бағоят кам шавад, он кадр кам шавад, ки андозаҳои порча абарбухронӣ шаванд. Ҳарду тарзро бо ёрии моддаҳои тарканди муқаррарӣ амалӣ мегардонанд.

Дар натиҷаи таркиши бомба ҳарорат то ба даҳҳо миллион келвин мерасад. Ин афзоиши ҳарорат боиси бағоят зиёд шудани фишор ва пайдоиши мавҷи пурзӯри таркиш мегардад. Дар айни ҳол тобиши шадиде низ рӯй медиҳад. Маҳсулоти вокуниши занҷирии чараёни таркиш саҳт радиоактиванд ва барои мавҷудоти зинда хавфи зиёд доранд.

Бомбаҳои атомиро ИМА дар охири ҷанги дуҷуми ҷаҳон бар зидди Ҷопон (Япония) истифода карданд. ИМА с.1945 дар шаҳрҳои Нагасаки ва Хиросимаи Ҷопон бомбаи атомӣ тарканданд. Ин амалиёти нобуд сохтани одамон ҳеҷ гуна зарурати ҳарбӣ надошт, зеро он вақт дар таслим шудани Ҷопон шакке набуд.

Дар бомбаи ҳидрогенӣ (гармоҳастай) ба сифати манбаи ҳарорати баланд (ки барои як кардани ҳастаҳо зарур мебошад) бомбаи атомии урани ё плутонийиеро ба кор мебаранд, ки андаруни бомбаи ҳидрогенӣ ҷой дода мешавад. Имкони техникаи зиёд кардани энергияи таркиши ин навъ бомбаҳо маҳдуд нест. Ғояҳои асосии таркиши гармоҳастаиро баъди ҷанги дуҷуми ҷаҳонӣ А.Сахаров ба майдони истифода овардааст.

Ҳаминро низ бояд хотирнишон кунем, ки чанги ҳастай кардан баробари худкушист. Бинобар ин мебояд, ки чи соҳибони силоҳи атомӣ ва чи мамлакатҳои бисилоҳ барои манъу маҳв кардани воситаҳои атомии қатли ом бо қатъияти тамом ҷадал дошта бошанд.

§90. Ҳосил кардани изотопҳои радиоактив ва корбурди онҳо

Изотопҳои радиоактив дар саноат (индустрия)-и атомӣ ҳарчи бештар корбаст шуда истодаанд.

Унсурҳои кимиёе, ки дар табиат вучуд надоранд. Бо ёрии реакторҳои атомӣ изотопҳои радиоактиви ҳама унсурҳои кимиёеро, ки дар табиат дар шакли пойдор (устувор) мавҷуданд, ҳосил кардан имконпазир аст. Унсурҳои рақами атомиашон $Z = 43, 61, 85$ ва 87 изотопи устувор надоранд. Чунончи, дарозумртарин изотопи унсури 43-ум (технетсий) даври нимкоҳиши $2,6 \cdot 10^6$ сол дорад (^{97}Tc), ки ин назар ба синни геологии Замин ($4,6 \cdot 10^9$ сол) қариб 1800 бор кӯтоҳтар мебошад – ҳамин аст, ки технетсий дар моддаи Замин боқӣ намондааст ва дучор намеояд.

Дар натиҷаи вокунишҳои ҳастай унсурҳои трансурани (унсурҳои баъдиурани) низ ба вучуд оварда шудаанд. Мо дар бораи ду унсури аввали трансурани – нептуний ва плутоний аллақай камубеш сухан кардем. Ғайр аз инҳо боз унсурҳои зайл ҳосил карда шудаанд:

америтсий ($Z=95$),	резерфордӣ (104),	унунтрий (113),
кйурий (96),	дубний (105),	унунквадрий (114),
берклий (97),	сиборгий (106),	унунпентий (115),
калифорний (98),	борий (107),	унунҳексий (116),
эйнштейний (99),	ҳассий (108),	унунсептий (117),
фермий (100),	мейтнерий (109),	унуноктий (118),
менделевий (101),	дармштадтӣ (110),	унунбинилий (119),
нобелий (102),	рентгений (111),	унуненний (120), ...
лоуренсий (103),	копернисий (112),	

Нишонаатомҳо. Дар замони ҳозира чи дар илм ва чи дар истеҳсолот доираи истифодаи изотопҳои радиоактиви гуногун

торафт васеъ шудан дорад. Аз ин чихат усули нишонаатомҳо чолиб аст. Ин усул бар он асос ёфтааст, ки хосиятҳои кимиёии изотопҳои радиоактив аз хосиятҳои изотопҳои норадиоактиви ҳамон унсурҳо фарқе надоранд.

Изотопҳои радиоактивро аз таҳқиқи партави онҳо – тобиш ё зарраҳои афкандаашон ошкор сохтан осон аст. Радиоактивият нишонаи махсусест, ки бо ёрии он рафтори унсури кимиёиро дар вокунишҳои гуногуни кимиёӣ ва табдилоти физикии моддаҳо таҳқиқ кардан мумкин аст. Усули нишонаатомҳо яке аз пурсамартарин тарзҳои ҳалли масъалаҳои гуногуни биологӣ, физиологӣ, тиббӣ ва ғ. гардид.

Изотопҳои радиоактив – манбаи тобишҳо. Изотопҳои радиоактив дар соҳаҳои гуногуни илм, тиб ва техника чун манбаи гамма-квантҳо истифода мешаванд. Дар ин гуна мавридҳо асосан кобалти радиоактиви $^{60}_{27}\text{Co}$ қорбасти мешавад, ки он квантҳои дорой энергияҳои 1,17 МэВ ва 1,33 МэВ меафканад.

Тавлиди изотопҳои радиоактив. Ин гуна изотопҳоро дар реакторҳои атомӣ ва суръатфизоҳои зарраҳои барқаманд ба вучуд меоваранд. Дар замони ҳозира ба ин қор як соҳаи бузурги саноат машғул аст.

Изотопҳои радиоактив дар биология ва тиб. Яке аз тарзҳои пажӯҳиши илмие, ки ба воситаи нишонаатомҳо анҷом дода мешавад, тадқиқи мубодилаи моддаҳо дар организм мебошад. Иҷбот шудааст, ки дар муддати нисбатан кӯтоҳ организм қариб қомилан нав мешавад, яъне атомҳои таркиби он бо атомҳои нав иваз мешаванд.

Аз ин қоида, чунонки санҷиши таркиби изотопии хун нишон дод, танҳо оҳан истисноат. Оҳан дар таркиби ҳемоглобин (гемоглобин)-и доначаҳои сурхи хун дохил аст. Санҷиши миқдори атомҳои ҳамроҳи хӯрок ба организм воридкардаи $^{59}_{26}\text{Fe}$ нишон дод, ки атомҳои оҳан ба хун қариб намегузаранд. Танҳо дар сурати дар организм кам шудани миқдори оҳан организм ин атомҳоро хазм мекунад (мегирад).

Дар мавриди вучуд надоштани изотопҳои радиоактиви ба қадри қофӣ дарозумр (чунончи, оксиген ва нитроген ин гуна изотоп надоранд) таркиби изотопии унсурҳои пайдорро тағйир медиҳанд. Масалан, ба оксиген изотопи ^{18}O омехта, муқаррар

карданд, ки оксигени озоди дар натиҷаи фотосинтез ҷудошаванда сараввал на дар таркиби гази карбонат, балки дар об дохил будааст.

Изотопҳои радиоактив дар тиб ҳам барои ташҳиси беморӣ (муайян кардани беморӣ) ва ҳам барои табобат истифода мешаванд. Ба хун қадре натрийи радиоактив ворид карда, гардиши хунро санҷидан осон аст.

Йод дар ғадуди сипаршакл (хусусан дар бемории Базедов) бисёр босуръат ҷамъ меояд. Мушоҳидаи ҷараёни дар ин ғадуд ҷамъ омадани йоди радиоактив ба воситаи ҳисобгираки нурҳои афкандаи йод имкон медиҳад, ки беморӣ ба зудӣ муайян карда шавад. Вояҳо (дозаҳо)-и зиёди йод бофтаҳои номуътадили кишоф-ёбандаро қисман хароб мекунад. Аз ин рӯ, йоди радиоактивро дар муолиҷаи бемории Базедов низ метавон истифода кард.

Изотопҳои радиоактив дар саноат. Изотопҳо дар саноат низ ҷойи истифода бисёр доранд. Як мисол. Назорат кардани фарсоиши маснуот: ҳалқаҳои сунба (поршен)-и муҳаррик (мотор)-и автомобилро нейтронборон мекунад; ҳалқаҳо дар натиҷаи вокунишҳои ҳастай радиоактив мешаванд; ҳангоми кор кардани мотор зарраҳои аз ҳалқа ва деворҳои цилиндр кандашудаи филиз ба рағгани молидани мегузарад; баъд радиоактивияти ҳамин рағгани корхӯрдаро санҷида, дараҷаи фарсоиши ҳалқаро муайян мекунад.

Бо ёрии изотопҳои радиоактив дар бораи диффузи филизот, рӯйдодҳои даруни печҳои домна ва ғ. маълумоти дақиқ ба даст овардан осон аст. Дастаи ба қадри кофӣ шадиди гамма-тобиши манбаи радиоактив дар таҳқиқи сохти дарунии рехтаҳои филизӣ – барои ошкор сохтани нуқси онҳо истифода мешавад.

Изотопҳои радиоактив дар кишоварзӣ. Майдони истифодаи изотопҳо дар кишоварзӣ низ торафт фарохтар шудан дорад. Қадре гаммаборон кардани тухми рустаниҳо (пахта, карам, шалғамча ва ғ.) ҳосили онҳоро фаровонтар мегардонад.

Вояҳо (дозаҳо)-и зиёди тобиши радиоактивӣ ҷаҳиши сифатӣ (мутатсия)-и рустаниҳову микроорганизмҳоро боис гардида метавонад – ин дар баъзе мавридҳо пайдоиши рустаниҳои дорои хосиятҳои нави муҳимро боис мегардад. Бо ин усул навҳои хуби гандум, лӯбиё ва ғ. ба вучуд оварда шудааст, микроорганизмҳои

пурмахсуле ҳосил карда шудааст, ки дар истехсоли антибиотикҳо ба кор мераванд. Гамма-тобиши изотопҳо барои нобуд сохтани хашароти зиёновар ва барои ниғаҳдошти маводи хӯрокаи низ истифода мешаванд.

Нишонаатомҳо дар қори зироат низ татбиқ ёфтаанд. Чунончи, барои дониستاني ин ки рустаниҳо қадом навъи порухои фосфориро беҳтар ба худ мегиранд, ба таркиби порухои гуногун фосфори радиоактиви $^{32}_{15}P$ илова карда, баъд радиоактивияти рустаниҳоро санҷида, миқдори фосфор ва, аз рӯи он, миқдори порухои аз таркибҳои гуногун гирифтаи рустаниҳоро муайян кардан мумкин аст.

Изотопҳои радиоактив дар бостонишиносӣ (археология). Барои муайян кардани синни ашёи органикии бостонӣ – чӯб, ангишти чӯб, матоъ, устухонҳои одаму ҳайвонот ва ғ. усули радиокарбонӣ татбиқи аҷиб ёфтааст. Дар таркиби рустаниҳо ҳамеша изотопи радиоактиви $^{14}_6C$ (даври нимқоҳишаш $T=5700$ сол) мавҷуд аст, ки он ба миқдори начандон зиёд дар ҳаво бо таъсири нейтронҳо аз нитроген ба вучуд меояд. Нейтронҳо бошанд, дар натиҷаи воқунишҳои ҳастаии дар атмосфера ҳосилкардаи зарраҳои сареи қайҳонӣ ба вучуд меоянд. Ин қарбон бо оксиген пайваст шуда, гази қарбонат ($^{14}CO_2$) ҳосил мекунад. Гази қарбонат ба воситаи рустаниҳо (ғизо) ба қисми одамону ҳайвонот ворид мегардад. Ҳар гиром қарбони таркиби намунаҳои дарахти навбурида сонияе қариб 15 бета-зарра меафканад.

Рустани пас аз бурида шудан ва вучуди зинда пас аз марг дигар қарбони радиоактив «хӯрда» наметавонанд. Миқдори мавҷудаи ин изотоп дар қисми онҳо бо мурури замон меқоҳад. Миқдори қарбони радиоактиви таркиби намунаҳоро қен карда, синни онҳоро ёфтани осон аст. Ин усул барои муайян кардани синни намунаҳои то 50–60-ҳазорсола натиҷаи хуб медиҳад. Усули радиокарбонӣ дар муайян кардани синни мумиёҳои мисрӣ, боқимондаҳои гулханҳои замонҳои тотаърихӣ истифода шудааст. Барои муайян кардани синни минералҳоро дигар намунаҳои миллионсолаву миллиардсола изотопҳои дигари радиоактив - ^{238}U , ^{235}U , ^{87}Rb ва ғ. истифода мешаванд, зеро ки умри дароз доранд.



Изотопҳои радиоактив дар зистишиносӣ, тиб, саноат, кишоварзӣ, бостонишиносӣ ва ғ. доираи васеи татбиқ доранд.



1. *Изотопҳои радиоактив чистанд ва чӣ татбиқҳо доранд?*
2. *(Иловаи тарҷумон). Нишонаатомҳоро бо чӣ мақсад ва чӣ тавр истифода мекунад?*

§ 91. Асари биологии тобиши радиоактивӣ

Тобиши моддаҳои радиоактив ба мавҷудоти зинда асари номатлуб дорад. Ҳатто ҳамон миқдор нуре, ки энергияаш дар сурати пурра фурӯ бурда шудан ҳарорати бадани одамро ҳамагӣ $0,001^{\circ}\text{C}$ зиёд мекунад, фаъолияти ҳиссае аз ҳучайраҳои организмро қатъ гардонда метавонад.

Ҳучайраи зинда як чизи мураккабест, ки дар сурати ҳатто зарари андак дидани қитъаҳои алоҳидааш фаъолияти худро идома дода наметавонад. Зимнан, тобиши радиоактивӣ ҳатто дар сурати суст будан ба ҳучайраҳо зарари чиддӣ расонда, бемориҳои хавфноке падида оварда (чунончи, боиси пайдоиши *шӯрӯбеморӣ* гардида метавонанд) ва агар воя (доза)-и тобиш зиёд бошад, организми зинда ҷони худро аз даст медиҳад. Тобиши радиоактивӣ боз аз он ҷиҳат хавфнок аст, ки вояи ҳатто марговари он ҳеҷ гуна ҳиссиёти дардмандӣ ба вучуд намеоварад.

Механизми таъсири ҳучайракушандагии тобиши радиоактивӣ ҳанӯз ҳама тарафа таҳқиқ нашудааст. Вале аён аст, ки ин таъсирот боиси ион-ион (ионизатсия) шудани атому молекулаҳои муҳит мегардад – дар натиҷа фаъолияти кимиёии он атому молекулаҳо тағйир меёбад. Таъсири тобиши радиоактивиро бештар аз ҳама мағзи ҳучайраҳо, хусусан мағзи ҳучайраҳои зудтақсимшаванда ҳис мекунад. Ҳамин аст, ки ин тобиш пеш аз ҳама мағзи устухонро хароб мекунад – ин бошад, вайрон шудани ҷараёни пайдоиши хунро сабаб мешавад. Пас аз ин ҳучайраҳои узви ҳазми хӯрок ва узвҳои дигар хароб мешаванд.

Тобиши радиоактивӣ ба ирсият низ таъсири бад дорад. Дар бисёр мавридҳо ин асар номатлуб аст.

Нурборон кардани вучуди зинда фоида низ оварда метавонад. Ҳучайраҳои зудафзоишбандаи варами хабис ё худ варами бадсифат (саратон) назар ба ҳучайраҳои солим асари тобиши радиоактивиро хубтар ҳис мекунад. Ҳамин аст, ки варами хабисро бо таъсири гамма-тобиши манбаъҳои радиоактив фурӯ менишонанд

(дар ин кор гамма-тобиш назар ба тобиши рентгенӣ, ки пеш аз ин истифода мешуд, босамартар аст).

Воя (доза)-и тобиши радиоактивӣ. Барои ташхис додани дараҷаи асари тобиш ба организмҳои зинда мафҳуми вояи тобиш истифода мешавад. Нисбати энергияи тобиши радиоактивӣ E -и фурубурдаи моддаи нурбороншаванда бар массаи он модда m -ро *вояи тобиши* истифодашаванда мегӯянд ва онро чунин ифода мекунанд:

$$D = \frac{E}{m}. \quad (10.6)$$

Дар Манзумаи байналмилалӣ воҳидҳо (SI) вояи тобишро бо *грэйҳо* (Гр) ифода мекунанд. 1 Гр он *гуна воя (доза)-и тобиш аст, ки ба 1 кг массаи моддаи нурбороншаванда 1 Ҷ энергияи ҳар гуна тобиши ионанда (тобиши ионзо) дода мешавад*, яъне

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Ҷ/кг}.$$

Фони табиӣ – тобишҳои гуногун (тобиши кайҳонӣ, тобиши ашӯи атроф ва ҷисми одам) дар тӯли як сол вояи баробар ба 0,002 Гр бар як одам дорад. Ҳайати байналмилалӣ ҳимоят аз тобишҳо барои ашҳоси бо тобишҳои гуногун коркунанда ба сифати *вояи ҳаддан* ҷоиш вояе муқаррар кардааст баробари 0,05 Гр. Вояи баробар ба 3-10 Гр агар дар муддати кӯтоҳ «хӯрда» шуда бошад, одамро чаҳаннам мебарад.

Рентген. Дар амалия, маъмулан, *рентген* (R) ном воҳиди вояи водошӣ (дозаи экспозитсионӣ)-и тобиш истеъмол мешавад. Ин воҳид меъёри қобилияти ионофарандагии гамма-тобиш ва тобиши рентгенист. 1R он гуна вояи гамма-тобиш ё тобиши рентгенист, ки он дар ҳаҷми 1 см³-и ҳавои хушк дар ҳарорати 0°C ва фишори муътадил тақрибан $2 \cdot 10^9$ чуфт ион ҳосил мекунад (ҳар чуфт ион аз як иони мусбат иборат асту як электрон). Ба иборати дигар, барқои умумии ҳар яке аз ин ду навъи ионҳо (мусбат ва манфӣ) дар алоҳидагӣ тақрибан $3 \cdot 10^{10}$ Кл аст. Адади ионҳои ҳосилшаванда бо энергияе алоқаманд мебошад, ки онро модда фуру мебарад. Дар амалияи воясанҷӣ (дозиметрия) 1R-ро муодили вояи баробар ба 0,01 Гр гирифтани мумкин аст.

Ҳимояти организм аз тобишҳои гуногун. Дар истифодаи ҳар гуна манбаи тобиш (изотопҳои радиоактив, реакторҳо ва ғ.) ҳамаи онҳоеро, ки аз рӯйи зарурат ба доираи таъсири тобишҳо ворид мегарданд, ҳимоят кардан мебояд.

Содатарин тарзи ин гуна химоят аз доираи хатарнок ба қадри кофӣ дур нигоҳ доштани одамон аст. Дар ин сурат ҳатто агар қобилияти тобишсусткунандагии ҳаворо ба эътибор нагирем ҳам, шиддати тобиш чаппа мутаносибан ба дараҷаи дуи масофаи то манбаъ кам мешавад. Бинобар ин ампулҳои дорои моддаҳои радиоактивро бо даст гирифта харгиз раво нест. Барои ин кор «дастҳои» махсуси механикӣ – манипуляторҳо истифода мешаванд.

Дар мавридҳои, ки дар қарибҳои манбаи тобиш будани одамон (масалан, муҳаққиқон) зарур бошад, барои химоят кардани онҳо дар роҳи рафти тобиш садҳои иборат аз моддаҳои тобиш-фурубаранда мегузоранд.

Мушкилтар аз ҳама химоят аз гамма-тобиш ва сели нейтронҳост, зеро онҳо қобилияти нуфузи зиёд доранд. Гамма-тобишро хубтар аз ҳама сурб фуру мебарду нейтронҳои ҳароратиро – бор ва кадмий. Нейтронҳои сарьеро бошад, пешакӣ ба воситаи графит суст кардан мумкин аст.

Фалокате, ки дар НАБ (неругоҳи атомии барк)-и Чернобил рӯй дод, ҳақиқатеро равшан сохт, ки тобиши радиоактивӣ чӣ дараҷа хавфбор аст. Бинобар ин ҳама мардумро мебояд, ки аз ин гуна хатар огаҳӣ дошта бошанд ва роҳҳои химоятро ба хубӣ бидонанд.



1. *Воя (доза)-и тобиш чист?*
2. *Фони тобиши тобиш чӣ миқдор аст? Натиҷаро бо рентгенҳои ифода кунед.*
3. *Вояи ҳаддан ҷози солонаро барои онҳое, ки бо моддаҳои радиоактив кор мекунанд, бо рентгенҳои ифода кунед.*

Машқи 10

1. Урани ${}_{92}U$ дар натиҷаи чанд алфа- ва чанд бета-коҳиш ба сурби ${}_{82}Pb$ табдил меёбад?

2. Даври нимкоҳиши радий Ra 1600 сол аст. Пас аз чанд вақт адади атомҳои ин изотоп 4 бор кам мешавад?

3. Адади атомҳои яке аз изотопҳои радон дар муддати 1,91 шр (шаборӯз) чанд бор кам мешавад? Даври нимкоҳиши ин изотопро 3,82 шр (шабонарӯз) гиред.

4. Аз рӯйи чадвали унсурҳои кимиёӣ (чадвали Д. Менделеев) адади протонҳои нейтронҳои ҳастаҳои баъзе изотопҳои фтор, аргон, бром, сезий ва тиллоро ёбед.

5. Энергияи бандиши ҳастаи ҳидрогени вазнин – дейтрон чӣ қадар аст? Массайи дейтронро 2,014102 гиреду массайи протонро (ҳамроҳи як электрон) 1,00728 ва массайи нейтронро 1,00866; массайи атоми карбон $1,995 \cdot 10^{-26}$ кг аст.

6. Дар сурати протонборон кардани ҳастаҳои ^{11}B ҳастаҳои ^8Be ба вучуд меоянд. Дар ин маврид боз чӣ гуна ҳаста ҳосил мешавад?

7. Дар натиҷаи падидаи нейтронро фуру бурда пора шудани ҳастаи ^{92}U ҳастаҳои ^{56}Ba ва ^{36}Kr ва инчунин 3 нейтрони озод ҳосил мешавад. Энергияи бандиши ҳосил барийро 8,38 МэВ/нуклон, ҳамини криптонро 8,55 МэВ/нуклон ва уранро 7,59 МэВ/нуклон гирифта, ёбед ки дар натиҷаи пора шудани як ҳастаи уран чӣ қадар энергия хориҷ мегардад.

Муҳимтарин хулосаҳои боби даҳум

1. Дар физикаи ҳаста сохти ҳастаҳо ва табдилоти онҳо мавриди омӯзиш қарор мегирад. Барои сабот (қайд) кардани зарраҳои бунёдиву ҳастаҳои атомӣ ва инчунин барои омӯхтани бархӯрдҳои табдилоти онҳо олатҳои махсус истифода мешавад. Ҳисобгираки Гейгер, камераи Вилсон, ҳубобкамера ва фотоэмулсияҳо ҳамин гуна олатанд.

2. Дар интиҳои а. XIX А. Беккирел падидаи радиоактивиятро кашф кард. Ҳастаҳои уран, торий ва баъзе унсурҳои дигар худбахуд (бе таъсири берунӣ) алфа-зарра, бета-зарра ва гаммаквант меафкананд, ки онҳо ба се гуногунтабиатанд: гаммаквантҳои электромагнитии кӯтоҳ (10^{-10} – 10^{-13} м), бета-зарраҳои сели электронҳо ва алфа-зарраҳои ҳастаҳои атомии ҳелий мебошанд.

3. Э. Резерфорд фаҳмида тавонист, ки қоҳиши ҳастаҳои радиоактив табдилоти худбахудиест, ки дар он зарраҳои гуногун афканда мешавад. Мувофиқи қонуни қоҳиши радиоактивӣ барои ҳар як моддаи радиоактив фосилаи муайяни вақте вучуд дорад, ки дар тӯли он фаъолияти он модда ду бор кам мешавад. Ин фосилаи вақт даври нимқоҳиш ном гирифтааст. Даври нимқоҳиш барои моддаҳои радиоактиви гуногун ба се гуногун – аз ҳиссаҳои сония то миллиардҳо сол буда метавонад.

4. Резерфорд ҳастаҳои атомиро бо алфа-зарраҳои афкандаи моддаҳои радиоактив алфаборон карда, ҳастаҳоро ба таври сунъӣ табдил дод. Ҳамкори ӯ Ч.Чедвик дар ҳамин гуна таҷрибаҳо зарраи таркибии атом – *нейтронро* кашф кард. Барқа (заряди электрикӣ)-и нейтрон сифрӣ асту массааш назар ба массаи протон андак бешӣ дорад.

5. В.Ҳайзенберг ва Д.Иваненко модели протонӣ-нейтрони ҳастаҳои атомиро пеш ниҳоданд. Мувофиқи ин модел ҳастаи атом аз протонҳову нейтронҳо иборат мебошад. Адади массавии ҳаста A ба ҷамъи адади протонҳо Z ва адади нейтронҳо N баробар аст:

$$A = Z + N.$$

Ҳастаҳое, ки адади протонҳошон баробар, вале адади нейтронҳошон гуногун аст, *изотоп* ном гирифтаанд. Изотопҳо хосиятҳои кимиёии якхела доранд.

6. Протонҳову нейтронҳо андаруни ҳаста ба василаи қувваҳои бағоят пурзӯри кӯтоҳтаъсир ниғаҳдорӣ мешаванд. Ин қувваҳои қувваҳои ҳастай номида шудаанд.

7. Мафҳуми *энергияи бандиш* барои тамоми физикаи ҳаста бисе муҳим мебошад. Энергияи бандиш ададан баробари қорест, ки барои ба нуклонҳои алоҳида тақсим кардани ҳаста сарф мешавад. Энергияи бандиш назар ба энергияи иониши атомҳо (ионизатсияи атомҳо) миллионҳо бор зиёд аст.

8. Тағйироти ҳастаҳоро дар сурати бо якдигар ё бо зарраҳои бунёдӣ, таъсири мутақобил карданашон *воқуниши ҳастай* (реаксияи ҳастай) меноманд. Дар воқунишҳои ҳастай энергия ҳам фуру бурда шуда метавонаду ҳам хориҷ гашта. Аксари воқунишҳои ҳастай дар натиҷаи ба ҳаста задани зарраҳои барқаманд ё ҳастаҳои сабуки баландэнергия рӯй медиҳанд.

9. Ҳастаҳои уран, торий ва баъзе дигар унсурҳои вазнин бо таъсири нейтронҳо пора шуда метавонанд. Дар натиҷаи пора шудани ҳар як ҳаста тақрибан 200 МэВ энергия хориҷ мегардад; илова бар ин ҳангоми пора шудани ҳар як ҳаста ду-се нейтрони озод ба вучуд меояд. Ин имкон медиҳад, ки дар реактори атомӣ *воқуниши ҳастаи занҷирӣ* воқеъ гардонда шавад. Воқуниши идоранашавандаи порашуди ҳастаҳо дар бомбаҳои атомӣ амалӣ гардонда шудааст.

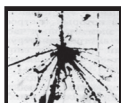
10. Дар сурати ба якдигар бархӯрдани ду ҳастаи сабук онҳо як шуда, энергияи зиёде хориҷ карда метавонанд. Ин гуна воқунишҳо

танҳо дар ҳароратҳои баланд рӯй дода метавонанд – ҳамин аст, ки онҳо *вокунишҳои гармоҳастай* (реаксияҳои термоҳастай) ном гирифтаанд. Ҳамин вокунишҳои гармоҳастай ва энергияҳои зиёди зодаи онҳост, ки Офтобу ситораҳоро миллиардҳо сол тобон медорад. Идора кардани вокунишҳои гармоҳастай ханӯз муяссар нагардидааст.

11. Нахустин неругоҳи атомии барқ (НАБ) дар Русия бунёд шудааст. Баъди дучори фалокат гардидани НАБи Чернобил (дар Украина) ва НАБи Фукушима (дар Ҷопон) барои камтар кардани эҳтимоли рӯйдоди ин гуна фалокатҳои мудҳиш тадбирҳои иловагӣ андешида мешаванд.

12. Изотопҳои радиоактив, ки бо ёрии реакторҳои атомӣ ва суръатфизоҳои зарраҳои барқаманд ҳосил карда мешаванд, дар соҳаҳои гуногуни илм, тиб, кишоварзӣ ва саноат татбиқҳои бисёр доранд.

13. Тобиши радиоактивӣ барои мавҷудоти зинда хавфи зиёд дорад. Бинобар ин гоҳи бо онҳо сарукор гирифташ тадбирҳои махсуси химоятӣ андешидан мебоҷад.



Боби 11. ЗАРРАҲОИ БУНЁДӢ

§92. Се марҳала дар инкишофи физикаи зарраҳои бунёдӣ

Марҳалаи якум. Аз электрон то позитрон: солҳои 1897–1932. Зарраҳои бунёдӣ (зарраҳои элементарӣ) – инҳо ҳамон «атомҳои» Демокрит мебошанд дар дараҷаи чуқуртар.

Шумо акнун бо электрон, протон, фотон ва нейтрон камобеш шиносӣ доред.

Хуб, зарраи бунёдӣ чист?

Вақте ки файласуфи юнонӣ Демокрит зарраҳои содатарини «дигар тақсимопазир»-ро атом номид (хотирнишон бод, ки атом «тақсимопазир» гуфтан аст), дар назари ӯ шояд ҳама чиз начандон мураккаб намуда бошад: «Ҳама ашӯ, хайвоноту наботот аз зарраҳои тақсимопазир тағйирнопазир таркиб ёфтаанд. Ҳама табдилоти дар олам рӯйдиҳанда – ин тағйири ҷойи атомҳо ҳасту бас. Ҳама чизи олам ҷорист, ҳама чиз тағйирпазир аст, ба ҷуз атомҳо, ки тағйирнопазиранд».

Аммо охири а.ХІХ ошкор гашт, ки сохти атом бисе мураккаб аст ва электрон чун ҷузъи таркибии атомҳо дар ҳоли ҷудой «дида» шуд. Баъд (дар а.ХХ) зарраҳои таркибии ҳастаи атом – протон ва нейтрон кашф шуданд. Аввалҳо ин зарраҳоро хиштҳои асосии олами моддӣ, яъне мабадаъ (аввал, ибтидо)-и тақсимопазир тағйирнопазир мепиндошанд – он сон, ки атомҳо дар назари Демокрит менамуданд.

Марҳалаи дуюм. Аз позитрон то кваркҳо: солҳои 1932-64. Ҳама зарраҳои бунёдӣ ба якдигар табдил ёфта метавонанд.

Аммо вазъи муайяни ва ҷолиб дер напоист, зеро олами зарраҳо начандон сода будаст, ки менамудааст: ин дафъа ҳам (вале акнун дар дараҷаи чуқуртар) равшан гашт, ки зарраи тағйирнопазир умуман вучуд надорад. Худи калимаи «элементарӣ», ки мо чун сифати зарраҳо истеъмол кардаем, духӯра аст. Аз як тараф, элементарӣ – ин ба худии худ маълум, чизи содатарин аст аз тарафи дигар, «элементарӣ» гуфта як чизи асосӣ, бунёди ҳама чизҳоро мефаҳманд

ва маҳз дар ҳамин маънӣ ҳозир зарраҳои зератомӣ (яъне зарраҳои назар ба атом хурдтар, ба маънии «зарраҳое, ки атом аз онҳо таркиб ёфта метавонад»)-ро зарраҳои «элементарӣ» меноманд¹.

Зарраҳои бунёдии маълумро мисли атомҳои Демокрит тағйирнопазир доништан муҳолифи далеле мебуд, ки «Ҳеч зарра абадӣ нест». Аксари зарраҳое, ки ҳоло «зарраи бунёдӣ» номида мешаванд, ҳатто дар сурати вучуд надоштани таъсири беруни на бештар аз миллионяки сония умр мебинанд. Чунончи, умри нейтрони озод (яъне нейтрони беруни ҳаста) тақрибан 16 дақ аст.

Танҳо чаҳор зарра – *фотон, электрон, протон* ва *нейтрино* – тағйирнопазирии худро нигоҳ дошта метавонанд, ба шарте ки ҳар яки онҳо дар дунёи том тоқаву танҳо бошад (нейтрино аз барқа маҳрум аст, массаи оромишаш, шояд, бағоят ночиз ё ҳатто сифрӣ бошад).

Электрону протон «бародарони» бисёр хавфноке доранд, ки дар бархӯрд бо онҳо маҳв мешаванд (ва ба ҷойи онҳо зарраҳои нав ба вучуд меоянд).

Фотони афкандаи ҷароғи рӯйи миз на бештар аз 10^{-8} с мезияд – ин муддатест, ки барои то ба рӯйи миз расидан ва фурӯ рафтани он фотон зарур аст.

Танҳо нейтриноҳо қариб безаволанд, зеро таъсири мутақобили онҳо бо зарраҳои дигар бағоят суст аст. Аммо нейтриноҳо ҳам дар сурати бо зарраҳои дигар бархӯрдан маҳв мешаванд, бо вучуде ки ин гуна бархӯрдҳо бисёр кам воқеъ мегарданд.

Ҳамин тариқ, пажӯҳандагони олами микрозарраҳо дар кӯшиши ҷустуҷӯи дар олами тағйирпазир ёфтани бунёди тағйирнопазир худро на дар рӯйи «хорои пойдор», балки дар рӯйи «реги равон» диданд.

Ҳама зарраҳои бунёдӣ ба якдигар табдил меёбанд ва маҳз ҳамин табдилоти мутақобил тарзи асосии вучуд доштани онҳост.

Равшан гашт, ки тасаввуроти маъмулӣ дар бораи тағйирнопазир будани зарраҳои бунёдӣ пояи устувор надоштааст. Ҳамин буд, ки ин тасаввурот аз байн рафт. Вале ғояи таҷзиянопазирии зарраҳо барҷой монд.

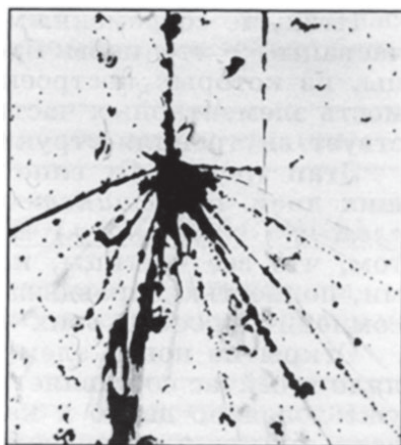
1. Маҳз ҳамин буд, ки мо мафҳуми «зарраҳои бунёдӣ»-ро истифода кардаем, ҷаро ки духӯра нест, яъне назар ба «зарраҳои элементарӣ» сахтар мебошад. (С.Қ.)

Зарраҳои бунёдӣ то он чо «бунёдӣ» мебошанд, ки дигар тақсим намешаванд, аммо ҳосиятҳои онҳо бепоён аст. Ин аст пояи чунин ҳулоса. Бигзор, дар сари мо хоҳиши таҳқиқи масъалаи аз кадом зарраҳои суббунёдӣ (яъне зарраҳое, ки зарраҳои бунёдӣ аз онҳо таркиб ёфта метавонанд, зарраҳои зербунёдӣ) иборат будани, масалан, электрон пайдо шавад. Чӣ бояд кард, ки электрон чузъ-чузъ шавад? Дар ин роҳ танҳо як тарз вучуд дорад. Ин маҳз ҳамон тарзест – зарбаи сахт, ки онро кӯдак барои доништани чигунагии даруни бозича ба кор мебарад.

Равшан аст, ки электронро бо путк задан моро ба мурод намерасонад – онро бо электрони дигари баландсуръат ё бо ягон зарраи дигари баландсуръат задан мебояд (!). Мошинҳои суръатфизои ҳозира зарраҳои барқамандро суръатҳои ба суръати рӯшноӣ ба наздик бахшида метавонанд.

Хуб, дар бархӯрди зарраҳои баландэнергия чӣ падида рӯй медиҳад? Ин зарраҳо ҳаргиз он тавр майда-майда намешаванд, ки онҳоро чузъҳои таркибии он зарраҳо пиндоштан мумкин бошад. Не, онҳо зарраҳои наве тавлид месозанд, ки дар рӯйхати зарраҳои бунёдӣ мавҷуданд. Ҳар қадре ки энергияи зарраҳои бархӯранда зиёд бошад, адади зарраҳои зодаи онҳо ҳамон қадр бештар ва зимнан, массаи онҳо ҳамон қадр зиёдтар хоҳад буд, зеро дар сурати афзудани суръати зарра массаи он зиёд мешавад. Аслан ҳамагӣ аз як чуфт зарраи афзудамасса ҳама зарраҳои маълумро ҳосил кардан имконпазир аст.

Дар рас. 189 натиҷаи бо ҳастаи нуқраи таркиби фотоэмулсия бархӯрдани ҳастаи карбони дорои энергияи 60 ГэВ (гигаэлектрон-вольт, яъне 10^9 эВ) тасвир ёфтааст. Чӣ навъе, ки аён аст, ҳастаи нуқра пора-пора мешавад ва ин пораҳо ҳар сӯ пош меҳӯранд. Дар айни ҳол чандин зарраи нав ҳосил мешавад – *пионҳо* ном зарраҳо (ё худ π -мезонҳо) ба вучуд меоянд. Ин гуна воқунишҳо дар бархӯрди ҳастаҳои тавассути суръатфизо шитобгирифтаи релятивӣ бори аввал дар Лабораторияи энергияҳои



Рас. 189

баланди Пажӯишигоҳи муттаҳидаи тадқиқоти ҳастай (ПМТХ)-и ш. Дубна таҳти роҳбарии А.М.Балдин ба вучуд оварда шудаанд. Дар ин таҷрибаҳо «ҷомаи электронӣ»-и ҳастаҳои карбон ба воҷибаи нури лазерӣ канда шуда буд.

Эҳтимол дорад, албатта, ки дар бархӯрди зарраҳои соҳиби энергияҳои бисе баланди ҳанӯз дастнорас ягон навъ зарраҳои нав мушоҳида шавад. Вале ин моҳияти масъаларо тағйир намедихад. Зарраҳои дар натиҷаи бархӯрд тавлидешудаи навро ба ҳеҷ вачҳ қисми таркибии «модарони» онҳо доништан дуруст нест. Чаро? Чунки зарраҳои «фарзанд», агар шитоб дода шаванд, ниҳоди худро тағйир навода, балки танҳо массаашонро афзуда, дар навбати худ, дар натиҷаи бархӯрд якбора чанд зарраи айнан монанди «модари» худ ва боз чандин зарраи дигар тавлид карда метавонанд.

Ҳамин тарик, аз рӯи тасаввуроти имрӯза зарраҳои бунёдӣ зарраҳои аввалия, зарраҳои «дигар тақсимнопазире» мебошанд, ки тамоми олами моддӣ аз онҳо таркиб меёбад. Аммо тақсимнопазирии зарраҳои бунёдӣ ҳаргиз он гуна маънӣ надорад, ки онҳо гӯё сохтори дарунӣ (яъне дарун) надошта бошанд.

Марҳалаи сеюм. Аз фарзияи кваркҳо (с.1964) то рӯзҳои мо. Аксари зарраҳои бунёдӣ сохти мураккаб доранд.

Аввали солҳои 60-ум бар ин ки ҳама зарраҳои ба истилоҳ «зарраҳои бунёдӣ» дар ҳақиқат бунёдианд, шакку шубҳа пайдо шуд. Заминаи ин гумон бисе сода буд: адади ин зарраҳо хеле зиёд буд.

Кашфи зарраи бунёдии нав ҳамеша музаффарияти бузурги илм буд ва ҳаст. Вале дер боз ҳар як комёбии навбатӣ ин ё он дараҷа ташвиш ба миён меоварад. Ва ин комёбиҳо, бе муболиға, яке дар пайи дигар ба даст меомаданд.

Охири солҳои чихилуми асри ХХ гурӯҳи зарраҳои кашф шуд, ки зарраҳои «ачиб» ном гирифтаанд. Ин гурӯҳ аз *каонҳо* (ё худ К-мезонҳо) ва *ҳиперонҳо* иборат мебошад. Ҳиперонҳо зарраҳоианд, ки массаи назар ба нуклонҳо (яъне зарраҳои ҳастай) бештар доранд. Номашон ҳам аз ҳамин ҷост. Солҳои ҳафтодум ба ин гурӯҳ гурӯҳи зарраҳои зам шуд, ки *зарраҳои «малех»* ном гирифтаанд. Ҳамон вақтҳо зарраҳои бағоят кӯтоҳумре низ кашф шудаанд, ки ҳамагӣ 10^{-22} – 10^{-23} с умр мебинанд. Ин зарраҳо, ки ададашон аз 200 беш аст, *резонансҳо* ном гирифтаанд.

Ана ҳамон вақт (с.1964) М.Гелл-Манн ва Ч.Свейг ин гуна ақида изҳор карданд: ҳама зарраҳои дар *таъсири мутақобили*

зӯр (ё худ таъсироти мутақобили ҳастай) иштироккунанда, ки *ҳадрон* ном гирифтаанд (аз калимаи юнонии *hadros* - қавӣ, бузург), аз зарраҳои бунёнитар, аз *кваркҳо* таркиб ёфтаанд.

Кваркҳо барқаи касрӣ доранд: $+\frac{2}{3}e$ ва $-\frac{1}{3}e$. Протон аз се кварк таркиб меёбад. Нейтрон ҳам.

Дар замони ҳозира ба воқеӣ будани кваркҳо касе шак надорад, бо вучуде ки онҳоро дар ҳолати озод ошкор кардан муяссар на-шудааст ва шояд ҳеч гоҳ муяссар нагардад. Мавҷудияти кваркҳоро таҷрибаҳои собит мекунад, ки дар онҳо аз протонҳо ва нейтронҳо пареш хӯрдани электронҳои бағоят баландэнергия мавриди таҳқиқ қарор гирифтааст. Адади кваркҳои гуногун шаштост.

Кваркҳо, то чойе, ки ҳоло равшан аст, сохтори дарунӣ (ё содатар гӯем, дарун) надоранд ва дар ин маънӣ зарраҳои ҳақиқатан бунёдӣ мебошанд.

Зарраҳои сабуке, ки дар *таъсироти мутақобили* зӯр иштирок намекунад, *лептон* ном доранд (аз калимаи юнонии *leptos* - са-бук). Лептонҳо низ мисли кваркҳо шаштоанд (электрон, се навъ нейтрино ва боз ду зарраи дигар – мюон ё худ мю-мезон ва тау-лептон, ки назар ба электрон массаи зиёдтар доранд).

Кваркҳо ва лептонҳо зарраҳои ҳақиқатан бунёдӣ мебошанд.

§93. Кашфи позитрон. Антизарраҳо

Мавҷудияти *позитронро*, ки дугоники электрон мебошад, ханӯз с.1928 олими англис П.Дирак ба таври назарӣ пешгӯӣ кардааст. Дирак инчунин пешгӯӣ карда буд, ки дар мавриди бо якдигар бархӯрдани электрону позитрон ҳардуи онҳо бояд маҳв шаванд ва дар натиҷа ба чойи онҳо фотонҳои баландэнергия ба вучуд биёянд. Падидаи акс – тавлиди ҷуфти электрону позитрон, масалан, дар натиҷаи бо ҳастаи атом бархӯрдани фотони баландэнергия низ имконпазир аст (энергияи фотон ё худ массаи он бояд аз чамъи массаҳои зарраҳои пайдошаванда, яъне электрону позитрон зиёд бошад).

Позитрон с. 1932 ба василаи камераи дар майдони магнитӣ ҷододашудаи Вилсон ошкор карда шуд. Аломати барқаи позитрон аз рӯи самти хашиши «радди по» (пай)-и он маълум шуд. Аз рӯи радиуси қачӣ ва энергияи позитрон нисбати барқаи он бар массааш ёфта шудааст. Ин нисбат модулан ҳамчени хамин

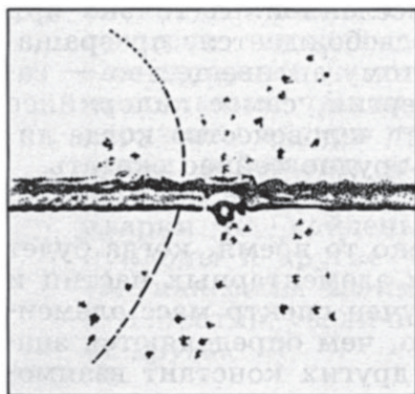
гуна бузургии ташхисдиҳандаи электрон будааст. Дар рас. 190 нахустин сурате тасвир ёфтааст, ки мавҷудияти позитронро собит мекунад. Позитрон аз поён сӯйи боло ҳаракат кардааст ва дар варакаи сурбии сари роҳаш қисми энергияашро гум кардааст. Ҳамин аст, ки қачии роҳи рафти он афзудааст.

Падидаи дар варакаи сурбӣ бо таъсири гамма-квант пайдо шудани чуфти электрон-позитрон дар рас. 191 тасвир ёфтааст. Ин сурат ба воситаи камераи Вилсон гирифта шудааст.

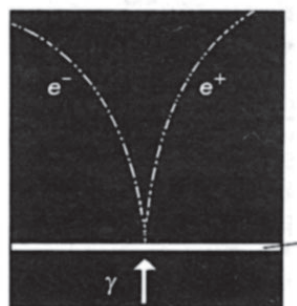
Ин ки маҳви як навъи зарраҳо ва тавлиди зарраҳои дигар дар воқунишҳои байни зарраҳои бунёдӣ на пайдоиши таркибҳои нави чузъиёти зарраҳои кӯҳна, балки маҳз падидаи табдил мебошад, аёнитар аз ҳама дар чараёни бархӯрдан ва маҳв гардидан (ё, чӣ навъе ки мегӯянд, дар сурати анниҳилатсия, яъне маҳв шудан, ҳеч шудан)-и чуфти электрон-позитрон зоҳир мегардад. Ҳардуи ин зарраҳо барқои муайян ва дар ҳолати оромӣ массаи муайян доранд. Аммо фотонҳои дар ин маврид тавлидшаванда барқа надоранд; онҳо соҳиби массаи оромиш низ нестанд: онҳо дар ҳоли оромиида вучуд дошта наметавонанд.

Дар вақташ кашф, тавлид ва маҳви чуфти электрон-позитрон дар байни муҳаққиқон боиси сар задани ҳаяҷони илмии зиёде гардида буд. То он дам касе гумон намебурд, ки «пиртарин» зарра, муҳимтарин маводи сохтмони атомҳо – электрон нопойдор буда метавонад.

Баъдҳо дугоникҳо (ба маънои антизарраҳо)-и ҳама зарраҳо кашф шуданд. Антизарраҳо (ё, ба оҳанги тоҷикӣ гӯем, *подзарраҳо*) ба зарраҳошон аз он сабаб муқобил гузошта мешаванд, ки гоҳи



Рас.190



Рас.191

дучор омадан ба зарраи худ онҳо якдигарро махв месозанд, ҳарду зарра нест мешаванд ва ба квантҳо ё зарраҳои дигар табдил меёбанд.

Соли 1955 *антипротон* ва с. 1956 *антинейтрон* ошкор шуданд. Барқаи антипротон манфист. Ҳозир равшан аст, ки тавлиди чуфти *зарра-антизарра* ва гоҳи вохӯрд махв гардидани онҳо дар баробари электрону позитрон зарраҳои дигарро низ хос мебошад.

Атомҳое, ки ҳастаҳошон аз антинуклонҳо (яъне аз антипротонҳо ва антинейтронҳо) таркиб ёфтаанду қишр (чома)-ашон аз позитронҳо иборат аст, *антимодда* (подмодда) ба вучуд меоваранд. Соли 1969 дар Иттиҳоди Шӯравии собиқ бори аввал дар дунё ҳастаи *антиҳелий* ҳосил карда шудааст.

Дар лаҳзаи ба ҳам бархӯрдани модда ва антимодда энергияи оромиши онҳо ба энергияи квантҳои тавлидшаванда мубаддал мегардад.

Энергияи оромиш дар Кайҳон бузургтарин ва марказиятёфта-тарин махзани энергия мебошад. Ва танҳо дар натиҷаи падидаи *ҳеҷшуд* (анниҳилатсия) ин энергия пурра хориҷ гашта, ба навъҳои дигар табдил мешавад. Аз ин рӯ, антимодда мукамалтарин манбаи энергия, «серғизотарин» сӯзишворист. Ҳоло гуфтан муҳол аст, ки инсон тарзи истифодаи ин «сӯзишворӣ»-ро кай дармеёбад.



Метавон умед баст, ки дар ояндаи начандон дур муаммои асосии физикаи зарраҳои бунёдӣ (ва умуман муаммои асосии илми физика) шикофта мешавад: тайф (спектр)-и массаҳои зарраҳои бунёдӣ ба даст оварда мешавад, масъалаи пайдоиши барқа ва дигар собитҳои таъсири мутақобили зарраҳо дарк мешавад.



1. Се марҳалаи инкишофи физикаи зарраҳои бунёдӣ, ки дар ин банд овардем, чӣ тафовут доранд?
2. Электрон сабуктарин зарраи барқаманд мебошад. Кадом қонуни ба шумо маълуми бақо ба фотонҳо табдил ёфтани электронро манъ мекунад?
3. Ҳама зарраҳои бунёдии устуворро номбар кунед.
4. Басомади гамма-квантҳои дар натиҷаи бархӯрд ва ҳеҷшуд (анниҳилатсия)-и электрону позитрон тавлидёфта чанд аст?

5. *Оё дар ҳубобкамера радд (най)-и зарраи барқаманди умраш 10^{-23} с-ро мушоҳида кардан имконпазир ҳаст?*
6. *Кварк чист?*
7. *(Иловаи тарҷумон) Ифодаи $\frac{1}{2}mv^2 = evB$ чӣ галат дорад ва онро чӣ тавр ислоҳ кардан меояд?*

Муҳимтарин хулосаҳои боби ёздаҳум

1. Зарраҳои бунёди ҳамон зарраҳои аввалия, ҳамон зарраҳои содатарине ҳастанд, ки дар чараёни «шикастанҳо»-и оянда дигар намешикананд, дигар ба чузъҳои таркибӣ тақсим намешаванд. Ҳама буди олами моддӣ аз ҳамин зарраҳо таркиб ёфтааст.

2. Зарраҳои бунёди чизҳои қарору беҳаракат нестанд. Ҳама зарраҳои бунёди ба якдигар табдил ёфта метавонанд ва ин табдилоти мутақобил тарзи асосии вучуд доштани онҳост.

Аксари зарраҳои бунёди нопойдоранд ва бо мурури замон худбахуд ба зарраҳои дигар мубаддал мешаванд. Аз ин «қоида» фотон, электрон, протон нейтрино истисно ҳастанд.

3. Ҳама зарраҳо дугоник – антизарра доранд. Чунончи, *позитрон* антизарра (подзарра)-и электрон мебошад. Зарра ва антизарра массаҳои баробар доранд; барқаҳои онҳо низ баробар, вале аломатшон гуногун аст. Дар сурати ба ҳам бархӯрдани зарраву антизарра онҳо якдигарро маҳв мекунанд, ҳеч (анниҳилатсия) мешаванд, ба зарраҳои дигар табдил меёбанд. Дар натиҷаи ҳеч шудани электрону позитрон ду ($e\bar{e}$) гамма-квант ба вучуд меояд.

4. Аввали солҳои 60-уми асри гузашта адади зарраҳои, ки «зарраҳои бунёди» номида мешуданд, ҳамроҳи резонансҳо ном зарраҳои бағоят кӯтоҳумр (умрашон 10^{-23} с) ба 300-400 расид. Бинобар ин фарзияе ба миён омад, ки ҳама зарраҳои зӯртаъсир (ба иборати дигар – *ҳадронҳо*) аз зарраҳои бунёдитар – аз *кваркҳо* таркиб меёбанд. Нишони мавҷудияти кваркҳо андаруни протонҳо ва нейтронҳо дар таҷрибаҳои ба даст омад, ки дар онҳо пароканиши электронҳои нейтриноҳои баландэнергия ва нуклон таҳқиқ шудааст. Валекин кваркҳоро дар ҳоли озод ошкор кардан муяссар нагардидааст. Аз афташ, нуклонҳо ва дигар зарраҳои кваркдорро чузъ-чузъ, яъне кварк-кварк кардан илоҷ надорад, зеро қувваи таъсироти мутақобили кваркҳо ба қадри дур шудани онҳо аз якдигар кам не, балки, баръакс, зиёд мешавад.

АҲАМИЯТИ ФИЗИКА ДАР ШАРҲИ БУЊЁДИ ФИЗИКИИ ОЛАМ ВА ПЕШБУРДИ ИСТЕҲСОЛОТ

§94. Манзараи физикии ягонаи олам

Ҳамин тариқ, шумо, хонандаи азиз, омӯзиши физикаи мактабиро ба поён овардед. Ҳар яки шумо камубеш бо дурдонаҳои илмии маҳсули омӯзиши шаклҳои гуногуни ҳаракати ҳайуло (материя), сохт ва хусусиятҳои ҷисмҳои гуногун шиносӣ пайдо кардед. Ин дурдонаҳоро дар тӯли асрҳо олимони тамоми дунё андӯхтаанд.

Илми физика моро бо умумитарин қонунҳои ошно мегардонад, ки онҳо ҷараёни ҳодисоти дар олами атрофи мо ва умуман дар Коинот воқеишавандаро идора мекунанд.

Мақсади физика дарки қонунҳои умумии табиат ва дар заминаи онҳо шарҳ додани рӯйдодҳои табиӣ мебошад. Ба андозаи ба ин қулла ҳар чӣ наздиктар шудан дар пеши назари пажӯҳандагон оҳиста-оҳиста манзараи бошукӯҳ ва мураккаби ягонагии табиат ҳувайдо гашт. Олам на маҷмӯи рӯйдодҳои ҷудоғонаи бе назму низом, балки зуҳуроти гуногунрангу сершумори ҳамон ягонагии ҷудонопазир мебошад.

Манзараи механикии олам. Манзараи бошукӯҳ ва ягонаи дар заминаи механикаи Нютон бунёдшудаи олам бисёр наслҳои олимонро ба гирдоби ҳайрат андохтааст ва ҳоло ҳам ҳайрон медорад. Ба ақидаи Нютон тамоми олам «аз зарраҳои сахт, зарраҳои дорои вазн, нуфузнопазир ва ҳаракатманд» иборат мебошад. Ин «зарраҳои аввалия мутлақо сахтанд: онҳо назар ба ҷисмҳои аз ҳамин зарраҳо таркибёфта беандоза сахтанд, ки ҳаргиз фарсуда намешаванд ва намешикананд». Онҳо аз якдигар асосан бо сифати худ, бо массаи худ (яъне аз ҷиҳати миқдорӣ) фарқ мекунанд. Ҳамашукӯҳ, ҳама рангорангии олам – ин натиҷаи гуногунии ҳаракати зарраҳо мебошад ва моҳияти дохилии зарраҳо дар дараҷаи дуҷуми аҳамият қарор мегирад.

Заминаи ин гуна манзараи ягонаи олам хусусияти ҳамафароғирандагии қонунҳои нютонии ҳаракати ҷисмҳо мебошад. Чӣ чирмҳои азими кайҳонӣ ва чӣ хурдтарин гарддонаҳои бодсавор дар оромишу ҳаракати худ тобеи ҳамин қонунҳо мебошанд. Ва ҳатто

шамол, яъне ҳаракати дар чашм нонамоёни зарраҳои ҳаво низ тобеи ҳамин қонунҳо мебошанд. Дар тӯли асрҳо муҳаққиқон бовар доштанд, ки қонунҳои асосӣ ва ягонаи табиат қонунҳои Нйутонанд. Чунончи, олими фаронсавӣ Лагранж мегуфт, ки «*касе дар олам хушбахттар аз Нйутон нест, зеро танҳо як бор, танҳо як одамро муяссар мегардад, ки манзараи оламро бунёд бигзорад*».

Вале инкишофи минбаъдаи илм нишон дод, ки манзараи одии механикии олам номукамал будааст. Таҳқиқи рӯйдодҳои электромагнитӣ нишон дод, ки онҳо тобеи механикаи Нйутон нестанд. Максвелл навъи нави қонунҳои бунёни, қонунҳои асо-сиеро кашф кард – қонунҳои ифодакунандаи рафтори майдони электромагнитӣ, ки аз қонунҳои механикаи Нйутон ба куллі фарқ доранд.

Манзараи электромагнитии олам. Дар чаҳорҷӯбаи механикаи Нйутон чунин тасаввур мешуд, ки ҷисмҳо аз тариқи ҷойи ҳолӣ, аз тариқи ҳало (вакуум) ба якдигар бевосита таъсир мекунанд ва ин таъсиrot (таъсиrotи мутақобил) мувофиқан ба нуктаҳои назарияи таъсири дур дар як они воҳид сурат мегирад. Баъди бунёд шудани электродинамика тасаввуроти пажӯҳандагон дар бораи қувваҳо моҳиятан тағйир ёфт. Ҳар яке аз ҷисмҳои мутақобилан таъсиркунанда майдони электромагнитие ба вучуд меоварад, ки он дар фазо бо суръати ниҳой густариш меёбад. Таъсиrotи мутақобил ба воситаи ана ҳамин майдон сурат мегирад (ва ин талаби назарияи таъсири наздик аст).

Қувваҳои электромагнитӣ дар табиат бaсе зиёд дучор меоянд. Онҳо дар ҳастаи атомӣ, дар ҳуди атом, дар молекула, дар байни молекулаҳои ҷудогонаи ҷисмҳои макроскопӣ амал мекунанд. Сабаб он аст, ки дар таркиби ҳама атомҳо зарраҳои до-рои барқа, зарраҳои барқаманд вучуд доранд. Асари қувваҳои электромагнитӣ ҳам дар масофаҳои бағоят кӯтоҳ (чунончи: дар ҳастаи атом) ва ҳам дар масофаҳои кайҳонӣ (тобиши электромагнитии ситораҳо) зоҳир мегардад.

Инкишофи электродинамика боиси ба миён омадани кӯшишҳои бунёдгузории *манзараи электромагнитии ягонаи олам* гардид ва, аз ин рӯ, ҳама рӯйдодҳои олам тобеи қонунҳои *таъсиrotи мутақобили электромагнитӣ* пиндошта мешаванд.

Манзараи электромагнитии олам пас аз бунёди назарияи маҳсуси нисбият ба авҷи худ расид. Маънии аслии ниҳой будани суръати густариши таъсиrotи мутақобили электромагнитӣ дарк шуд,

дар бораи вақт ва фазо таълимоти нав ба вучуд омад, муодилаҳои релятивистӣ эҷод шуд, ки муодилаҳои нյутонии ҳаракатро барои суръатҳои баланд иваз мекунанд.

Дар замиони раванқи манзараи механикии олам мекӯшиданд, ки рӯйдодҳои электромагнитиро дар ҷаҳорҷӯбаи механикии дар муҳити махсус – эфири ҷаҳонӣ рӯйдиханда (ё худ ҳодисшаванда) шарҳ диҳанд. Дар манзараи нав, баръакс, кӯшиданд, ки қонунҳои ҳаракатро бо назарияи электромагнитӣ алоқаманд гардонанд, кӯшиданд, ки зарраҳои моддаро чун «лахтаҳои» майдони электромагнитӣ муоина кунанд.

Аммо дар заминаи манзараи электромагнитӣ шарҳ додани на ҳама рӯйдодҳои электромагнитӣ муяссар гардид. Муодилаҳои ҳаракати зарраҳо ва қонуни *таъсири мутақобили қозибавиро* дар ҷаҳорҷӯбаи назарияи майдони электромагнитӣ ҳосил кардан имкон надорад. Ғайр аз ин, зарраҳои нави хунсо ва навҳои нави таъсири мутақобил ошкор гардиданд. Табиат назар ба он ки дар ибтидо тасаввур мерафт, хеле мураккаб будааст: на қонуни ягонаи ҳаракат ва на қувваи ягона қодир нестанд, ки ҳама гуногунии рӯйдодҳои оламо фаро бигиранд.

Ягонагии сохти ҳайуло (материя). Олам бағоят рангоранг аст. Бо вучуди ин, моддаи ситораҳо ва моддаи Замин яқранганд, монандӣ доранд. Атомҳои таркибдиҳандаи ҳама ҷирмҳои Қайҳон мутлақо якхеланд. Чӣ мавҷудоти зинда ва чӣ чизҳои бечон аз ҳамон як атомҳо таркиб ёфтаанд.

Ҳама атомҳо сохтори якхела доранд ва аз як навъ зарраҳо иборатанд. Ҳастаи атом аз протонҳои нейтронҳои таркиб ёфтаасту ҷома (қишр)-и он – аз электронҳои таъсири мутақобили ҳаставу электронҳои ба воситаи майдони электромагнитӣ (ки пайкҳои он фотонҳои сурат мегардад).

Андаруни ҳастаи протонҳои нейтронҳои ба воситаи *пионҳои* (ё худ пӣ-мезонҳои таъсири мутақобил мекунанд. (Ба иборати дигар, пионҳои чун пайкҳои майдони ҳастаи муоина мешаванд). Ҳангоми коҳидани нейтрон нейтрино¹ ба вучуд меояд.

Ғайр аз ин, бисёр зарраҳои дигари бунёди ва таркиби кашф шудаанд. Вале нақши камобеш муҳим доштани онҳо танҳо дар соҳаи энергияҳои баланд зоҳир мегардад.

1. Ин ҷо *нейтрино* гуфтан чандон сахт нест, зеро ҳангоми коҳидани нейтрон (n) як протон (p), як электрон (e^-) ва як антинейтрино ($\bar{\nu}$) ба вучуд меояд: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$. (С. Қ.).

Дар нимаи аввали а.ХХ муҳаққиқони олами микроразраҳо ин гуна хулосаи бағоят муҳим гирифтанд: *ҳама зарраҳои бунёди ба якдигар табдил ёфта метавонанд.*

Солҳои ҳафтодум дарк шуд, ки ҳадронҳо (яъне зарраҳои зӯртаъсир) аз кваркҳо ном зарраҳои зербунёди таркиб меёбанд. *Кваркҳо* мисли *лептонҳо* (зарраҳои сабук) зарраҳои ҳақиқатан бунёди мебошанд.

Пас аз кашфи зарраҳои бунёди ва табдилоти онҳо дар манзараи ягонаи олам, пеш аз ҳама масъалаи ягонагии сохти ҳайуло дар мадди назар меояд. Заминаи ин ягонагӣ моддӣ (материалӣ) будани ҳамаи зарраҳои бунёди аст. Зарраҳои бунёдии гуногун шаклҳои муайян ва гуногуни мавҷудияти ҳайуло ҳастанд.

Манзараи физикии олам аз нигоҳи физикаи муосир. Ягонагии олам танҳо бо ягонагии сохти ҳайуло (материя) маҳдуд нест, балки ҳам дар қонунҳои ҳаракати зарраҳову ҳам дар қонунҳои таъсироти мутақобили онҳо зоҳир мегардад.

Бо вучуди гуногунии ҳайратангези таъсироти мутақобили ҳисмҳо аз рӯи маълумоти ҳозираи илмӣ дар табиат танҳо чаҳор навъ қувва ҳаст: *қувваҳои ҷозиба, қувваҳои электромагнитӣ, қувваҳои ҳастай ва қувваҳои сусти (ё таъсироти мутақобили сусти).* Таъсироти мутақобили сусти асосан дар мавридҳои ба якдигар табдил ёфтани зарраҳои бунёди зоҳир мегардад. Ин чаҳор навъ қувва дар фазои беканори Кайҳон, дар ҳар гуна ҳисми заминӣ (аз ҷумла дар мавҷудоти зинда), дар атому ҳастаи он ва дар ҳама табдилоти зарраҳои бунёди зоҳир гардида метавонанд.

Тағйироти инқилобии тасаввуроти классикӣ дар бораи манзараи физикии олам пас аз кашфи ҳосиятҳои квантии микроразраҳо ва дарки табиати онҳо рӯй дод. Ҳамақадамона бо пайдоиши физикаи квантӣ, ки ҳаракати микроразраҳоро тавсиф медиҳад, ҷузъиёти нави манзараи физикии олам паёпай ба майдон омадаанд.

Ба модда (ки сохти канда-канда ё худ мунфасила дорад) ва майдони бефосила (муттасила) тақсим кардани ҳайуло маънии мутлақи худро гум кард. Ҳар як майдон пайкҳо (квантҳо)-и ба худ хос дорад: майдони электромагнитӣ ба воситаи *фотонҳо* мавҷудият пайдо мекунаду майдони ҳастай – ба воситаи пионҳо (пӣ-мезонҳо) ва дар дараҷаи чуқуртар – ба воситаи *глюонҳо* ном зарраҳое, ки кваркҳоро бо якдигар алоқаманд мегардонанд.

Дар навбати худ, ҳама зарраҳо ҳосиятҳои мавҷӣ зоҳир мекунаанд. Дугунагӣ (дуализм)-и «зарра-мавҷ» ҳама шаклҳои ҳайулоро

хос мебошад. Зохиран, дар чаҳорчӯбаи як назария тавсиф додани хосиятҳои якдигарро гӯё истиснокунандаи заррагӣ ва мавҷӣ аз он ҷиҳат имконпазир мебошад, ки қонунҳои ҳаракати ҳама микрозарраҳо рафтори омории (ё худ рафтори эҳтимолотӣ, рафтори статистикӣ) доранд. Ин далел ба таври «мутлак» пешгӯӣ кардани рафтори ин ё он микрозарраро имконнопазир мегардонад.

Қонуниятҳои назарияи квантӣ комилан умумианд: онҳо барои тавсифи ҳаракату таъсири мутақобил ва табдилоти мутақобили ҳама зарраҳо қобили истифода мебошанд.

Ҳамин тарик, физикаи муосир хусусиятҳои ягонагии табиатро дар пеши назари мо бисе равшан ҷилвагар месозад. Бо вучуди ин, мо бисёр ҷиҳатҳо ё, шояд, ҳатто худ моҳияти физикии ягонагии оламро ҳанӯз ҳам то умқи дарк накарда бошем. Маълум нест, ки чаро адади зарраҳои бунёдӣ хеле зиёд аст, чаро онҳо маҳз ҳамон гуна массаву барқа ва дигар мушаххасот доранд, ки доранд. То ҳол ҳамаи ин бузургиҳо ба таври таҷрибавӣ ёфта мешаванд.

Хушбахтона, вақтҳои охир дар байни навъҳои гуногуни таъсири мутақобил алоқамандии муайяне ба назар расидан дорад. Аллақай таъсири мутақобили электромагнитӣ ва сусти як қарда шудааст ва назарияи ин ягонагӣ назарияи *таъсири мутақобили электросусти* ном гирифтааст. Сохтори аксари зарраҳои бунёдӣ, метавон гуфт, умуман дарк шудааст.

«Ин ҷо он қадри сирри асрор, он қадри фикрҳои олиӣ ниҳон аст, ки сарфи назар аз қӯшиши садҳо мутафаккири зарифтарини ҳазорсолаҳои охир ҳанӯз ҳам шикоятна нашудаанд ва ҳисси фараҳангези кашфиёту ҷустуҷӯҳои амиқ ҳанӯз ҳам барҷой мебошад». Ин гуфтаи Галилей бо вучуди умри севунимасра доштан ҳанӯз ҳам қимати худро гум накардааст.

Чаҳонбинии илмӣ. Қонунҳои бунёние, ки дар ҷабҳаи табиатшиносӣ ва хусусан илми физика дарк шудаанд, аз ҷиҳати печидагӣ ва умумияти худ назар ба далелҳои, ки тадқиқи ҳар гуна рӯйдоди табиӣ аз онҳо сар мешавад, мураккабтару умумитар мебошанд. Бо вучуди ин, қонунҳои физикӣ ба дараҷаи рӯйдодҳои содаи бевосита мушоҳидашавандаи табиӣ боварибахш ва воқеианд. Ин қонунҳо дар ягон маврид, ба ҳеч ваҷҳ вайрон намешаванд.

Шумораи ҳарчи бештари одамон дарк мекунанд, ки қонунҳои физикӣ, қонунҳои идоракунандаи табиат барои мӯъҷиза ҷой на-

мемонанд. Дарки ин қонунҳо инсониятро имкон медиҳад, ки зинда бимонад¹.

§95. Физика ва инқилоби илмиву техникӣ

Дар замони ҳозира бузургтарин инқилоби илмиву техникӣ рӯй дода истодааст. Беш аз ним аср аст, ки ин инқилоб оғоз шуда ва аллақай бисёр соҳаҳои илму техникаро ба кулӣ тағйир додааст. Яке аз қадимтарин илмҳо – нучум (астрономия) ҳоло инқилоберо аз сар мегузаронад, ки он бо воқеаи ба фазои Қайҳон баромадани одам алоқаманд аст. Тавлиди кибернетика ва ҳисобмошинҳои электронӣ (роёнаҳо, компютерҳо) симои илми риёзиётро ба кулӣ тағйир дод, сӯйи соҳаи нави ғаъолияти инсонӣ, сӯйи информатика роҳ кушод. Пайдоиши биологияи молекулярӣ ва генетика дар илми зистшиносӣ (биология) инқилоб ангехт. Тавлиди соҳаи ба истилоҳ Кимиёи бузург бошад, маҳсули инқилобест, ки дар илми кимиё чараён гирифтааст. Ҳамин гуна пешрафт дар заминшиносӣ (геология), ҳавошиносӣ (метеорология), укёнусшиносӣ (океанология) ва бисёр соҳаҳои илми дигари муосир низ рӯй додан дорад.

Дар замони мо ҳама соҳаҳои асосии техника низ тағйироти чуқури сифатӣ дидан дорад. Инқилоби энергетика, аз ҷумла, бо он алоқаманд аст, ки ба ҷойи неругоҳҳои ҳароратии барқ (ки бо сӯзишвории органикӣ қор мекунанд) неругоҳҳои атомии барқ бунёд карда шавад. Дар соҳаи маводшиносӣ ин инқилоб аз амали таракқӣ додани саноеъ (индустрия)-и маводи сунъии дорои хосиятҳои ғайриодӣ, вале барои амалия бағоят муҳим иборат аст.

Ҳамаҷониба автоматӣ ва механикӣ гардондани саноеъ ва кишоварзӣ ин соҳаҳоро дар маҷрои инқилоб меандозад. Нақлиёт, бинокорӣ, алоқа ба соҳаҳои усулан нави пуриктидортар ва мукамалтари техникаи муосир табдил хоҳанд ёфт. Аз ҷамъбасти ҳамаи ин гуфтаҳо хулосаи муҳиме сар мезанад: инқилоби илмиву техникӣ (ИИТ) дар ҷабҳаи қувваҳои истеҳсолкунанда инқилобе ба

1. Ба андешаи мо, як имконе, ки бузургоне чун А.Эйнштейн, В.Ҳайзенберг ва дигарон онро ҳеҷ гоҳ дур аз назар намедоштанд, аз доираи муоинаи муаллифҳои китоби «Физика, 11» (ки, мутаассифона, аз олам гузаштаанд) берун мондааст – ин ки он абармардони ҷодаи илм дар паси таносуби номуайяниҳои «импульс-координат» (ё худ «энергия-вақт») номуайяние алоқаманд бо Худованди Бузург эҳсос кардаанд. (С.Қ.).

вучуд овардан дорад, ки барои минбаъд равнақ додани он шумораи харчи бештари мутахассисони баландхитисостар зарур меояд.

ИИТ мақоми илмро дар ҳаёти ҷомеа ба куллий тағйир дод. *Илм қувваи бевоситаи истеҳсолкунанда гардид.* Бадеҳӣ аст, ки дар оянда низ истеҳсоли воситаҳои зиндагонӣ танҳо вобаста ба дараҷаи корбаст шудани комёбиҳои илмӣ афзуда метавонад.

ИИТ инсониятро ногузир сӯйи бозсозии азим ва такмили ҳама ҷабҳаҳои истеҳсолот мебарад. Дар айни ҳол ИИТ масъалаи ҳифзи муҳити зистро ба як масъалаи бағоят муҳими замон табдил медиҳад.

Физика ва нучум. Дар табиатшиносии муосир физика илми пешоҳанг аст ва ба соҳаҳои гуногуни дигари илмӣ, ба техника ва истеҳсолот таъсири бузурги инқилобӣ мерасонад.

Дар тӯли ҳазорҳо сол донандагони илми нучум (мунаҷҷимон, астрономҳо) дар бораи рӯйдодҳои кайҳонӣ танҳо бо маълумоте қонеъ мебуданд, ки ба воситаи рӯшноӣ ба даст меомад. Метавон гуфт, ки онҳо барои омӯзиши ин рӯйдодҳо танҳо як «роғи танги» тайф (спектр)-и нурҳои электромагнитиро истифода мекарданд. Ҷаҳор даҳсола пеш дар рафти инкишофи радиофизика илми радиоастрономия ба вучуд омад, ки он тасаввуроти мавҷударо дар бораи Коинот хеле васеъ гардонд. Вай имкон дод, ки мавҷудияти бисёр ҷирмҳои то ин дам номаълуми кайҳонӣ ошкор карда шавад. Қитъаи нави дар фосолаи мавҷҳои детсиметрӣ ва сантиметрӣ ҳобидаи мавҷҳои электромагнитӣ манбаи иловагии донишҳои нучумӣ гардид.

Ахбори зиёди илмие, ки аз Коинот ба воситаи навҳои дигари тобиши электромагнитӣ меояд, ба Замин норасида, дар атмосфераи он гум мешавад. Пас аз он ки одам ба фазои Коинот баромад, шоҳаҳои нави илмӣ – астрономияи тобиши ултрабунафш (фаробунафш) ва инфрасурх (фурӯсурх), астрономияи рентгенӣ, гамма-астрономия ба вучуд омаданд, ки имконоти онро афзуданд, доираи таҳқиқи тобишҳои кайҳонии аввалиеро, ки то ба сарҳадди атмосфераи Замин мерасид, бағоят васеъ гардонданд: пажӯҳандагон акнун имкон пайдо карданд, ки ҳама навҳои тобишҳоро зарраҳои кайҳониро таҳқиқ кунанд. Ҳамин буд, ки дар даҳсолаҳои охир назар ба тамоми таърихи нучум бештар ахбори илмӣ ба даст омад. Бояд гуфт, ки нучумдонон дар ин гуна таҳқиқот усулҳо ва

асбобҳои физикиро истифода мекунад. Нучуми қадимӣ ба илми ҷавони зудинкишофёбанда – ба астрофизика табдил ёфт.

Ҳоло *астрономияи нейтринӣ* ном шоҳаи илмие бунёд ёфта истодааст, ки дар заминаи комёбиҳои физикаи ҳаста ва физикаи зарраҳои бунёдӣ ба майдони вучуд омадааст, имкон медиҳад, ки дар бораи падидаҳои дар қаъри чирмҳои кайҳонӣ, аз ҷумла падидаҳои дар қаъри Офтоб рӯйдиханда маълумоти пурқимат ба даст оварда шавад.

Физика ва биология (зистшиносӣ). Инқилоби илмиву техникиро дар ҷабҳаи биология одатан бо пайдоиши биологияи молекулӣ ва генетика, ки ҳаётро дар дараҷаи хурдтарин зарраҳои вучуди зинда – молекулаҳо меомӯзанд, алоқаманд месозанд. Воситаҳову усулҳое, ки биологияи молекулӣ истифода мекунад –микроскопҳои электронӣ ва протонӣ, таҳлили рентгении сохтори модда, электронография, таҳлили фаълсозона (таҳлили активатсионӣ)-и нейтронӣ, усули нишонаатомҳо ва ғ. ҳама воситаҳову усулҳои физикианд. Ва мутахассисҳои соҳаи зистшиносӣ бе истифодаи ин воситаҳову усулҳои соф физикӣ ба дараҷаи сифатан нави таҳқиқи падидаҳои биологӣ даст ёфта наметавонанд.

Мақоми физикаи муосир дар қори бозсозии инқилобии илмҳои кимиё, заминшиносӣ, уқёнусшиносӣ ва як қатор илмҳои дигари табиатшиносӣ на камтар муҳим аст.

Физика ва техника. Физика инчунин дар сари сарчашмаи навсозии инқилобии ҳама риштаҳои техника қарор дорад. Дар заминаи комёбиҳои техникӣ энергетика, алоқа, нақлиёт, соҳтмон, истеҳсолоти саноатӣ ва кишоварзӣ амалияи худро раванқ медиҳанд.

Энергетика. Инқилоби энергетика бо пайдоиши энергетикаи атомӣ алоқаманд мебошад. Захираи энергияи сӯзишвории атомӣ аз захираи энергияи сӯзишвории муқаррарии ҳанӯз носӯхта ҷандин бор зиёд аст. Ангишт, нафт ва гази табиӣ ҳоло барои кимиёи бузург ашёи гаронбаҳое гардидаанд. Онҳоро ба миқдори зиёд сӯзонидан ба ин соҳаи муҳими истеҳсолот зарари ислоҳнопазир мерасонад. Бинобар ин истифодаи сӯзишвории атомӣ (уран, плутоний ва ғ.) ба мақсад мувофиқтар мебуд. Неругоҳҳои хароратии барқ ба миқдори зиёд гази карбонат ба вучуд меоваранд, ки он муҳити зистро ғажд мегардонад, ҳол он ки неругоҳҳои атомии

барқ (НАБ) дар сурати назорати хуб доштан аз ин нуқтаи назар беҳавф буда метавонанд.

Неругоҳҳои гармохастаии оянда чомаеро аз ташвиши рӯзафзуни ҷӯиши манбаҳои энергия озод хоҳад гардонд. Бунёди илмии энергетикаи атомӣ ва гармохастаӣ, чунонки маълум аст, битамом бар комёбиҳои физикаи ҳаста таъя мекунад.

Тавлид гардондани маводи матлуб. Техникаи оянда на маводи тайёри табиӣ (ки аллақай талаботи пойдорӣ ва бақодориро қонеъ гардонда наметавонанд), балки маводи таркибӣ (маводи синтезӣ)-ро бо хосиятҳои муайян истифода мекунад. Дар тавлиди ин гуна мавод дар баробари кимиёи бузург истифодаи таъсироти гуногуни физикӣ (дастаҳои электронӣ, ионӣ ва лазерӣ, майдонҳои магнитии бисе шадид, фишору ҳароратҳои абарбаланд, ултрасадо (фаросадо) мақоми ҳарчи бештар пайдо карда истодаанд. Ин усулҳо имкони ҳосил кардани маводи веҷахосият ва эҷоди тарзҳои усулан нави коркарди моддаро дарбар мегиранд. Истифодаи ин усулҳо технологияи истеҳсолотро ба қулӣ тағйир дода метавонад.

Худкор (автоматӣ) гардондани истеҳсолот. Дар оянда дар ҷабҳаи эҷоди истеҳсолоти ҳамачониба худкоре, ки хатҳои автоматии табдилпазир, роботҳои саноатии ба воситаи микрокомпютерҳо идорашаванда ва инчунин дастгоҳҳои электронии санҷишу назоратро дарбар мегирад, кӯшиши бисёре ба ҳарч додан мебояд. Бунёди илмии ин гуна истеҳсолот бар комёбиҳои радиоэлектроника, физикаи ҷисмҳои сахт, физикаи ҳастаи атом ва чанд шохаи дигари физикаи муосир таъя мекунад, бо ин соҳаҳо робитаи ботинӣ дорад.

Физика ва информатика. Физика дар бунёди техникаи ҳисоббарории ҳозира сахми муҳим дорад. Ҳама наслҳои ҳисобмошинҳои электроние (бо лампаҳои вакуумӣ, нимноқилҳо ва речаҳо (моделҳо)-и интегралӣ, ки то ҳол бунёд шудаанд, дар лабораторияҳои физикӣ ба вучуд омаданд.

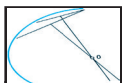
Физикаи муосир дар роҳи боз ҳам хурдтар гардондани ҳисобмошинҳои электронӣ ва афзудани дараҷаи зудкориву эътимоди онҳо ояндаи хуб дорад. Татбиқи лазерҳо ва бо ёрии онҳо инкишоф додани ҳолография (голография) дар такмили воситаҳои ҳисоббарорӣ имконоти зиёде дорад.

Интернет. Солҳои 60-и а. XX дар ИМА компютерҳои бисё-
реро ба василаи сими телефон бо якдигар алоқаманд гардонданд
– дар натиҷа чандин шабакаи компютерӣ ба вучуд омад.

Солҳои 70-и а. XX «Интернет» (Internet) ном шабакаи ҷаҳоние
пайдо шуд, ки ҳама навъи компютерҳоро (новобаста ба сарҳадҳои
давлатӣ) муттаҳид мекард. Солҳои 80-уми а. XX ин шабака бисёр
рушд кард, садҳо, баъдтар ҳазорҳо донишгоҳ, муассиса ва ниҳодҳо
компютерҳои худро ба ин шабака пайвастанд. Интернет беш аз
40 000 шабакаи хурду бузургро муттаҳид кард. Ҳама имкон пайдо
кард, ки ба василаи компютери худ ба ин шабака ворид шавад.



*Мо ин ҷо дар бораи ҳама ҷиҳатҳои робитаи ботинии илми фи-
зикаву техника ва дигар риштаҳои илмии замонавӣ сухан рондем.
Аммо ҳамин мисолҳо кофианд, то бидонем, ки физика дар равақ
додани инқилоби илмиву техникӣ чӣ мақом дорад.*



1. Омӯзиши падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)

Лавозимот: Миллиамперметр, манбаи барқ, ғалтакҳои дорои мағза (дилак), магнети камоншакл, тугмакалиди электрикӣ, симҳои пайваस्तкунанда, кутбнамо (ё ақрабаки магнитӣ), реостат.

Омода кардани асбобҳо

1. Ба яке аз ғалтакҳо мағзай оҳанин ворид созед ва онро бо ягон винт маҳкам кунед. Ин ғалтакро ба василаи миллиамперметр, реостат ва калид ба манбаи ҷараён пайвандед. Калидро пайваста, ба воситаи кутбнамо кутбҳои магнитии ғалтаки ҷараёндорро муайян кунед. Бинед, ки ақрабаки миллиамперметр кадом сӯ майл меҳӯрад. Минбаъд дар бораи мавқеи кутбҳои магнитии ғалтак аз рӯи майли ақрабаки ин асбоб хулоса гирифта метавонед.

2. Реостат ва калидро аз занҷир ҷудо кунед. Миллиамперметрро бо ғалтак ба ҳамон тартиби пешинаи пайвастани шохаҳои занҷир пайвандед.

Тартиби кор

1. Мағзай оҳанинро ба яке аз кутбҳои магнети камоншакл наздик баред ва онро дар ғалтак дароред ва дар айни замон рафтори ақрабаки миллиамперметрро мушоҳида кунед.

2. Мушоҳидаро барои мавриди аз ғалтак берун кашидани мағза ва мавриди иваз кардани кутби магнит такрор кунед.

3. Дар дафтари лабораторӣ тарҳи таҷрибаро тасвир созед ва шартҳои риояшудани қоидаи Ленсро барои ҳарду маврид бисанҷед.

4. Ғалтаки дуҷумро дар назди ғалтаки якум тавре бигзоред, ки онҳо ҳаммехвар оянд.

5. Мағзаҳои оҳанинро дар даруни ғалтакҳо ҷой диҳед ва ғалтаки дуҷумро ба воситаи калид ба манбаи барқ пайвандед.

6. Калидро пайвастасу кушода, майлхӯрди ақрабаки миллиамперметрро мушоҳида кунед.

7. Аз рӯи таҷриба шартҳои риояшудани қоидаи Ленсро бисанҷед.

2. Муайян кардани қобилияти шуъшикании шиша

Лавозимот, санҷишҳои зарурӣ, воситаҳои санҷиш

Қобилияти шуъшикании лавҳаи шишагинеро муайян кардан мебоҷад, ки шакли трапесия (зузанақа) дорад.

Мойилан ба яке аз рӯяҳои лавҳа дастаи борики рӯшноӣ равона мекунад. Ин даста дар сурати аз лавҳа гузаштан ду бор мешиканад. Ба сифати манбаи рӯшноӣ чароғи электрикӣ истифода мешавад, ки ба василаи калид ба ягон манбаи чараён пайваस्त аст. Дастаи борики рӯшноӣ аз нури чароғ ба воситаи варақаи ношаффофе ҷудо карда мешавад, ки он ягон сӯроҳ (ё чағ) дорад. Гафсии дастаи рӯшноиро аз хисоби каму зиёд кардани масофаи байни чароғ ва лавҳаи сӯроҳдор тағйир додан мумкин аст.

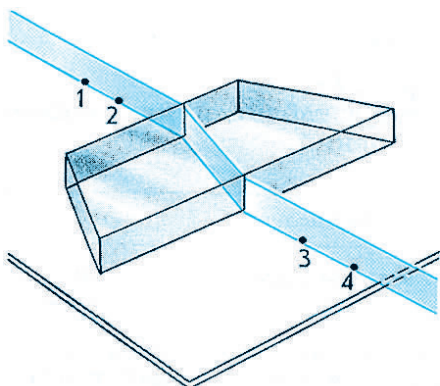
Қобилияти шуъшикании шиша n нисбат ба ҳаво чунин ёфта мешавад:

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

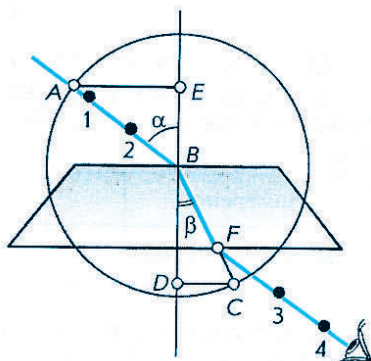
ин ҷо α кунҷест, ки рӯшноӣ таҳти он аз ҳаво ба шиша мезанад; β кунҷи шикасти рӯшноӣ (дар шиша) аст.

Нисбати синусҳоро ин хел меёбанд. Пеш аз он ки дастаи рӯшноӣ ба лавҳаи шишагин равона карда шавад, лавҳаро дар рӯйи варақаи қоғаз миллиметритаксимот ё варақи хона-хона тавре мегузоранд, ки яке аз рӯяҳои мувозӣ (параллелӣ)-и он бо хатти пешакӣ нишонашудаи рӯйи қоғаз ҳамҷо ояд. Ин хат сарҳадди ҷудоии ҳарду муҳит (ҳаво – шиша)-ро ифода мекунад. Баъд бо қалами тез баробари рӯйи дуҷуми мувозӣ хат мекашанд – ин хат сарҳадди ҷудоии шиша – ҳаворо ифода мекунад.

Баъд шишаро дар ҳамин ҳолат нигоҳ дошта (яъне онро начунбонда), ба рӯйи аввали он дастаи борики рӯшноиро таҳти ин ё он кунҷ равона месозанд. Дар роҳи рафти дастаи ба шиша занандаи рӯшноӣ ва шуъба аз он бароянда бо қалами тез чанд нукта мегузоранд (нуктаҳои 1, 2, 3, 4 дар рас.192). Чароғро ҳамӯш карда, шишаро аз рӯйи қоғаз мегиранд ва бо ёрии хаткашак шуъбаҳои ба шиша зананда, аз он бароянда ва шикастаро дар рӯйи қоғаз тасвир месозанд (рас.193). Аз тариқи нуктаи B -и сарҳадди ҳаво – шиша хатти амудӣ мекашанд ва кунҷҳои афтишу шикаст (α ва β)-ро сабт мекунад. Сипас ба воситаи паргор дар гирди нуктаи B (марказ) давра мекашанд ва ду секунҷаи росткунҷа месозанд – ABE ва CBD .



Рас. 192



Рас. 193

Азбаски $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$ ва $AB = BC$ ҳастанд, пас, формулаи муайян кардани n -и шиша шакли зайл мегирад:

$$n = \frac{AE}{DC}. \quad (1)$$

Дарозии порчаҳои AE ва DC -ро ё аз рӯйи когази миллиметрӣ меёбанд ё онҳоро бо хаткашак чен мекунанд (дар ин маврид хатои асбоби таҷрибаро 1 мм мегиранд). Хатои ҳисоби мавқеи хаткашакро нисбат ба қанори дастаи рӯшноӣ низ баробари 1 мм гирифта зарур аст.

Зиёдтарин қимати хатои нисбии санҷиши қобилияти шуъшиканиро ба ин тарз ҳисоб кардан мебояд:

$$\varepsilon = \frac{\Delta AE}{AE} + \frac{\Delta DC}{DC}.$$

Мисли ҳамин, зиёдтарин қимати хатои мутлақ ин тавр ёфта мешавад:

$$\Delta n = n_{\text{макр}} \varepsilon.$$

(Ин ҷо $n_{\text{макр}}$ қимати тақрибии аз рӯйи формулаи 1 ёфташудаи қобилияти шуъшиканӣ мебошад).

Ҳамин тариқ, натиҷаи чен кардани қобилияти шуъшиканӣ бояд ин тавр сабт карда шавад:

$$n = n_{\text{макр}} \pm \Delta n.$$

Омода сохтани лавозимот

1. Барои сабти натиҷаҳои санҷиш ва ҳисобукитоби онҳо вараке тайёр кунед бо ин гуна чадвал:

Натиҷаи санҷиш		Натиҷаи ҳисобукитоб				
AE, мм	DC, мм	$n_{\text{макр}}$	ΔAE, мм	ΔDC, мм	ε, %	Δn

2. Чароги электрикиро ба воситаи калид ба манбаи ҷараён пайвандед. Баъд ба воситаи варақа (ё лавҳа)-и ношаффофи сӯроҳдор дастаи борики рӯшноӣ ҳосил (ҷудо) кунед.

Натиҷагирӣ ва ҳисобукитоби натиҷаҳо

1. Қимати қобилияти шуъшикании шишаро нисбат ба ҳаво барои ягон кунҷи афтиш муайян кунед. Натиҷаи санҷишро бо хатоҳои ёфтаатон дар дафтари лабораторӣ сабт кунед.
2. Таҷрибаро барои қимати дигари кунҷи афтиш такрор кунед.
3. Натиҷаҳои аз рӯйи формулаҳои

$$n_{1\text{макр}} - \Delta n_1 < n_1 < \Delta n_1 + n_{1\text{макр}}$$

$$n_{2\text{макр}} - \Delta n_2 < n_2 < \Delta n_2 + n_{2\text{макр}}$$

ҳосилшударо муқоиса кунед.

4. Дар бораи ба кунҷи афтиш вобаста будан ё набудани қобилияти шуъшикандандагии шиша хулоса бароред. (Усули муқоисаи натиҷаҳои санҷишҳои гуногун дар муқаддимаи фасли «Қорҳои лабораторӣ»-и «Физика, 10» баён шудааст).

Пурсиш

Барои муайян кардани қобилияти шуъшикании шиша ба воситаи зовиясанҷ (транспортёр) кунҷҳои α ва β-ро (ниг. рас.193) ҷен кардан ва нисбати синусҳои онҳоро ёфтан кофист (ниг. формулаи 1). Кадомин усул беҳтар аст: ҳамин усул ё усули дар боло баёншуда?

3. Ҷен кардани дарозии мавҷи рӯшноӣ

Лавозимот, санҷишҳои зарурӣ, воситаҳои санҷиш

Барои муайян кардани дарозии мавҷи рӯшноӣ панҷараи дифраксионии даврш 1/100 мм ё 1/50 мм истифода мешавад (даври панҷара дар рӯйи он сабт аст). Панҷараи дифраксионӣ ҷузъи асосии дастгоҳи дар рас.194 тасвирёфта мебошад. Панҷараи 1 дар пояи 2

ва ин поя, дар навбати худ, дар нӯги чадвали 3 маҳкаманд. Лавҳаи сиёҳи роғдор низ дар рӯйи ҳамин чадвал ҷой дода мешавад. Дар рас.194 лавҳаи мазкур бо рақами 4 ишорат шудаасту роғи он бо рақами 5. Лавҳаи сиёхро ба қадди чадвал пасу пеш ҳаракат додан мумкин аст – ин имкон медиҳад, ки масофаи байни лавҳа то панҷара тағйир дода шавад. Ҷадвал ва лавҳаи сиёҳ шкала (микрос)-и миллиметритақсимот доранд. Ин дастгоҳ дар пояи 6 «овезон» аст.

Агар аз тариқи панҷара ва роғ ба манбаи рӯшноӣ (ҷароғи электрикӣ ё шамъ) нигарем, дар замини сиёҳи лавҳаи роғдор (ки дар ин маврид чун экран хидмат мекунад) мебинем, ки дар ҳарду тарафи роғ тайфҳо (спектрҳо)-и тартиби якум, дуҷум ва ғ. ба вучуд меоянд.

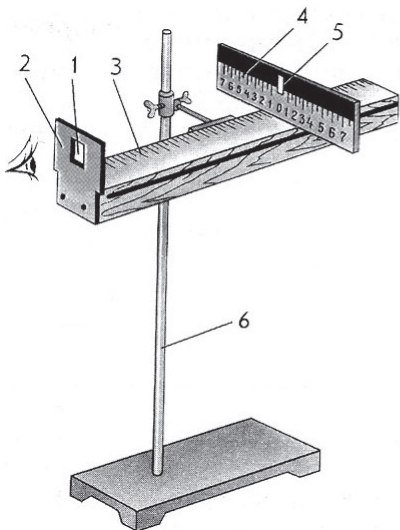
Дарозии мавҷи λ ин тавр ёфта мешавад:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k},$$

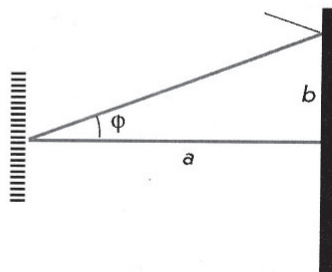
ки ин ҷо d даври панҷара аст k –тартиби тайф (спектр) ва φ –кунҷе, ки таҳти он максимуми рӯшноии дорои ин ё он ранг менамояд.

Азбаски кунҷҳои биниши максимумҳои тартиби 1 ва 2 на бештар аз 5° ҳастанд, пас, ба ҷойи синуси ин кунҷҳо тангенсҳои онҳоро истифода кардан ҷоиз аст. Аз рӯйи рас.195

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{a}$$



Рас. 194



Рас. 195

аст. Масофаи a -ро, ки фосилаи байни панчараву экран аст, аз рӯйи чадвал ба ҳисоб мегиранду масофаи байни роғ ва максимуми интихобшуда (b)-ро – аз рӯйи чадвали дутарафаи экран.

Бинобар ин, формулаи ниҳоии муайян кардани дарозии мавҷ шакли зайл мегирад:

$$\lambda = \frac{db}{ak}$$

Дар ин кори лабораторӣ ба сабаби то дараҷае номуайян будани интихоби миёнаҷойи чузъи тайф (спектр)-и ин ё он ранг ҳисобукитоби хатойи санҷиши дарозии мавҷ ҳатмӣ нест.

Омода сохтани лавозимот

1. Барои сабти натиҷаҳои санҷиш ва ҳисобукитоби онҳо вараке омода созед.

2. Дастгоҳи таҷрибаро омода созед; пардаи намоиш (экран)-ро тақрибан 50 см дур аз панчара қарор диҳед.

3. Аз тариқи панчара ва роғи лавҳаи сиёҳ сӯйи манбаи рӯшноӣ нигариста, панчараро дар ҷойи худ тавре лағзонад, ки тайфҳои дифраксионӣ мувозан (параллелан) ба шкалаи пардаи намоиш воқеъ шаванд.

Натиҷагирӣ ва ҳисобукитоби натиҷаҳо

1. Дарозии мавҷи нури сурхро дар тайфи тартиби якум барои харду тарафи роғи экран ҳисоб кунед. Қимати миёнаи натиҷаҳои санҷишро муайян кунед.

2. Ҳамин амалро барои нури бунафш тақрор кунед.

3. Натиҷаҳои ҳосилшударо бо дарозии мавҷи нурҳои сурх ва бунафше, ки дар варақи рангаи V, I оварда шудааст, муқоиса кунед.

4. Мушоҳидаи тайфҳо (спектрҳо)-и бефосила ва раҳрах

Таҷҳизот: Дастгоҳи аксандоз (проектор), найчаҳои тайфии пурҳидроген (пурнеон, пурхелий), индуктори баландволтаж, манбаи барқ, поя, ноқилҳои пайвастунанда (ин лавозимот барои ҳама хонандагонии гурӯҳи лабораторӣ умумианд), лавҳачаи шишагини лаббурида (ба ҳар кас дода мешавад).

Натиҷагирӣ (таҷриба)

1. Лавҳачаро дар ростии чашми худ мавқеи уфуқӣ диҳед. Аз тариқи рӯяхое, ки байни худ кунҷи 45° ташкил медиҳанд, дар пардаи

намоиш рахи равшани амудиеро мушоҳида кунед, ки тасвири роғи дастгоҳи аксандоз бошад.

2. Рангҳои асосии тайфи ҳосилшударо дар дафтари лабораторӣ бо ҳамон тартибе, ки мушоҳида мешаванд, сабт кунед.

3. Таҷрибаро барои мавриди истифода шудани рӯяҳои тақрор кунед, ки кунҷи байнашон 60° аст. Тайфи ҳосилшударо бо тайфи пешина муқоиса кунед.

4. Найчаи пурҳидрогенро даргиронда, нури онро аз тариқи рӯяҳои лавҳачаи шишагин мушоҳида карда, равшантарин рахҳои тайфи ҳосилшударо дар дафтар сабт гардонед.

5. Ин амалро барои найчаҳои ҳелийдор ва неондор тақрор кунед.

5. Омӯзиши «радди по»-и зарраҳои барқаманд

Дар ин кори лабораторӣ барои «шинохтан»-и зарраи номаълум «радди по» (ё худ изи пой)-и онро бо радди зарраи маълум (дар ин кори лабораторӣ бо радди протон) муқоиса кардан мебояд.

Лавозимот, санҷишҳои зарурӣ, воситаҳои санҷиш

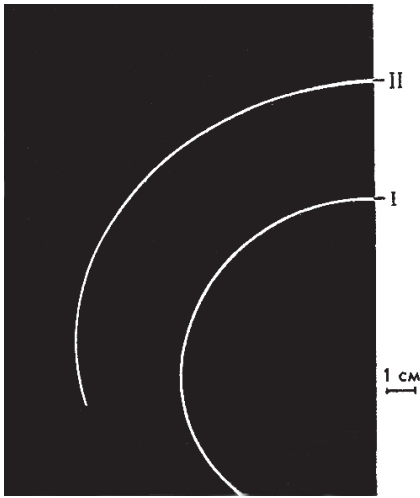
Барои иҷро кардани кори лабораторӣ сурати фотографияи тайёре (рас.196) истифода мешавад, ки дар он радди протон (хати I) ва радди зарраи номаълум (хати II) тасвир ёфтааст. Ин сурат бо камераи дар майдони магнитӣ ҷододаи Вилсон гирифта шудааст. Хатҳои индуксияи майдони магнитӣ амудан ба ҳамвори сурат равонаанд. Суръатҳои ибтидоии ҳарду зарра якхелаанд ва онҳо амудан ба канори сурат равона мебошанд.

Барои шинохтани зарраи номаълум барқай хоси он $\frac{q}{m}$ -ро бо барқай хоси протон муқоиса кардан мебояд. Ин дар мавриде осон аст, ки радиуси раддҳои ҳарду зарраро барои қитъаҳои аввали раддҳо чен ва муқоиса кунем.

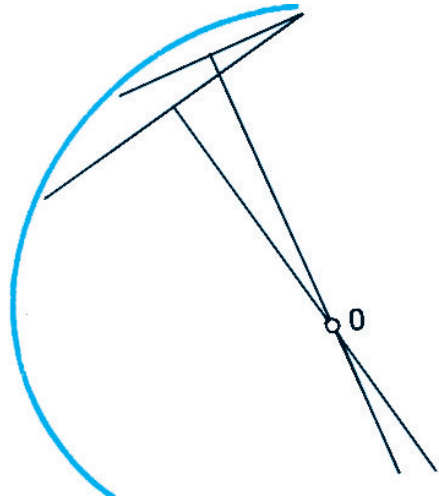
Замини назарӣ. Барои зарраи барқаманде, ки амудан ба вектори индуксияи майдони магнитӣ дарҳаракат аст, чунин навиштан мумкин аст (ниг. «Физика, 10»), формулаи 9.6):

$$qB = \frac{mv^2}{R} \quad \text{ё} \quad \frac{q}{m} = \frac{v}{BR}.$$

Фаҳмош, ки нисбати барқай хоси зарраҳо ба нисбати чаппаи радиусҳои масирҳо (траекторияҳо)-и онҳо баробар мебошад. Радиуси қачии радди зарраро ба ин тарз муайян кардан мумкин аст. Дар рӯи сурати рас.196 коғази шаффоф ё нимшаффофе гузошта,



Рас. 196



Рас. 197

тасвири раддхоро ба он мегузаронанд (эҳтиёт кунед, ки фотосурат осеб набинад). Баъд, чунонки дар рас.197 омадааст, аввал ду ватар (хорда) ва баъд аз мобайни ҳар яки онҳо хатти амудӣ (перпендикулар) мекашанд. Нуқтаи бӯриши ин хатҳо маркази даврaro ифода мекунад. Радиуси даврaro бо хаткашак чен мекунанд.

Омода сохтани лавозимот

1. Барои сабти натиҷаҳои мушоҳида ва ҳисобукиҳои онҳо варақе омода кунед бо «Ҷадвали натиҷаҳо» (он сон, ки барои сабти натиҷаҳои кори лаборатории №2 карда будед).

2. Радди зарраҳоро аз сурати фотография ба қоғази шаффоф (ё нимшаффоф) гузаронед.

Тачриба (натиҷагирӣ) ва ҳисобукиҳои натиҷаҳои он

1. Радиус (шуоъ)-и қачии қитъаҳои аввали радди зарраҳоро аз рӯйи қоғази шаффоф чен кунед.

2. Барқаҳои хоси зарраи номаълум ва протонро муқоиса кунед. Зарраи номаълумро «бишносед».

Пурсиш

1. Вектори индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ) нисбат ба ҳамвории сурати фотография чӣ гуна самт дорад?

2. Сабаб чист, ки радиуси қачии радди зарра дар ҳар қитъаи ҳамон як радд қимати гуногун дорад?

ҶАВОБИ МАШҚҶО

Машқи 1. 6. Дар ғалтаки дуом пас аз муддате чараёни доимӣ муқаррар мешавад. 8. 0,2 А. 9. 0,15В. 10. 1,2 Ҷ.

Машқи 2. 1. 0,005 Ҷ. 2. $\approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ с; $\approx 2,52 \cdot 10^{-6}$ с. 3. Аз 16 то 10 мҲн (миллихенрӣ), 4. $\approx 0,63В$. 5. $\approx 0,63В$. 6. $\approx 0,28А$.

Машқи 3. 1. Қабатҳои байни лавҳаҳо бояд амудан ба меҳвари навард воқеъ шаванд. 2. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ) дар сурате зиёди зиёд хоҳад буд, ки ҳамвории қоб (рамка) нисбат ба хатҳои индуксия (хатҳои илқо)-и магнитӣ мавқеи мувозӣ (параллелӣ) дошта бошад. 4. Як имкон ин аст, масалан, ки дар рӯйи яке аз печакҳои трансформатор печакҳои иловагии иборат аз чанд печ сим (адади муайян) печонанд ва ба печакҳои дигар волтажи муайян дода, волтажи дар нӯғҳои печакҳои иловагӣ ҳосилшударо чен кунанд. 5. Трансформатор метавонад бисӯзад, зеро муқовимати печак ба чараёни доимӣ (дар муқоиса бо чараёни тағйирёбанда) хеле кам аст. 6. Муқовимати як печак бағоят кам аст. Бинобар ин дар он печак чараёни индуксионӣ (чараёни илқо)-и зиёде ба вучуд меояд ва гармои зиёде хориҷ мегардад – ин боиси хароб шудани трансформатор гардида метавонад. 7. 1/10; 22/7; 35/6; 300/11.

Машқи 4. 1. Аз $\lambda_1 \approx 92$ м то $\lambda_2 \approx 565$ м. 2. Азбаски антен мавқеи уфуқӣ дорад, пас, маълум мешавад, ки вектори шиддати майдони электрикӣ низ уфуқан равона аст. Ин он гуна маънӣ дорад, ки вектори индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ) амудан равона аст. 3. Моҳ ионосфера (ионинкура) надорад.

Машқи 5. 1. Дастаи рӯшноӣ дида намешавад. 2. Ин падида натиҷаи аз сӯрохи хурди бодгона ростхатта паҳн шудани рӯшноист. 3. Андозаҳои нимсоя ба масофаи байни садди ношаффоф ва пардаи намоиш (экран) бастагӣ мебошад. Барои масофаҳои кӯтоҳ (пойҳо) нимсоя хурд асту барои масофаҳои зиёд (сар) – бузург. Агар фонус манбаи нуқтагӣ мебуд, сояи ҷува сар як хел возеҳ меомад. 4. $\approx k \cdot 528$ гш/с ($k = 1, 2, 3, \dots$). 6. $x = 2l \sin \alpha = 10$ см. 8. $H/2$. Канори поёни оина аз замин бояд дар баландии баробар ба нисфи масофаи байни замин то ҷашм воқеъ бошад; канори болои оина бояд дар баландие воқеъ бошад, ки он назар ба қадди одам ба қадри нисфи масофаи байни ҷашм то фарқи сар кам аст. 9. 0,05; 1,24. 10. 1,4 см. 11. Сӯйи қуллаи кунҷи шуоъшиканандаи призма (маншур). 12. Не, намебарояд. 13. $n=2$.

Машқи 6. 1. Доғи равшан. 4. $5,2 \cdot 10^{-7}$ м.

Машқи 7. 1. Аз нуқтаи назари мушоҳиди заминӣ барқ дар нуқтаи В (яъне дар паси қатори) пештар рӯй додааст. 2. Суръати электрон назар ба суръати рӯшноӣ тақрибан 10 см/с кам аст. 3. Ба қадри тақрибан $2,3 \cdot 10^{-12}$ кг.

Машқи 8. 2. $\approx 1,5$. 3. $4 \cdot 10^{-19}$ Ҷ. 4. $\approx 2,5 \cdot 10^{-7}$ м. 5. $\approx 5 \cdot 10^{14}$ Ҳз (хертз). 6. $\approx 3,8 \cdot 10^{-19}$ Ҷ. 7. $\approx 1,325 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

Машқи 9. 1. $v \approx 2 \cdot 10^6$ м/с; $a = 10^{23}$ м/с². 2. $\approx 6,9 \cdot 10^{14}$ м. $\approx 4,9 \cdot 10^{-7}$ м. 4. $E_i = 13,55$ эВ.

Машқи 10. 1. Ҳашт алфа-табдилот ва шаш бета-табдилот. 2. ≈ 3200 сол. 3. Тақрибан 1,41 бор. 5. $\approx 2,2$ МэВ. 7. ≈ 200 МэВ.

САНЧИШ

(тест)

- 1 Кори генераторҳои ҷараёни электрикӣ бар чӣ падида асос ёфтааст?
А) – бар падидаи индуксияи электромагнитӣ.
Б) – бар падидаи индуксияи магнитӣ.
В) – бар падидаи индуксияи электрикӣ.
Г) – бар падидаи афзоиши ҷараёни индуксионӣ.
- 2 Кадоми ин формулаҳо барои ифода кардани қонуни индуксияи электромагнитӣ мувофиқ аст?
А) $\epsilon_i = -\Delta\Phi/\Delta t$. В) $\epsilon_i = -(\Delta\Phi/\Delta t)^2$.
Б) $\epsilon_i = +\Delta\Phi/\Delta t$. Г) $\epsilon_i = \Delta\Phi/\Delta t + const$.
- 3 Дар Манзумаи байналмилалӣ воҳидҳо (SI) кадоми ин ифодаҳо барои таърифи воҳиди индуктивият, яъне барои *ҳенрӣ* (χ_n) дуруст аст?
(A – ампер, B – вольт, c – сония)
А) $1 \chi_n = 1 B \cdot c/A$. В) $1 \chi_n = 1 B \cdot c^2/A$.
Б) $1 \chi_n = 1 B \cdot c/A^2$. Г) $1 \chi_n = 1 B/A \cdot c$
- 4 Майдони электрикии тӯфонӣ зодаи майдони магнитии тағйирёбанда аст. Оё ин ҳулоса дуруст аст?
А) Оре, дуруст аст.
Б) Дуруст нест.
В) Майдони электрикии тӯфонӣ зодаи майдони электрикии муқаррарӣ аст.
Г) Майдони электрикии тӯфонӣ зодаи майдони магнитӣ аст.
- 5 Содатарин контури ларзишзо аз чӣ гуна ҷузъҳо иборат аст?
А) – аз як конденсатор ва як галтаки симин.
Б) – аз як конденсатор ва ноқилҳои сарбасткунандаи занҷири электрикӣ.
В) – аз як конденсатор ва як диоди нимноқилӣ.
Г) – аз конденсатор, галтаки симин ва диоди нимноқилӣ.
- 6 *Даври ларзиш* чӣ гуна бузургии физикӣ аст?
А) кӯтоҳтарин фосилаи вақтест, ки дар тӯли он дар занҷири электрикӣ як ларзиш рӯй медиҳад.
Б) кӯтоҳтарин фосилаи вақтест, ки дар тӯли он дар занҷири электрикӣ 10^6 ларзиш рӯй медиҳад.
В) кӯтоҳтарин фосилаи вақтест, ки дар тӯли он дар занҷири электрикӣ 10^9 ларзиш рӯй медиҳад.
Г) фосилаи вақтест, ки дар он дар занҷири электрикӣ 2π ларзиш рӯй медиҳад.
- 7 Ларзишҳои электрикии озодона дар контури ларзишзо дар асари чӣ гуна қувваҳо ба вучуд меоянд?
А) – дар асари қувваҳои дохилии системаи ларзишзо.
Б) – дар асари қувваҳои берунӣ.

- В) – дар асари қувваҳои ғайриэлектрикӣ.
 Г) – дар асари қувваҳои магнитӣ.
- 8 Чӣ чиз аст, ки дар контури ларзишзо ларзишро бо мурури замон хомӯш мегардонад?
 А) вучуд доштани муқовимати электрикӣ дар занчири контур.
 Б) ҷараёни электрикии контурӣ.
 В) қувваи ҷозиба.
 Г) майдони магнитии зодаи ҳуди контур.
- 9 Кадоми ин формулаҳо басомади доиравӣ ω_0 -ро ифода мекунад?
 А) $\omega_0 = 2\pi\nu$ (ν – басомади ларзиш). В) $\omega_0 = 4\pi\nu$.
 Б) $\omega_0 = 2\pi/\nu$. Г) $\omega_0 = 1/\nu$.
- 10 *Ларзиши мавзун* (ё *ларзиши ҳармоникӣ*) чӣ гуна ларзиш аст?
 А) ларзишест, ки аз рӯи қонуни синус (ё қонуни косинус) рӯй медиҳад.
 Б) ларзишест, ки дар асари ҷозибаи Замин рӯй медиҳад.
 В) ларзишест, ки ба қонуни ҷунбиши раққосаки одӣ рӯй медиҳад.
 Г) ларзишест, ки дар асари қувваи ҷандирӣ ба вучуд меояд.
- 11 Генератори электромеханикии индуксионӣ чӣ вазифаро адо мекунад?
 А) Ҷараёни электрикӣ ҳосил мекунад.
 Б) Системаи механикиро ҷунбиш медиҳад.
 В) Ҷараёни электрикиро ларзиш медиҳад.
 Г) Волтажи нӯғҳои занчири электрикиро зиёд мекунад.
- 12 Трансформатор чӣ олат аст ва чӣ вазифа дорад?
 А) Ҷараёни электрикии тағирёбандаро табдил медиҳад.
 Б) Волтажро кам мекунад (онро зиёд карда наметавонад).
 В) Волтажро зиёд мекунад (онро кам карда наметавонад).
 Г) Ҷараёни электрикиро ба ҷараёни дойимӣ бадал мекунад.
- 13 Кадоми ин рақамҳо барои суръати нур (рӯшноӣ) дуруст аст?
 А) 300 000 км/с. В) 225 000 км/с.
 Б) 100 000 км/с. Г) 500 000 км/с.
- 14 Ба чӣ сабаб нур (рӯшноӣ) дар мавриди аз як муҳит ба муҳити дигар гузаштан мешиканад?
 А) – ба сабаби тағйир ёфтани суръати он муҳитҳо.
 Б) – ба сабаби гуногун будани ҳарорати муҳитҳо.
 В) – ба сабаби гуногунранг будани муҳитҳо.
 Г) – ба сабаби ба сатҳ мойил уфтодани дастаи рӯшноӣ.
- 15 Қобилияти шуоъшиканин ин ё он муҳит ба чӣ гуна омилҳо бастагӣ дорад?
 А) – ба ранги нури шикананда.
 Б) – ба кунҷи афтиши нур.

- В) – ба кунчи инъикоси нур.
 Г) – ба энергияи нури шикананда.

16 Кадоми ин ифодаҳо формулаи линзаи тунук аст?

(d – масофаи чиз то линза, f – фокусиали линза то тасвир, F – фокусиали конунии линза)

- А) $1/d = 1/f + 1/F$. В) $1/d^2 = 1/f^2 - 1/F^2$.
 Б) $1/d^2 = 1/f^2 + 1/F^2$. Г) $1/d = 1/f - 1/F$.

17 Нури афкандаи газҳои атомитаркиб (атомитаркиб), яъне газҳои атом-атом чӣ гуна спектр (тайф) дорад?

- А) – спектри рах-рах. В) – спектри наворӣ.
 Б) – спектри бифосила. Г) – спектри омехта.

18 Фотон аз гамма-квант чӣ фарқ дорад?

- А) Ҳарду як зарраанд, аммо фотонҳо энергияи то 100 кэВ доранду гамма-квантҳо – энергияи беш аз он.
 Б) Фарқе надоранд.
 В) Фотон зарраи рӯшноӣ аст, гамма-квант – зарраи атомӣ.
 Г) Фотон зарра аст, гамма-квант – мавҷ.

19 Фотони соҳиби дарозии мавҷи $5 \cdot 10^{-7}$ м чӣ қадар энергия дорад?

- А) $4 \cdot 10^{-19}$ Ҷ. В) $5 \cdot 10^{-12}$ Ҷ.
 Б) $1,5 \cdot 10^{-20}$ Ҷ. Г) $2 \cdot 10^{-12}$ Ҷ.

20 Собити Планк, ки дар ҳама китобҳои тоҷикӣ ва ғайри тоҷикӣ бо h ё \hbar ишорат шудааст қимати ададиаш тақрибан $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ (ё $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$) аст, чӣ гуна ченак дорад?

- А) Ҷ·с. Б) Ҷ/с. В) Ҷ/с². Г) Ҷ·с².

21 Кадоми ин бузургҳои импульси фотонро ифода мекунад?

- А) $p = h/\lambda$. В) $p = h\nu$.
 Б) $p = mv$. Г) $p = h\lambda$.

22 Дастаи рӯшноӣ бо дарозии мавҷи $3 \cdot 10^{-7}$ м ба сатҳи моддае мезанад, ки барои он сарҳадди сурхи падидаи фотоэлектрикӣ $\nu_{min} = 4,3 \cdot 10^{14}$ Ҳз аст. Фотоэлектронҳое, ки дар ин маврид ба вучуд меоянд, чӣ қадар энергия доранд?

- А) $3,8 \cdot 10^{-19}$ Ҷ. В) $3,8 \cdot 10^{-17}$ Ҷ.
 Б) $3,8 \cdot 10^{-18}$ Ҷ. Г) $3,8 \cdot 10^{-16}$ Ҷ.

23 Энергияи фотонро ёбед, ки дарозии мавҷаш $5 \cdot 10^{-7}$ м аст.

- А) $3,8 \cdot 10^{-19}$ Ҷ. В) $5 \cdot 10^{-18}$ Ҷ.
 Б) $3 \cdot 10^{-17}$ Ҷ. Г) $3,8 \cdot 10^{-15}$ Ҷ.

- 24 Нур (рӯшноӣ) табиати *дугуна* ё, чунонки мегӯянд, *дуализм* дорад. Ин дугунагӣ дар он зоҳир мешавад, ки рӯшноӣ ҳам заррарафтор асту (масалан, дар *пәдидаи фотоелектрикӣ* ва ғ.) ҳам мавҷрафтор (дар *интерференсия* ва ғ.). Оё зарраҳои дигар ҳам рафтори дугуна (дуализм) доранд?
 А) Ҳама зарраҳо ин гуна хусусият доранд.
 Б) На ҳама зарраҳо ин гуна хусусият доранд.
 В) Танҳо атомҳо ин гуна хусусият доранд.
 Г) Танҳо молекулаҳо ин гуна хусусият доранд.
- 25 Донаи арзан назар ба атоми ҳидроген чанд бор бузургтар аст? Андозаи донаи арзанро 2 мм гиред.
 А) Тақрибан $4 \cdot 10^8$ бор. В) Тақр. $1,5 \cdot 10^7$ бор.
 Б) Тақр. $2 \cdot 10^7$ бор Г) Тақр. $1,8 \cdot 10^6$ бор.
- 26 Дарозии мавҷи нуруро ёбед, ки онро атоми ҳидроген дар мавриди аз ҳолати $E_4 = -0,85 \text{ эВ}$ ($\kappa = 4$) ба ҳолати $E_2 = -3,4 \text{ эВ}$ ($n = 2$) гузаштан меафканад.
 А) $4,9 \cdot 10^{-7}$ м. В) $3,2 \cdot 10^{-6}$ м.
 Б) $3,0 \cdot 10^{-7}$ м. Г) $2,6 \cdot 10^{-6}$ м.
- 27 Атоми ^{238}U пас аз чанд α - ва чанд β -коҳиш ба ^{206}Pb бадал мешавад?
 А) 8 α - ва 6 β -коҳиш. В) 6 α - ва 7 β -коҳиш.
 Б) 6 α - ва 6 β -коҳиш. Г) 8 α - ва 5 β -коҳиш.
- 28 Дар сурати протонборон кардани ҳастаи ^{11}B ҳастаи ^8Be ба вучуд меояд. Дар ин маврид боз чӣ гуна ҳаста ҳосил мешавад?
 А) ^4He . Б) ^3He . В) ^2H . Г) ^7Be .
- 29 Дар муддати баробар ба се *даври нимкоҳиш* T (период полураспада; half-life) адади атомҳои ^{226}Ra , ки барояш $T = 1600$ сол аст, чанд бор кам мешавад?
 А) 8 бор. Б) 6 бор. В) 4,4 бор. Г) 3,5 бор.
- 30 Ҳастаи атоми ^{235}U як нейтрон хӯрда, ба ^{142}Ba ва ^{91}Kr тақсим мешавад ва 3 нейтрон (n) меафканад. Дар натиҷаи ин воқуниш ҳастаи ^{235}U чӣ қадар энергия хориҷ мегардонад?
 А) 200 МэВ. Б) 300 МэВ. В) 276 МэВ. Г) 246 МэВ.
- 31 Зарраи барқаманде, ки умри 10^{-23} с дорад, дар *хубобкамера* (пузырковая камера; bubble chamber) изи чӣ қадар дароз мегузорад?
 А) $3 \cdot 10^{-13}$ см. Б) $2 \cdot 10^{-13}$ см. В) $1,5 \cdot 10^{-12}$ см. Г) $3 \cdot 10^{-12}$ см.
- 32 Электрон аз позитрон бо чӣ хусусияти худ фарқ мекунад?
 А) бо аломати барқаи худ.
 Б) бо массааш.
 В) бо спини худ.
 Г) бо гаштовари магнитӣ (моменти магнитӣ)-аш.

Таҳияи **Бароти Мақсуд** ва
Йунуси Ҳоҷазод.

МУНДАРИЧА

Андарз 3

(ИДОМАИ) ЭЛЕКТРОДИНАМИКА.

Боби 1. Индуксияи электромагнитӣ

§1. Кашфи индуксияи электромагнитӣ.....	4
§2. Сели магнитӣ	8
§3. Самти чараёни индуксионӣ. Қоидаи Ленс	9
§4. Қонуни индуксияи электромагнитӣ	12
§5. Майдони электрикии тӯфонӣ	14
§6. Қувваи муҳаррикаи электрикӣ (ҚумЭ)-и индуксия дар ноқили ҳаракатманд.....	18
§7. Микрофони электродинамикӣ.....	20
§8. Худ-индуксия (худ-илқо).....	22
§9. Энергияи майдони магнитии чараён	25
§10. Майдони электромагнитӣ.....	27
Намунаи ҳалли ду масъала	30
Машқи 1	31
Муҳимтарин хулосаҳои боби якум	33

Боби 2. Ларзишҳои электромагнитӣ

§11. Ларзишҳои электромагнитии озод ва мачбурӣ	36
§12. Контури ларзишзо. Табдили энергия дар ларзишҳои электромагнитӣ.....	39
§13. Шабоҳати байни ларзишҳои механикӣ ва электромагнитӣ	41
§14. Муодилаи ташхиси рӯйдодҳои контури ларзишзо.....	44
§15. Ларзишҳои мавзун. Домана (аплитуд)-и ларзиш. Давр ва басомади ларзиш.....	46
§16. Фази ларзиш	51
§17. Чараёни электрикии тағйирёбанда	54
§18. Муқовимати фаъол. Қиматҳои самарбахши қувваи чараён ва волтаж	57
§19. Конденсатор дар занҷири чараёни тағйирёбанда	61
§20. Ғалтаки индуктивият (илқоғалтак) дар занҷири чараёни тағйирёбанда	64
§21. Резонанс дар занҷири электрикӣ.....	67
§22. Генератори батранзистор. Ларзишҳои худбахудӣ (автоларзишҳо).....	71
Намунаи ҳалли масъалаҳо	77
Машқи 2	79
Муҳимтарин хулосаҳои боби дуюм	80

Боби 3. Истеҳсол, интиқол ва истифодаи энергияи электрикӣ

§23. Тавлиди энергияи электрикӣ	82
§24. Трансформатор	85
§25. Истеҳсол ва истифодаи энергияи электрикӣ.....	89
§26. Интиқоли энергияи электрикӣ	92
Машқи 3	94
Муҳимтарин хулосаҳои боби сеюм.....	95

Боби 4. Мавҷҳои электромагнитӣ

§27. Рӯйдодҳои мавҷӣ	96
§28. Мавҷҳои электромагнитӣ	100
§29. Кашфи таҷрибаҳои мавҷҳои электромагнитӣ	104
§30. Зичии сели тобиши электромагнитӣ.....	108
§31. Ихтирои радио.....	111
§32. Қоидаҳои бунлодӣ (принсипҳо)-и радиоалоқа	114
§33. Мавҷҳо чӣ тавр таҳмил карда ва детектирониди мешаванд	116
§34. Хосиятҳои мавҷи электромагнитӣ	120
§35. Густариши радиомавҷҳо	123
§36. Радиопармосиш	124
§37. Тасаввуроти умумӣ дар бораи телевизион.....	127
§38. Рушди воситаҳои алоқа.....	129
Машқи 4	130
Муҳимтарин хулосаҳои боби чаҳорум	131

ОПТИКА

Тақомули ақидаҳо дар бораи табиати рӯшноӣ.....	132
---	------------

Боби 5. Мавҷҳои рӯшноӣ

§39. Суръати нур (суръати рӯшноӣ)	136
§40. Қоидаи (бунлодии) Ҳйуйгенс. Қонуни инъикоси рӯшноӣ.....	140
§41. Қонуни шикасти рӯшноӣ (нур)	142
§42. Инъикоси пурра.....	147
Намунаи ҳалли масъалаҳо	151
Машқи 5	155
§43. Дисперсияи рӯшноӣ.....	158
§44. Интерференс (тадохул)-и мавҷҳои механикӣ	160
§45. Интерференс (тадохул)-и рӯшноӣ	166
§46. Баъзе таҷрибаҳои интерференси рӯшноӣ	172
§47. Дифраксияи мавҷҳои механикӣ.....	174
§48. Дифраксияи рӯшноӣ.....	176
§49. Панҷараи дифраксионӣ.....	181
§50. Арзияти мавҷҳои рӯшноӣ. Қутбиш (поларизатсия)-и рӯшноӣ ..	184
§51. Арзияти мавҷҳои рӯшноӣ ва назарияи электромагнитии рӯшноӣ.....	188

Намунаи ҳалли масъалаҳо	190
Машқи 6	191
Муҳимтарин хулосаҳои боби панҷум	192

Боби 6. Ҷузъиёти назарияи нисбият

§52. Қонунҳои электродинамика ва қоидаи бунлодии нисбият (принсипи нисбият)	194
§53. Постулатҳои назарияи нисбият	198
§54. Нисбияти ҳамзамонӣ	200
§55. Натиҷаҳои асосие, ки аз постулатҳои назарияи нисбият бармеоянд	203
§56. Бастагии масса (чирм) ба суръат. Динамикаи релятивӣ	206
§57. Робитаи байни масса ва энергия	209
Машқи 7	211
Муҳимтарин хулосаҳои боби шашум	211

Боби 7. Тобишҳо ва тайфи онҳо

§58. Навъҳои тобиш. Манбаъҳои рӯшноӣ	213
§59. Тайфҳо (спектрҳо) ва асбобҳои тайфсанҷӣ	216
§60. Навъҳои тайфҳо (спектрҳо)	220
§61. Таҳлили тайфӣ (спектрӣ)	222
§62. Тобиши инфрасурх ва ултрабунафш	225
§63. Тобиши рентгенӣ	227
§64. Микёс (шкала)-и тобиши электромагнитӣ	231
Муҳимтарин хулосаҳои боби ҳафтум	232

ФИЗИКАИ КВАНТӢ

Пайдоиши назарияи квантӣ	235
---------------------------------------	------------

Боби 8. Квантҳои рӯшноӣ

§65. Падидаи фотоэлектрикӣ (фотопадида)	237
§66. Пояи назарияи падидаи фотоэлектрикӣ	240
§67. Фотонҳо	243
§68. Истифодаи падидаи фотоэлектрикӣ	245
§69. Фишори рӯшноӣ	248
§70. Асари кимиёии рӯшноӣ. Суратгирӣ (аккосӣ)	250
Машқи 8	253
Муҳимтарин хулосаҳои боби ҳаштум	253

Боби 9. Физикаи атом

§71. Сохти атом. Таҷрибаҳои Резерфорд	256
§72. Постулатҳои квантии Бор. Модели бории атом	265
§73. Мушкилоти назарияи Бор. Механикаи квантӣ	268

§74. Лазерҳо	270
Машки 9	275
Муҳимтарин хулосаҳои боби нӯҳум	276

Боби 10. Физикаи ҳастаи атом

§75. Усулҳои мушоҳида ва сабти зарраҳои бунёди	278
§76. Кашфи радиоактивият	284
§77. Алфа-, бета- ва гамма-тобиш	285
§78. Табдилоти радиоактивӣ	289
§79. Қонуни коҳиши радиоактивӣ. Даври нимкоҳиш	293
§80. Изотопҳо	296
§81. Кашфи нейтрон	298
§82. Сохти ҳастаи атом. Қувваҳои ҳастаӣ	301
§83. Энергияи бандиши ҳастаҳои атомӣ	303
§84. Вокунишҳои ҳастаӣ	305
§85. Пора шудани ҳастаҳои уран	308
§86. Вокунишҳои ҳастаии занҷирӣ	311
§87. Реактори атомӣ	314
§88. Вокунишҳои гармоҳастаӣ (термоҳастаӣ)	318
§89. Татбиқи энергияи атомӣ	320
§90. Ҳосил кардани изотопҳои радиоактив ва корбурди онҳо	323
§91. Асари биологии тобиши радиоактивӣ	327
Машки 10	329
Муҳимтарин хулосаҳои боби даҳум	330

Боби 11. Зарраҳои бунёди

§92. Се марҳала дар инкишофи физикаи зарраҳои бунёди	333
§93. Кашфи позитрон. Антитарраҳо	337
Муҳимтарин хулосаҳои боби ёздаҳум	340

АҲАМИЯТИ ФИЗИКА ДАР ШАРҲИ БУНЁДИ ФИЗИКИИ ОЛАМ ВА ПЕШБУРДИ ИСТЕҲСОЛОТ

§94. Манзараи физикии ягонаи олам	341
§95. Физика ва инкилоби илмиву техникӣ	346

Корҳои лабораторӣ

1. Омӯзиши падидаи индуксияи электромагнитӣ (илқои электромагнитӣ)	351
2. Муайян кардани қобилияти шуоъшикании шиша	352
3. Чен кардани дарозии мавҷи рӯшноӣ	354
4. Мушоҳидаи тайфҳо (спектрҳо)-и бефосила ва раҳрах	356
5. Омӯзиши «радди по»-и зарраҳои барқаманд	357
Чавоби машқҳо	359
Санҷиш (тест)	360

МЯКИШЕВ Геннадий Яковлевич
БУХОВСЕВ Борис Борисович

ФИЗИКА

**Китоби дарсӣ барои хонандагони синфи 11-уми
мактабҳои таҳсилоти умумӣ**

Саҳифабанд: *Фарҳоди Раҳим*

Ороиши: *Нигораи Насим*

Мусахҳех: *Қ. Қушон*

Ба чоп 14.04.2015 иҷозат дода шуд. Андозаи 60x90^{1/16}. Коғазӣ офсет.
Чопи офсет. Гарнитураи Times New Roman Tj. Чузъи чопии шартӣ 23,0.
Табдоди нашр 73 000 нусха. Супориши №11.

ЧДММ «ЭР-граф».

734036, ш. Душанбе, кӯчаи Р. Набиев, 218.

Тел: (+992 37) 233-50-16. E-mail: r-graph@mail.ru