

Рентген Вилхелм (1845-1923) – физикдони барҷастаи олмонӣ, ки с. 1895 як навъи тобиши электромагнитиро кашф кард – он тобиш ба шарафи кошифаш 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.

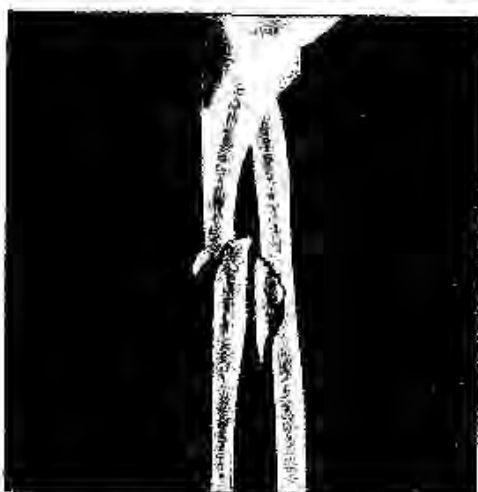


имконпазир аст. Дар ингуна суратҳо устухонҳо (рас. 153) ва ҷойҳои дигаргуншудаи бофтаҳои мулојим бaсе возeх намудор мешаванд.

Кашфи тобиши рентгенӣ. Ин тобишро с. 1895 олимӣ олмонӣ В.Рентген кашф кардааст. Дар ҷойе, ки бисёр олимон ҳеҷ чизӣ ҷолиб дида наметавонистанд, Рентген бо ҷашми таҳқиқ нигариста, чизӣ навро дида метавонист. Ёро ба сари ин кашфиёти шоёни таҳсин низ ҳамин истеъдоди фавқулода овард.

Охири а. XIX тавачҷӯхи муҳаққиқонро таҳлия (пардаҳт)-и газие ҷалб кард, ки дар фишорҳои паст рӯй медиҳад. Дар ин шароит дар найчаи таҳлияи газӣ (таҳлиянайча) сели электронҳои баландсуръате ба вучуд меомад, ки онҳо *тобиши катодӣ* ном гирифта буданд. Он вақт табиъати тобиши катодӣ пурра 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 фотолафҳа дар наздикии таҳлиянайча сиёҳ мешавад;



Рас. 153

фотолавҳа он гоҳ ҳам сиёҳ мешуд, ки дар қоғазӣ сиёҳӣ рӯшноиногузар печонда шуда бошад.

Баъдтар Рентгенро муяссар гардид, ки падидаи бaсе таъачҷубангезро мушоҳида кунад. Ё қоғазеро дар маҳлули $\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$ (платиносионати барий) тар карда, таҳлиянайчаро дар он печонд ва ҳангоми кори ояндаи найча дид, ки қоғаз рӯшноӣ

медихад. Зимнан, вақте ки Рентген дасти худро дар байни найча ва когази номбурда ҷой дод, дид, ки дар он когази барийолуд (экран) дар замини нисбатан рӯшантари сӯроби панча сояи ғафси устухонҳои даст пайдо мешавад. Рентген пай бурд, ки ҳангоми кор кардани тахлиянайча тобиши то он вақт номаълуми баланднуфузе ба вучуд меояд. Ӯ ин тобишро X-rays (X-тобиш) номид. Ин навъи тобиш дар мамлакати мо номи «тобиши рентгенӣ» гирифт (бар хилофи он ки дар аксари мамлакатҳои 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 медод. Таҷрибаҳои баъдина нишон дод, ки тобиши рентгенӣ дар натиҷаи дар ҳар гуна садд (монеа), масалан, дар электроди флизӣ тормоз хӯрдани электронҳои баландсуръат ҳосил мешавад.

Ҳосиятҳои тобиши рентгенӣ. Тобиши рентгенӣ фотолаваро тирагун ва ҳаворо ион-ион (ионизасия) мекард, вале аз ин ё он модда ба дараҷаи намоён инъикос намегашт ва намешикаст.

Майдони электромагнитӣ ба самти рафти тобиши рентгенӣ ҳеҷ гуна таъсир нашофт.

Он гоҳ ингуна 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 ултрабунафш 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 доништа мешуд. Вале ин тахмин исбот мехост. 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 мавҷҳоро хос аст. Дар ин роҳ тобиши рентгениро аз роғҳои танги лавҳаҳои сурбӣ гузаронданд. Аммо ҳеҷ падидаи

ба дифраксия монанд рӯй надод. Олими олмонӣ Макс Лауэ изхори ақида кард, ки тобиши рентгенӣ ба се кӯтоҳмавҷ аст ва бино бар ин дар монетаҳои 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). Булӯрҳо сохторҳо (структураҳо)-и мураббаъ ҳастанд, ки дар онҳо 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» табиъиест, ки дар он тобиши рентгенӣ бояд дифраксия диҳад, ба шарте, албатта, ки дарозии мавҷи онҳо тақрибан 10^{-8} см бошад.

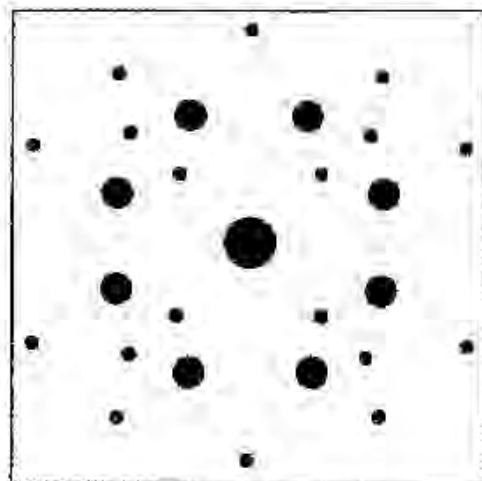
Ва биёем ба сари таҷриба. Дастаи борики тобиши рентгенӣ сӯйи порчаи булӯр равона карда шуд. Дар паси булӯр фотолаваҳа воқеъ буд. Натиҷаи таҷриба пешгӯиҳои ҳатто хушбинонатаринро тасдиқ кард. Дар баробари доғи калони марказӣ, ки онро шуоъҳои ростакӣ (шуоъҳои ростраванда) ҳосил мекарданд, доғчаҳои пайдо мешуданд, ки дар атрофи доғи марказӣ бо як тартиби муъайян ҷой мегирифтанд (рас. 154). Сабаби пайдоиши ин доғчаҳо танҳо падидаи дифраксияи тобиши рентгенӣ буда метавонист, ки дар сохтори мураббаъи булӯр ба вуҷуд меомад.

Таҳқиқи манзараи дифраксия имкон дод, ки дарозии мавҷи тобиши рентгенӣ муъайян 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 таҳлили беморӣ ва муъолиҷаи 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 мушкул будааст; ғайр аз ин ба воситаи таҳлили рентгении дифраксионӣ (ё худ таҳлили

рентгеноструктурӣ ё таҳлили рентгенӣ-сохторӣ) сохти пайвастагиҳои мураккабтарини органикӣ, аз ҷумла сохти сафедаҳо муъайян карда шуд – чунончи, сохти молекулаи хемоглобин, ки дахҳо ҳазор атом дорад, бо ҳамин усул таҳқиқ шудааст ва ғ.



Рас. 154

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 муъайян кардан мумкин аст.

Аз таҷрибаҳои дигари тобиши рентгенӣ нуқсшиносӣ (дефектоскопия)-и рентгениро ном бурдан мумкин аст. Ин усули ошкор сохтани ковокиҳои рехтаҳои филизӣ (металлӣ), ёфтани кафи релсҳо ё тафтиши сифати дарзҳои ҷӯшқориҳо ва ғ. мебошад. Нуқсшиносии рентгенӣ бар санҷиши тағйироти фурубурди тобиши рентгенӣ асос ёфтааст, ки он аз тариқи маснуоти бенуқсу нуқсдор мегузарад.

Сохти лӯлаи рентгенӣ. Дар замони ҳозира барои ҳосил кардани шуоъҳои рентгенӣ асбобҳои мукаммале бунёд шудааст, ки лӯлаи рентгенӣ (ё найчаи рентгенӣ) ном гирифтаанд.

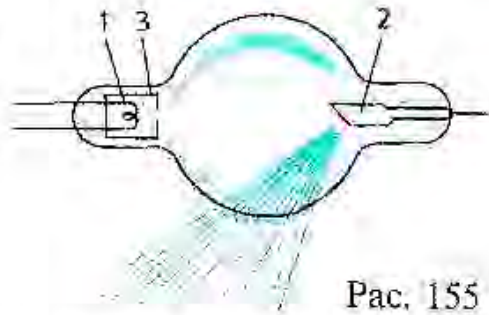
Дар рас. 155 тарҳи содашудаи лӯлаи рентгенӣ тасвир ёфтааст. Катоди 1 сими волфрамии морпечест, ки дар натиҷаи эмиссияи термоэлектронӣ электрон меафканад. Силиндр (устувона)-и 3 сели электронҳоро конунӣ (даста) карда, сӯйи аноди филизӣ 2 равона месозад – дар натиҷаи ба анод задани онҳо тобиши рентгенӣ ҳосил мешавад.

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} ммНг (мм сут. сим.) бошад.

Дар лӯлаҳои рентгени 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 тобиш хеле зиёд аст. Тобиши рентгенӣ дар тиб, дар таҳқиқи сохтори булӯрҳо (структураи кристаллҳо)-ву молекулаҳои органикии мураккаб ва ғ. истифода мешаванд.



- ?** 1. Сохти лӯлаи рентгенӣ чӣ гуна аст?
2. Сабаб чист, ки микроскопи рентгенӣ бунёд нашудааст?

§65. Шкалаи тобиши электромагнитӣ

Мо дидем, ки дарозии мавҷҳои электромагнитӣ гуногун буда метавонад – аз радиомавҷҳои километрдарозӣ то тобиши рентгени дарозии мавҷашон тақрибан 10^{10} м. Рӯшноии намоён ҳиссаи бағоят почизи тайф (спектр)-и мавҷҳои электромагнитиро ташкил медиҳад. Бо вучуди ин аз таҳқиқи маҳз ҳамин ҳиссаи тайф тобишҳои дигари гайриоддӣ кашф шудаанд.

Дар рӯяҳои дарунии муқоваи ин китоб шкалаи пурраи мавҷҳои электромагнитӣ тасвир ёфтааст ва дар он дарозии мавҷҳову 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. Кӯтоҳмавҷтарин гамма-тобишро ҳастаҳои атомӣ ба вучуд меоваранд.

Дар байни ин ё он навъи тобишҳо тафовути асли нест. Ҳамаи онҳо мавҷҳои электромагнитие ҳастанд, ки аз тарафи зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) афканда мешаванд. Мавҷҳои

электромагнитӣ аз рӯи хосияти ба зарраҳои барқаманд таъсир оварданишон ошкор карда мешаванд. Дар вакуум (хало) нури соҳиби ҳар гуна дарозии мавҷ бо суръати собитӣ 300 000 км/с паҳн мегардад. Сарҳадҳои байни соҳаҳои гуногуни шкалаи мавҷҳо шартланд.

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 ҷирмҳои кайҳонӣ низ афканда метавонанд. Мавҷҳои кайҳонӣ ба воситаи мушакҳо (*ракетаҳо*), радиҳои маснӯби 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 азосмон ояндаро зиёд фуру мебарад.

Ба андозаи кӯтоҳ шудани дарозии мавҷ тафовути миқдории дарозииҳои мавҷ боиси ба миён омадани тафовути бисе муҳими сифатӣ мегардад.

Тобишҳои гуногундарозӣ аз рӯи 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 (*коэффициент*)-и инъикоси мавҷҳои электромагнитӣ низ ба дарозии мавҷ вобастагӣ дорад. Аммо фарқи асосии тобиши кӯтоҳмавҷ ва дарозмавҷ ин аст, ки тобиши кӯтоҳмавҷ хосияти заррагӣ зоҳир мекунад. (Аз ин хусус дар боби 8 суҳан меронем).



1. Радиомавҷҳоро чӣ тавр сабт (қайд) мекунад? тобиши соҳаи оптикӣ чӣ? тобиши рентгенӣ чӣ?

2. Тасвирҳоро, ки дар рӯяҳои дарунии муқоваи китоб оварда шудаанд, муойина карда, фосилаҳои ҳама навъҳои тобиширо нишон диҳед (кадом фосила аз қучо то ба қучост).

Муҳимтарин хулосаҳои боби 4-ум

1. Рӯшноӣ зодаи зарраҳои барқаманд (зарраҳои электрон) — электронҳо мебошад, электронҳо, ки дар атомҳо гирди

хастаҳои атомӣ гадонанд. Барои он ки атом нур афканда тавонад, зарур аст, ки аз берун энергия бигирад.

Бештар аз ҳама манбаҳои ҳароратии рӯшноӣ маъмуланд: Офтоб, чароғи электрикӣ (тафслампайи электрикӣ), шӯълаи оташ ва ғ.

2. Муҳимтарин бузургии ташхисдиҳандаи тобишҳо тақсимооти басомадии энергияи онҳо (яъне дарозии мавҷи онҳо) аст. Ин тақсимот бо зичии тайфӣ (спектри)-и шиддати тобиш таъйин мешавад.

3. Тайфҳои афканиш ба воситаи асбобҳои тайфсанҷӣ таҳқиқ карда мешаванд. Чузъи асосии асбоби тайфсанҷӣ маншур (призма) ё панҷараи дифраксионӣ мебошад.

4. Тобиши чисмҳои сахт ва моеъ ва инчунин тобиши плазма тайфи бефосила (спектри пайваста) доранд. Дар ин гуна тайф ҳама дарозии мавҷ (бо шиддати гуногун, албатта) мавҷуданд.

Нуре, ки газҳои атомитаркиб (газҳои атом-атом) меафканад, тайфи раҳрах дорад. Дарозии мавҷи тайфи раҳрах ба тарзи ангиши атомҳои моддаи нурафкан вобаста нестанд, балки танҳо ба хосиятҳои физикии атомҳо бастагӣ доранд. Таҳлили тайфӣ (таҳлили спектри) маҳз бар ҳамин хусусияти моддаҳо асос ёфтааст.

Тайфи тобиши молекулаҳо аз наворҳои алоҳидае иборат мебошанд, ки онҳо аз ҳам бо фосилаҳои тирагун ҷудоанд.

Ин гуна тайфро *тайфи наворӣ* мегӯянд.

5. Фурӯрафти рӯшноӣ дар ин ё он модда ба дарозии мавҷ (ё басомад) бастагӣ дорад. Модда хубтар аз ҳама рӯшноии соҳиби дарозии мавҷеро фурӯ мебарад, ки худ дар ҳолати тафсон будан маҳз мавҷҳои ҳамон гуна дарозиро бештар хориҷ мекунад. Аз рӯйи хатҳои фурӯбурди рӯшноӣ таркиби кимиёии Офтобу ситораҳоро муайян кардан мумкин аст ва ин усул татбиқи бисёр дорад.

6. Рӯшноӣ мавҷи электромагнитист, ки дарозии фосилаи $4 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-7}$ м-ро фаро мегирад. Тобиши соҳиби дарозии кӯтоҳтар аз дарозии мавҷҳои сурх ($8 \cdot 10^{-7}$) *тобиши инфрасурх* ном гирифтаанд. Ҳар гуна қисми тафсида манбаи тобиши инфрасурх буда метавонад.

Мавҷҳои электромагнитие, ки дарозии кӯтоҳтар аз $4 \cdot 10^{-7}$ м

доранд, *тобиши ультрабунафи* ном доранд. Ин навъи тобиш фаъолияти кимиёии моддаҳоро афзоиш медиҳад.

7. Тобиши назар ба тобиши ультрабунафи кӯтоҳмавҷтар *тобиши рентгенӣ* аст. Дарозии мавҷи тобиши рентгенӣ тақрибан ҳамчени андозаҳои атомист. Ин тобиш дар натиҷаи якбора тормоз хӯрдани электронҳос ба вучуд меоянд, ки онҳоро волтажи электрикии чанд киловольт шитоб дода бошад. Моддаҳо тобиши рентгениро кам фуру мебаранд. Тобиши рентгенӣ дар тиб барои таххис ва муъолиҷаи бемориҳо, дар техника барои нӯқсшиносӣ, дар татқиқоти илмӣ ва ғ. истифода мешаванд.

8. Шкалаи мавҷҳои электромагнитӣ аз радиомавҷҳои дароз ($\lambda > 1\text{ км}$) то гамма-тобиш ҳама дарозииҳои мавҷро фаро мегирад. Мавҷҳои электромагнитии гуногундарозиро вобаста ба хосиятҳо ва тарзи ҳосил карданишон шартан ба фосилаҳои алоҳида тақсимбандӣ мекунанд. Тафовути миқдорӣ дар дарозии мавҷҳо сабабгори тафовути муҳими сифатӣ гардида метавонад. Тобишҳои кӯтоҳмавҷ хосиятҳои заррагӣ зоҳир мекунанд.

ФЕЗИҚИ ҚИ ҚВАНТИ

Баби 8. Қиян ҳов рӯшнӣ

Баби 9. Физикаи атом

Баби 10. Физикаи ҳаракат атом

Баби 11. Эҳроҳои бунёи

Наи бонии магарӯи кванти

Бузургтарин инқилоб дар илми физика ба ибтидои а. ХХ рост омад. Саъю кӯшиши шарҳ додани қонуниятҳое дар тайф (спектр)-и тобиши хароратӣ (тобиши электромагнитии чисмҳои тафсида) тақсим шудани энергия, ки аз таҷриба бармеоманд, беҳуда менамуд, балки беҳуда буд. Қонунҳои чандин бор санчидашудаи электромагнетизми Максвелл дар сурати дар ҳалли масъалаи афканиши мавҷҳои электромагнитии кӯтоҳ истифода шудан якбора «қорпартоӣ» мекарданд. Ин боз аз он ҷиҳат таъаҷубангез 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 қисми гарм дар натиҷаи бефосила хориҷ кардани мавҷҳои электромагнитӣ энергияи ҳудро гум карда, мебоист то харорати сифри мутлақ сард мешуд. Мувофиқи назарияи классикӣ мувозинати хароратӣ дар байни модда ва нури афкандани он имконпазир нест. Аммо таҷрибаҳои маъмулӣ нишон медиҳанд, ки воқеъият ҳаргиз чунин набудааст. Қисми гарм на ҳамаи энергияи ҳудро 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



Планк Макс (1858-1947) – физикдони назариётчи бузурги олмонӣ, бунёдгузори назарияи квантӣ – назарияи муосири ҳаракат, таъсири 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.

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.

Назарияи тобиши ҳароратие, ки Планк бунёд кард, бо таҷриба мутобиқати аъло дошт. Аз рӯйи қийматҳои таҷрибавии тақсимооти басомадии энергия қимати собити Планк муъайян карда шуд, ки бисёр хурд будааст:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Дар банди оянда мо падидаи дигари физикиро муойина хоҳем кард, ки бо ёрии он собити Планкро бо роҳи нисбатан осонтар ёфтани мумкин аст.

Баъди кашфиёти Планк назарияи ба кулӣ нав ва амиқи физикие ба вучуд омада, тараққӣ кард, ки *назарияи квантӣ* ном гирифтааст. Ин назария ҳоло ҳам дар ҳоли инкишоф мебошад.

Планк чораи бартараф соختани мушкилоти 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.

Қонунҳои физикаи квантӣ барои таъхис додани рафтори микрозарраҳо эҷод шудаанд. Аммо хосиятҳои квантии модда бори нахуст маҳз дар таҳқиқи падидаҳои афканиш ва фурӯбурди рӯшноӣ ошкор гардидаанд.

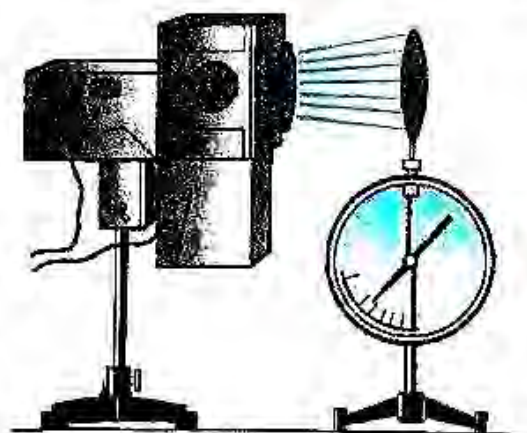
§66. Падидаи фотоэлектрикӣ (фотоэффект)

Қадами қатъӣ дар инкишофи тасаввуроти алоқаманд бо табиаати рӯшноӣ омӯзиши падидаи аҷибе буд, ки онро олими олмонӣ Х. 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 канда шудани электронҳоро мефаҳманд.

Мушоҳидаи фотопадида. Барои ошкор сохтани фотопадида электрометреро истифода кардан мумкин аст, ки бо лавҳаи руҳӣ пайваст 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 манфӣбарқаманд кунем, такрори таҷриба нишон медиҳад, ки сели рӯшноии камони электрикӣ онро босе зуд холи (аз барқа) мекунад.

Ин танҳо як шарҳ дорад. Рӯшноӣ электронҳоро аз сатҳи лавҳаро зада мебарорад; агар лавҳа манфӣбарқаманд бошад, электронҳои кандашуда аз сатҳи он тела мехӯранд ва электрометр аз барқа холи мешавад. Лекин агар лавҳа барқои мусбат дошта бошад, вай электронҳои кандашударо ҳамон дам ба худ мекашад ва, аз ин рӯ, электрометр холи



Рас.156.

Столетов Александр Григорьевич (1839-96)

— физикдони рус. Таҳқиқи фотопадаида ба Столетовро шӯхрати ҷаҳонӣ дод. У имкони истифодаи амалии фотопадидаро низ нишон дод. Столетов дар рисолаи худ «Таҳқиқи ҷараёни магнитнок шудани оҳани нарм» усули тадқиқи ферромагнетикҳоро таҳия кард ва шакли ҳатти қачи магнитнок шудани моддаҳоро муқаррар сохт. Ин асари ӯ дар амалияи офариниши мошинҳои электрикӣ истифода шудааст.

Столетов барои дар Руссия инкишоф додани физика кӯшиши бисёр ба харҷ додааст. У табашббускори барпо кардани Пажӯҳишгоҳи физикаи назди Донишгоҳи Маскав буд.



намешавад.

Аммо агар дар роҳи сели рӯшноӣ шишаи муқаррарӣ бигзорем, сарфи назар аз шиддати дастаи рӯшноӣ лавҳаи манфӣбарқаманд электронҳои худро дигар намеафканад. Азбаски шиша тобиши ултрабунафшо фуру мебарад, пас, метавон гуфт, ки сабабгори падидаи фотоэлектрикӣ маҳз ҳамин шуоъҳои ултрабунафш ҳастанд. Ин далели ба худии худ номураккабро дар ҷаҳорҷӯбаи назарияи мавҷи рӯшноӣ шарҳ додан илҷ надорад. Фаҳмо нест, ки ҷаро мавҷҳои пастба-сомади рӯшноӣ ҳатто дар сурати бузург будани домана (амплитуд)-и мавҷ (яъне бузург будани қувваи ба электронҳо таъсиркунанда) электрон канда наметавонанд.

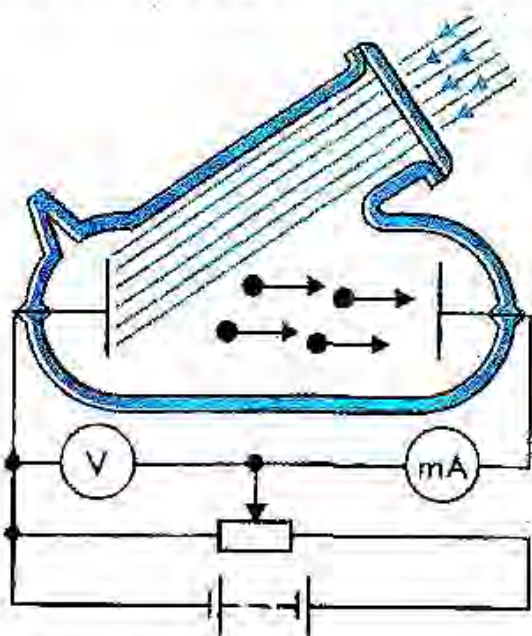
Қонунҳои падидаи фотоэлектрикӣ. Барои дар бораи фотопадаида муълумоти пурратар ба даст овардан дарк кардан зарур аст, ки адади электронҳои бо таъсири рӯшноӣ аз сатҳи модда кандашуда, яъне *фотоэлектронҳо* ва суръат ё энергияи кинетикии онҳо ба ҷӣ вобаста аст.

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 додешавандаро бо ёрии потенциометр тағйир додан ва ба воситаи вольтметр ҷен кардан мумкин аст. Электроди номбурдаро бо қутби манфии батаре мепайванданд. Ин электрод бо таъсири рӯшноӣ электрон меафканад. Электронҳо

хангоми дар майдони электрикӣ ҳаракат кардан чараён ба вучуд меоваранд. Дар сурати кам будани потенциали байни электродҳо на ҳама электронҳои кандашуда то ба электроди дигар мерасанд. Агар фарқи потенциалҳои байни электродҳоро зиёд кунем, бо вучуди бетағйир мондани сели рӯшноӣ қувваи чараён меафзояд ва дар ягон қимати волтаж максимум гирифта, баъд дойимӣ мемонад (рас.158). Зиёдтарин қимати қувваи чараён I_c чараёни сер ном гирифтааст. Бузургии чараёни сер ба адади электронҳои вобаста мебошад, ки аз электрод дар муддати 1 с канда мешаванд.

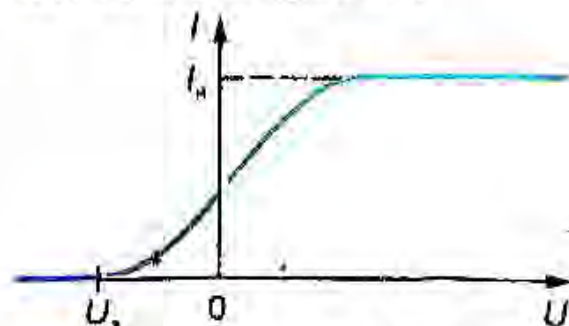
Дар ин таҷриба тағйир додани шиддати рӯшноӣ ба электрод занода имкон дод, ки ин гуна вобастагӣ муқаррар карда шавад: адади электронҳои дар 1 с аз сатҳи электрод кандашаванда ба миқдори дар ин муддат фурӯрафтаи энергияи мавҷи рӯшноӣ мутаносиб мебошад. Ин ҳеч чойи ғайриҷаншмдошт надорад: ҳар қадре ки энергияи 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 ҳеч 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 чараён



Рас.157.

кам мешавад ва дар ягон қимати U_0 -и қутбияти чаппа чараён қатъ мегардад: дар ин маврид майдони электрикӣ ҳама электронҳоро аввал бозмедорад ва баъд ақиб мегардонад.



Рас.158.

Бузургии волтаж (фарқи потенциалҳо)-и боздоранда U_0 ба энергияи кинетикии зиёдтарини электронҳои кандашуда вобаста аст. Волтажи боздорандаро чен карда, дар асоси теорема (казийа)-и энергияи кинетикӣ (ниг. китоби дарсии «Физика, 9», §44) қимати зиёдтарини энергияи кинетикии электронҳоро ёфтан мумкин аст:

$$\frac{mU^2}{2} = eU_0$$

Чунон ки 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 нофаҳмост: тавре ба назар мерасад, ки гуё шиддати рӯшноӣ ҳарчи зиёдтар бошад, аз гарафи майдони электромагнитии мавҷи рӯшноӣ ба электронҳо қувваи ҳамон қадр бештар таъсир меоварад ва гуё онҳо энергияи ҳамон қадр бештарро соҳиб мекунда 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 намедиҳад.

* * * * *

Қонунҳои падидаи фотоэлектрикӣ (фотопадида) шаклан бисе сода ҳастанд. Аммо вобастагии энергияи кинетикии фотоэлектронҳо ба басомад асроромез менамояд.



1. Собити Планк чӣ қимат дорад?

2. Қонунҳои асосии падидаи фотоэлектрикӣ чигунаанд?

§67. Нави назарии падидаи фотоэлектрикӣ

Ҳама сазю кӯшиши дар заминаи қонунҳои электродинамикаи Максвел (ки мувофиқи онҳо рӯшноӣ мавҷи электромагнитии дар

фазо бифосила пахшуда 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 мавҷ канда мешаванд.

Ин падидаро с.1905 А.Эйнштейн шарҳ дод. Шарҳи ӯ бар ақидаи Планк дар хусуси квант-квант, зарра-зарра афканда шудани рӯшноӣ асос ёфта буд. Дар зухури 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, чунон ки 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 гуё об сохтори зарра-зарра дошта ва аз ҳиссаҳои таксимнопазир таркиб ёфта бошад.

Танҳо падидаи фотоэлектрикӣ нишон дод, ки рӯшноӣ сохтори канда-канда дорад: ҳиссаи афкандашудаи энергияи рӯшноӣ $E=h\nu$ минбаъд – дар чараёни паҳн гаштани рӯшноӣ низ сифати хусусии худро нигоҳ медорад. **Ҳиссаҳо танҳо том-том фуру бурда мешаванд**.

Энергияи кинетикии фотоэлектронро бо ёрии қонуни бақои энергия ёфтан 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:

$$h\nu = A + \frac{mU^2}{2} \quad (8.2)$$

Ин муъодила мушкилиҳои асосии алокаманд бо падидаи фотоэлектрикиро шарҳ медиҳад. Шиддати рӯшноӣ ба гуфти

Эйнштейн ба адади квантҳо (хиссаҳо)-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 фотопадаида ном гирифтааст ва чунин ифода карда мешавад:

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

Кори баровард ба навъи модда алоқаманд мебошад. Бино бар ин сарҳадди сурхи фотопадаида 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 фотопадаида дар сурати дар роҳи рӯшноӣ гузоштани лавҳаи шишагин, ки нурҳои 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 муъодилаи Эйнштейн (8.2) собити Планк h -ро ёфтан осон аст. Барои ин дар таҷриба басомади мавҷи рӯшноиву кори баровард ва баъд энергияи кинетикӣи фотоэлектронҳоро муъайян 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 фурубурди рӯшноӣ ба миён омадаро ба кулӣ тасдиқ мекунад.

Муодилаи Эйнштейн (8.2) бо вучуди бисе сода будан қонуниятҳои падидаи фотоэлектрикиро шарҳи дуруст медиҳад. Ҳамин буд, ки Эйнштейн барои эҷоди назарияи ин падида сазовори мукофоти нобелӣ гардидааст.



1. Кадом далелҳо шаҳодат медиҳанд, ки рӯшноӣ хосиятҳои заррагӣ зоҳир мекунад?
2. Сарҳадди сурхи падидаи фотоэлектрикӣ чист ва чиро ифода мекунад?

§68. Фотонҳо

Дар физикаи муосир фотон чун яке аз зарраҳои бунёди муойина мешавад. Чанд даҳсола аст, ки қадвали зарраҳои бунёди (зарраҳои элементарӣ) аз фотон сар мешавад.

Энергия ва импульси фотон. Рӯшноӣ ҳам ҳангоми тавлид ёфтани ва ҳам ҳангоми фуру рафтани чун сели зарраҳои рафтор мекунад, ки энергияи $E = h\nu$ доранд, яъне энергияи онҳо ба басомад вобаста аст. «Ҳисса»-и рӯшноӣ ғайриҷашмдошт ба чизе монандӣ пайдо кард, ки зарра ном гирифтааст. Хосиятҳои ҳангоми афканиш ва фурубурд зоҳиршавандаи рӯшноиро хосиятҳои заррагӣ (ё корпускулӣ) ва ҳуди зарраи рӯшноиро фотон ё кванти тобиши электромагнитӣ меноманд.

Фотон мисли зарраҳои энергия муъайян – энергияи $h\nu$ дорад. Энергияи фотонро маъмулан на бо басомади ν , балки бо басомади доиравии $\omega = 2\pi\nu$ ифода мекунанд. Дар ин сурат ба сифати зарра (коэффициент)-и мутаносибӣ ба ҷойи бузургии h

бузургии $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (яъне «хе»-и миёнбаста)-ро истифода меку-

нанд, ки тибқи муълумоти ҳозира қимати зайл дорад:

$$\hbar = 1,0545887 \cdot 10^{-34} \text{ Ҷ}\cdot\text{с}$$

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 $h\nu$ баробар аст, пас, массаи онро ин тавр ёфтан мебояд:

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (8.5)$$

Фотон массаи оромиш (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) муъайяншаванда массаест, ки онро фотон дар ҳолати ҳаракат соҳиб мебошад. Аз рӯи массаи суръати муъайян импульси фотонро ёфтан осон аст:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (8.6)$$

Импульси фотон ба самти шуоъи рӯшноӣ равона мебошад.

Ҳар қадре ки басомад зиёд бошад, энергияву импульси фотон ҳамон қадр зиёданд ва хосиятҳои заррагии «зарраҳои» рӯшноӣ ҳамон қадр рӯшантар зоҳир мегарданд. Энергияи фотонҳои рӯшноӣ намоён 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 офариди 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 рӯшани хосияти мавҷӣ доштани рӯшноӣ ҳастанд. Рӯшноӣ дугунагии ба худ хос дорад. Ҳангоми густариш ёфтани рӯшноӣ хосиятҳои мавҷии

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

Ин ғайриодӣ ва таъаҷубангез 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 ҳоси макроолам, падидаҳои, ки инсон дар дули асрҳо мушоҳида кардааст (ва қонунҳои асосии онҳо дар охири а. XIX шакл гирифтаанд), ба қулӣ фарқ доранд.

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

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

* * * * *

Фотон зарраи бунёдиест, ки аз массаи оромиш ва барқа (заряди электрикӣ) маҳрум мебошад, вале энергияву импульс дорад. Фотон кванти майдони электромагнитӣ ё, ҷӣ навъе ки мегӯянд, *пайки* майдони электромагнитӣ мебошад ва таъсири мутақобили байни зарраҳои барқамандро воқеъӣ 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.



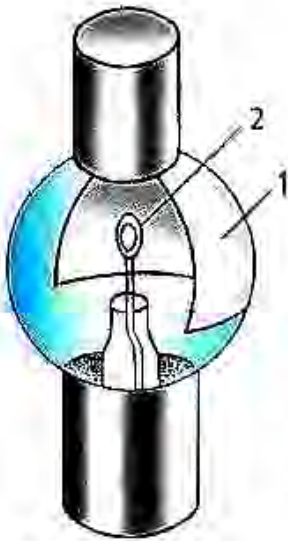
1. *Аз рӯи қимати маълуми басомади (ларзиши) мавҷи рӯшноӣ энергияи фотон ва массаи импульси онро ҷӣ тавр ёфтан мумкин аст?*
2. *Мафҳуми дугунагии зарра-мавҷ ҷӣ маъниро ифода мекунад?*

§69. Истифодаи падидаи фотоэлектрикӣ

Кашфи падидаи фотоэлектрикӣ барои дарки амиқтари табиъати 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 беҳтар кардани шароити моддиву маънавии ҷомеъа муқтадиртар гардонад.

Бо мадади фотопадида 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 рӯи нақшаи муъайян бе даҳлати одам ҳар гуна маснуот тайёр мекунад. Асбобҳои, ки бар падидаи фотоэлектрикӣ асос ёфтаанд, андозаҳои маснуотро беҳтар аз ҳар гуна одам назорат мекунанд, чароғҳои кӯчаву биноҳоро сари вақт дармегиронанд ва ғ. Ҳамаи ин дар натиҷаи ихтироӣи *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 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 пинонда 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 кор мебарорад ё кори онро қатъ мегардонад. Якҷо бо реле кор фармудани фотоолатҳо имкон медиҳад, ки автоматҳои гуногуни «бинанда» сохта шавад. Якеи онҳо автомати метро мебошад. Агар пешакӣ ҳаққи гузар, масалан як панҷтина – ба роғи махсус андохта нашавад, автомат роғи гузарро мебандад.



Рас.159.

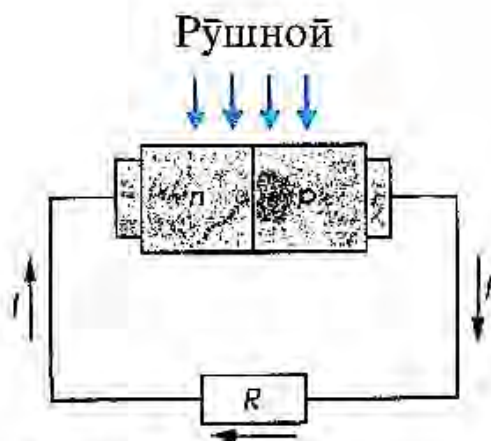
Ин гуна фотоолат фалокатҳои гуногунро низ пешгирӣ карда метавонад. Чунончи, агар дасти одам тасодуфан дар ҷойи хавфноки пресс дарояд, фотоолат прессро қариб дафъатан қарор медиҳад.

Бо ёрии фотоолатҳо садои дар навори кино сабтшударо бозгӯӣ кардан мумкин аст.

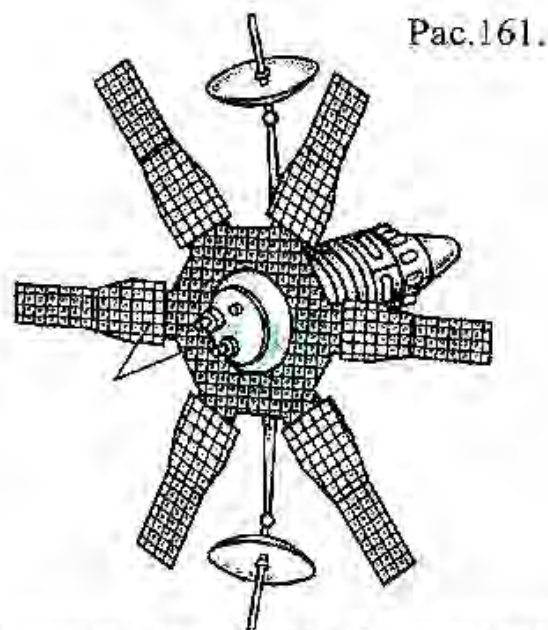
Фотоолатҳои нимноқилӣ. Дар баробари падидаи фотоэлектрикии дар ин боб муойинашуда, ки *фотопадидаи берунӣ* низ номида шудааст, *фотопадидаи дарунӣ* низ ҷой дорад, ки дар нимноқилҳо, аз ҷумла дар фотомуковимат-

ҳо (олатҳои, ки муковимати онҳо ба равшанӣ вобаста аст) истифода мешавад (ниг. китоби дарсии «Физика, 10», §76). Ғайр аз ин фотоолатҳои нимноқилие сохта шудаанд, ки энергияи рӯшноиро бевосита ба энергияи ҷараёни электрикӣ табдил медиҳанд ва *қувваи муҳаррикакии электрикӣ*¹ (ҚуМЭ) ба вучуд меоваранд. ҚуМЭ-и дар ин маврид мушоҳидашаванда дар p-n-соҳаи ду нимноқил дар мавриди рӯшноборон кардани 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* (ковокӣ, ҷойи холи) ба вучуд меояд. Дар соҳаи p-n-гузариш майдони электрикӣ вучуд дорад. Ин майдон ноқилони ғайриасосии моддаи нимноқилҳоро маҷбур мекунад, ки аз тариқи ҷойи тамоси ҳарду 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 соҳаи p-n-гузариш ҷоришаванда ба ҷараёни ноқилони асосии аз ҳамин соҳа ҷоришаванда баробар ояд. Дар натиҷа дар байни нимноқилҳо фарқи потенциалҳои баробар ба қув-

¹Номи пешини ин мафҳум «қувваи электроҳаракатдиҳанда» (КЭХ) буд, ки мазмуно дуруст ифода намекунад. (С.К.).



Рас.160.



Рас.161.

ваи 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 б вучуд оварда метавонанд. Тавони хурӯҷии ин олатҳо (яъне тавон дар баромадгоҳи фотоолатҳо) дар сурати тақрибан 20% будани суд (ё худ коэффисенти кори ғоиданок)-и онҳо то ба садҳо ватт мерасад. Фотоолатҳои камтавон дар *нурсанҷҳо* (фотоэкспонетрҳо) истифода мешаванд. Фотоолатҳои нимноқилӣ хусусан дар батареҳои офтобӣ (рас.161) майдони васеъи татбиқ ёфтаанд, ки онҳо дар киштиҳои кайҳонӣ кор мекунанд. Мутаассифона, ин навъи фотоолатҳо нархи бас гарон доранд.

* * * * *

Фотоолатҳои вакуумӣ ва нимноқилӣ ҷойи истифода бисёр доранд. Фотоолатҳои нимноқилӣ қувваи муҳаррикаи фотоэлектрикӣ ҳосил карда метавонанд.

§70. Фишори рӯшноӣ

Максвел дар заминаи назарияи электромагнитии худ пешгӯӣ кард, ки рӯшноӣ бояд ба сатҳ (монеъа)-и сари роҳи худ фишор биёрад. Ин фишорро П.Н. Лебедев ҷеҷ ҷандааст.

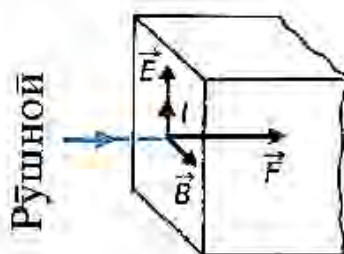
Бо таъсири майдони электрикии мавҷи рӯшноӣ электронҳо дар ҳисм ларзиш меҳӯранд. Ҷараёни электрикӣ ба вучуд меояд, ки он ба самти шиддати майдони электрикӣ равона аст (рас.162). Ба электронҳои ботартибона ҳаракаткунанда аз тарафи майдони магнитӣ қувваи лоренсии F таъсир меоварад. Ин қувва ба рафти мавҷ равона мебошад. Ҳамин аст қувваи фишори рӯшноӣ.

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 олимони 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 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. Ғайр аз ин, ноякхела гарм шудани рӯяҳои болчаҳо (рӯйи рӯшноирасти болча назар ба рӯйи дигари он бештар гарм мешавад) низ боиси тобхӯрди ришта мегардад. Молекулаҳои аз рӯйи гармтари болча инъикосшаванда назар ба молекулаҳои аз рӯйи сардтар инъикосшаванда болчаро импулси зиёдтар мебахшанд.

Лебедев бо вучуди паст будани дараҷаи техникаи

Рас.162.



Рас.163.



Лебедев Петр Николаевич (1866-1912) – физикдони рус, он ки бори нахуст фишори ба чисмҳои сахт ва газҳо овардаи рӯшноиро чен кардааст. Ин таҷрибаи Лебедев назарияи Максвелро миқдоран тасдиқ кард.

Лебедев дар роҳи ҷустуҷӯи исботи таҷрибавии назарияи электромагнитии рӯшноӣ мавҷҳои электромагнитии миллиметридаразӣ 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.

таҷрибавии он давра ҳамаи ин душвориҳоро бартараф сохта тавонист: \bar{u} 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 \bar{u} ба қимати пешгӯикардаи Максвел мувофиқат дошт. Баъдтар, пас аз се соли таҳқиқот Лебедевро муяссар гашт, ки таҷрибаи боз ҳам нозуктаре анҷом диҳад: \bar{u} 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 импульсҳои фотонҳои фурубурдааш баробар аст. Бино бар ин чисми қарор дар натиҷаи фуру бурдани фотонҳо бояд ба ҳаракат дарояд; ва мебарояд (!). Тағйироти импульси чисм мувофиқи қонуни дуҷуми Нютон 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. Андаруни ситораҳо, ки дар онҳо ҳарорат ба даҳҳо миллион келвин мерасад, фишори тобиши электромагнитӣ бояд бағоят бузург бошад. Қувваи фишори рӯшноӣ дар баробари қувваҳои ҷозиба дар падидаҳои дохилиситорагӣ ҳиссаи зиёд дошта метавонад.

Фишори рӯшноӣ ба гуфти электродинамикаи Максвелл ба сабаби ба электронҳои муҳит (ки бо таъсири майдони электрикии мавҷи электромагнитӣ ларзиш меҳӯранд) таъсир овардани қувваи лоренсӣ ба вучуд меояд. Аз нигоҳи назарияи квантӣ фишори рӯшноӣ он гуна сабаби пайдоиш дорад, ки фотонҳо ҳангоми дар ҳисм фуру рафтан импульси худро ба он ҳисм 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?

§71. Асари кимиёии рӯшноӣ. Суратгирӣ (аккосӣ)

Молекулаҳои алоҳида энергияи рӯшноиро квант-квант (зарра-зарра) фуру мебаранд. Энергияи ҳар як квант $h\nu$ аст. Ин энергия дар мавриди истифода шудани рӯшноии намоён ва тобиши ултрабунафш барои таҷзияи бисёр молекулаҳо кофист. Асари кимиёии рӯшноӣ дар ҳамин зоҳир мегардад.

Ҳар гуна табдилоти молекулаи рӯйдоди 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 таъсироти кимиёии рӯшноианд.

Муҳимтарин воқунишҳои кимиёӣ дар асари рӯшноӣ дар баргҳои сабзи дарахтҳову гиёҳҳо, дар баргҳои дарахтҳои сӯзанбарг ва бисёр микроорганизмҳо рӯй медиҳанд. Дар «вучуди» барги сабз аз асари тобиши Офтоб падидаҳои воқеӣ мешаванд, ки барои тамоми ҳаёти рӯи Замин бисёр муҳиманд. Онҳо моро гизо медиҳанд ва маҳз ҳаминҳоянд, 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 чудо мекунанд. Ин, чунон ки гиёҳшиноси рус К.А. Тимирязев



а



б

Рас.164.

исбот карда буд, дар молекулаҳои хлорофилл бо таъсири нури сурхи тайф (спектр)-и хуршеди рӯй медиҳад. Рустаниҳо ба воситаи решаҳои худ атомҳои унсурҳои дигарро аз хок гирифта, ба занҷири карбонӣ пайваستا, сафеда, чарбу ва карбоҳидрат ҳосил мекунанд.

Ҳамаи ин аз ҳисоби энергияи тобиши Офтоб рӯй медиҳад. Зимнан, ин ҷо на танҳо ҳуди энергия, балки хусусан шакли он муҳим аст. Ин рӯйдод, ки *фотосинтез* ном гирифтааст, танҳо бо таъсири рӯшноии таркиби тайфӣ (таркиби спектрӣ)-аш муъайян воқеъӣ мешавад. Механизми фотосинтез ҳанӯз на ба пуррагӣ рӯшан аст. Кашфи ин асрор барои инсоният шояд оғози давраи наве гардад.

Он гоҳ сафедаҳову моддаҳои мураккаби органикии дигарро дар фабрикаҳои рӯкушод (дар зерини гунбади нилгун) тайёр кардан имконпазир мебуд.

Асари кимиёии рӯшноӣ асоси амали суратгирӣ мебошад.

Суратгирӣ (аккосӣ). Қабати ҳассоси фотолава 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 мерабоянд ва дар булӯракҳо қадре атомҳои хунсои нукра ба вучуд меояд.

¹Аз калимаи фаронсагии *gelatine* – омехтаи сафедамони виде, ки маҳлули ба ҳам ҷӯшонидани устухонҳову рағу пайи ҳайвонот мебошад. (С.Қ.).

Аммо умуман микдори нукраи филизии дар ин чараён ҳосилшаванда кам аст.

Дар ҳақиқат, метавон дид, ки фотолавҳа (ё фотонавор) аз асари рӯшноӣ бо мурури замон кадре тира мешавад – ин ба пайдоиши нукраи филизӣ алоқаманд мебошад. Аз ин рӯ тасвири дар фотолавҳа бо таъсири рӯшноӣ ҳосилшударо тасвири ниҳон (ё тасвири ниҳонӣ) меноманд.

Барои зоҳир гардондани тасвири ниҳон фотолавҳаро аввал ба маҳлули ҳидрохинон, метол ё моддаҳои дигаре меғунанд, ки аз асари онҳо дар тамоми ҳаҷми булӯракҳои рӯшнохӯрда нукраи филизӣ чудо мешавад. Он гоҳ дар лавҳача тасвири негативии объект ҳосил мешавад – дар ин гуна тасвир ҷойи китъаҳои сафеду сиёҳ ивазшуда меояд (рас. 164,а).

Амали оянда – собитгардонӣ – иборат аз ин аст, ки лавҳаро бо маҳлули ҳипосульфит (аз калимаи юн. *hypo* – зер, таҳт) мешӯянд, то ки булӯракҳои боқимондаи бромиди нукра аз лавҳа бирезанд – он гоҳ фотолавҳа ба асари рӯшноӣ ноҳассос мешавад. Баъд негативро дар об шуста хушк мекунанд.

Пас аз ин негативи хушкидаро дар рӯйи фотоқоғаз (қоғази одие, ки рӯяш қабати рӯшноҳискунанда давонда шудааст) гузошта, онро бо нури ҷароғи нисбатан пуртавон рӯшан месозанд ва баъди ҳамон гуна пардаҳти кимиёӣ 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 ашёву рӯйдодҳои гузаронро муддати дурудароз бетағйир (собит) нигоҳ медорад. Ин навъ суратҳо дар пажӯҳишҳои илмӣ низ аҳамияти муҳим доранд. Чунончи, барқ ворӣ рӯйдодҳои онӣ (бағоят зудгузар)-ро дар фотолавҳа сабт карда, баъд онро бафурча омӯхтан мумкин аст.

Объектҳоеро ҳам, ки тобиши суст доранд ва барои ҷашм ҳиснопазиранд, дар фотолавҳа сабт гардондан душвор нест. Барои ин муддати вобуди дастгоҳи суратгириро ба қадри кофӣ зиёд гирифтани мебошад. Ҳамин аст, ки Галахтарҳо (Галактикаҳо) ворӣ ҷирмҳои осмони дур аз рӯйи 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 фотозлектронҳоро тасвир созед ва бигӯед, ки аз рӯйи ин гуна нигора собити Планкро чӣ тавр муъайян кардан мумкин аст?
2. Қобилияти шуоъшикании мутлақи муҳитеро ёбед, ки дар он рӯшноии энергияи фотонҳош $4,4 \cdot 10^{-19}$ Ҷ дарозии мавҷи $3,0 \cdot 10^{-7}$ м дорад.
3. Энергияи фотонеро ёбед, ки дарозии мавҷи $5,0 \cdot 10^{-7}$ м дорад.
4. Дарозии мавҷи рӯшноӣ (λ)-еро 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 (фотоэффekt) V_{\min} -ро ёбед.
6. Нури дарозии мавҷаш $\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7}$ м ба моддае мезанад, ки барои он сарҳадди сурхи фотопадаида $\lambda_{\min} = 4,3 \cdot 10^{-8}$ м (хертз) аст. Фотозлектронҳо дар ин маврид чӣ гуна энергияи кинетикӣ мегиранд?
7. Дарозии мавҷи рӯшноӣ $\lambda = 0,5 \cdot 10^{-7}$ м аст. Фотонҳо дар ин маврид чӣ гуна импульс доранд?

Муҳиматарин 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 фотозлек-

трикӣ (яъне падидаи бо таъсири рӯшноӣ канда шудани электронҳои модда) тасдиқ мекунад. Адади электронҳои кандашуда ба шиддати рӯшноӣ мутаносиб асту энергияи кинетикии фотозлектронҳо танҳо ба басомади рӯшноӣ бастагӣ дорад. Ба гуфти Эйнштейн ҳиссаи фурурафтаи энергияи рӯшноӣ $h\nu$ барои кори аз сатҳи филиз (металл) кандани электрон

А ва барои ба он электрон бахшидани энергияи кинетикии $\frac{mU^2}{2}$ сарф мешавад, яъне

$$h\nu = A + \frac{mU^2}{2}$$

Агар басомади рӯшноӣ $\nu < \nu_{\min} = \frac{A}{h}$ бошад, падидаи фотозлектрикӣ рӯй дода наметавонад.

4. Рӯшноӣ дар чараёни афканиш ва фурубурд хосиятҳои заррагӣ (хосиятҳои корпускулӣ) зоҳир мекунад. Зарраи рӯшноӣ *кванти рӯшноӣ* ё худ *фотон* ном гирифтааст. Энергияи фотон ин тавр ифода карда мешавад:

$$E = h\nu = \hbar\omega$$

Ин ҷо $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Ҷ·с собити «миёнбаста»-и Планк асту ω - басомади дойравӣ.

Фотон импульси $p = \frac{h}{\lambda}$ дорад (λ дарозии мавҷ аст).

5. Рӯшноӣ ҳангоми густариш ёфтани хосиятҳои мавҷӣ низ зоҳир мекунад (падидаҳои интерференс ва дифраксияи рӯшноӣ ба ин далеланд).

6. Рӯшноӣ хосияти дугунагӣ (дуализм) дорад. Баъдҳо рӯшан гашт, ки хосияти дугунагии рафтори зарраҳои микроскопӣ на танҳо зарраҳои рӯшноӣ, балки ҳама зарраҳои бунёдиро хос будааст.

7. Падидаи фотозлектрикӣ (фотозфферт) дар техника ҷойи истифода бисёр дорад. Ба воситаи асбоби махсус – *фотоолат*

(фотоэлемент) – энергияи рӯшноиро бо ёрии энергияи ҷараёни электрикӣ идора кардан (ё ба энергияи ҷараёни электрикӣ табдил додан) имконпазир аст. Фотоолатҳо дар автоматҳои гуногуни «бинанда» низ истифода мешаванд. Қори батареҳои офтобӣ низ бар истифодаи ҳамин падида асос ёфтааст.

8. Аз назарияи Максвелл хулосае бармеояд, ки рӯшноӣ ба садд (монета)-и сари роҳи худ фишор меорад. Ин фишор бағоят кам аст. Онро бори аввал П.Н.Лебедев чен кардааст.

9. Дар ин ё он модда фуру рафтани рӯшноӣ боиси афзудани фаъолияти кимиёии он модда мегардад. Дар барги дарахтони сабз ва дар бисёр микроораганизмҳо муҳимтарин воқунишҳои кимиёӣ бо таъсири рӯшноӣ ҷараён мегиранд. Баргҳо гази карбонати атмосфераро фуру бурда, онро ба ҷузъҳои таркибӣ – карбону оксиген таҷзия мекунанд. Моҳияти падидаи *фотосинтез* дар ҳамин аст.

Дарки он ки атом сохти мураккаб дорад, муҳимтарин марҳалаи шаклгирии физикаи муосир гардид ва дар тамоми давраҳои инкишофи минбаъдаи он нақши рӯшан дошт. Дар чараёни офариниши назарияи миқдории сохти атом, ки шарҳи тайфҳо (спектрҳо)-и атомиро имконпазир гардонд, қонунҳои нави ҳаракати микрозарраҳо – қонунҳои механикаи квантӣ кашф шуданд.

§72. Сохти атом. Таҷрибаҳои Резерфорд

Олими машҳури англис Э. Резерфорд ба таҳқиқи масъалаи аз моддаҳо пареш хӯрдани алфа-зарраҳо пардохта, с.1911 ҳастаи атомиро кашф кард; ӯ дарёфт, ки 1) андозаҳои ҳастаи атом назар ба андозаҳои ҳуди атом даҳҳо ҳазор бор хурд аст ва 2) қариб ҳамаи массаи атому тамоми барқии мусбати он (яъне бори электрикии ҳастаи атом) дар ҳамин ҳаста ҷамъ омадаанд.

Модели Томсон. Тасаввуроти дуруст дар бораи сохти атом на якбора ба даст омад. Нахустин модели атоми олими англис Кошифи электрон Ч.Ч.Томсон пешниҳод кардааст. Ба ақидаи Томсон барқии 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 андарунаш як электрон дорад; атомҳои мураккабтар дар даруни кураи мусбатбарқии худ чанд электрон доранд, яъне умуман атом нони мавиздореро мемонад, ки дар он ба ҷойи донаҳои мавиз электронҳо воқеъанд. Ҳамин гуна шакл дошт модели Томсонии атом.

Вале модели атоми Томсон бо таҷрибаҳои онвақтаи таҳқиқи тақсими барқии мусбат дар ҳаҷми атом мухолифат 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 чамъан хунсо мебошад, пас, қисми асосии массаи онро массаи қисми мусбатбарқайи он ташкил медиҳад.

Барои таҳқиқи таҷрибавии тақсимои барқайи мусбат ва барҳамин асос, тақсимои 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 радиий ва баъзе унсурҳои дигар ба вуҷуд меоянд. Массаи α -зарра назар ба массаи электрон қариб 8000 бор зиёд аст; барқайи α -зарра ба қимати дучандаи барқайи 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.

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 намедиҳад.

Алфа-зарраҳоро танҳо қисми мусбатбарқайи атом пароканда (яъне самти парвози онҳоро тағйир дода) метавонад. Ҳамин тариқ, аз рӯйи манзараи пароканиши α -зарраҳо манзараи тақсимои барқайи мусбат ва массаро андаруни атом дарк кардан мумкин аст.

Тарҳи таҷрибаҳои Резерфорд дар рас.165 тасвир ёфтааст.

Манбаи радиоактив (масалан, каме радиий) андаруни силиндри сурбии 1 гузошта шудааст. Силиндр барои берун омадани α -зарраҳо сӯроҳе дорад. Дастаи α -зарраҳо аз ин сӯроҳ баромада, ба варақайи тунуки (2)-и иборат аз моддаи таҳқиқшаванда (тилло, нӯкра, мис ва ғ.) мезанад. Ин зарраҳо баъди пароканиш ба пардае (3) мезананд, ки нимшаффоф аст ва дар рӯйи сулфиди руҳ давонда шудааст. Дар натиҷаи ба парда



Рас.165.

задани ҳар як зарра ҳамон нуқтаи экран шӯълавар мешавад (ё чунон ки мегӯянд, милт-милт мекунад). Шӯълаҳои 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 варақаи таҳқиқшаванда дар экран аз асари α -зарраҳо дойирачаи 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) дойирачаи васеътар ба вучуд меоваранд.

Резерфорд дастгоҳи таҷрибаро такмил дода, кӯшид, ки мавридҳои ба кунҷҳои калон пареш хӯрдани α -зарраҳоро ошкор созад. Ва ногаҳон ӯ дарёфт, ки баъзе α -зарраҳо (тақрибан яке аз ду ҳазор) ба кунҷҳои бештар аз 90° майл мехӯранд. 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-дйуймии сӯйи варақи коғаз тунук паррондаи шумо аз он коғаз инъикос гашта, боз сӯйи шумо биёяд».

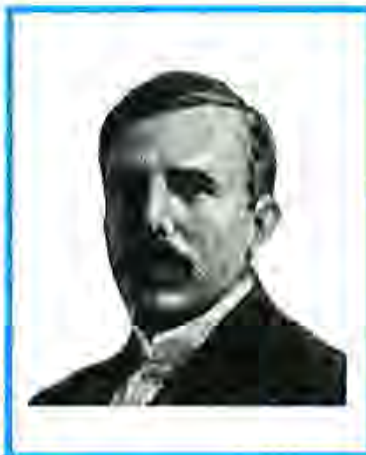
Дар ҳақиқат, дар сурати дар тамоми ҳаҷми атом паҳн будани барқои мусбати атом, чунон ки аз модели Томсон бармеомад, ин гуна натиҷаро ҷашм доштан берун аз имкон менамуд: дар ин сурат майдони электрикии барқои мусбати атом он қадр пурзӯр намебуд, ки α -зарраро ақиб гардонда тавонад. Қувваи зиёдтарини талахӯрди α -зарра аз рӯйи қонуни Кулон ин тавр ёфта мешавад:

$$F_{\max} = \frac{q_{\alpha}q}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \quad (9.1)$$

ки ин ҷо q_{α} 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

Резерфорд Эрнест (1871-1937) - физикдони бузурги инглис, зодаи Зеландияи 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 муҳқиқиқе буд, ки табдили сунъии ҳастаҳои атомиро воқеъӣ гардонд. Ҳама таҷрибаҳои ӯ таҷрибаҳои бунёӣ (фундаменталӣ) ва бағоят сода буданд.

Дар тавсифи Резерфорд bias аст бигӯем, ки ӯ узви ҳама академияҳои олам буд.



қимати зиёдтарин дорад ва ба андозаи сӯйи маркази кура рафта то ба сифр кам мешавад.

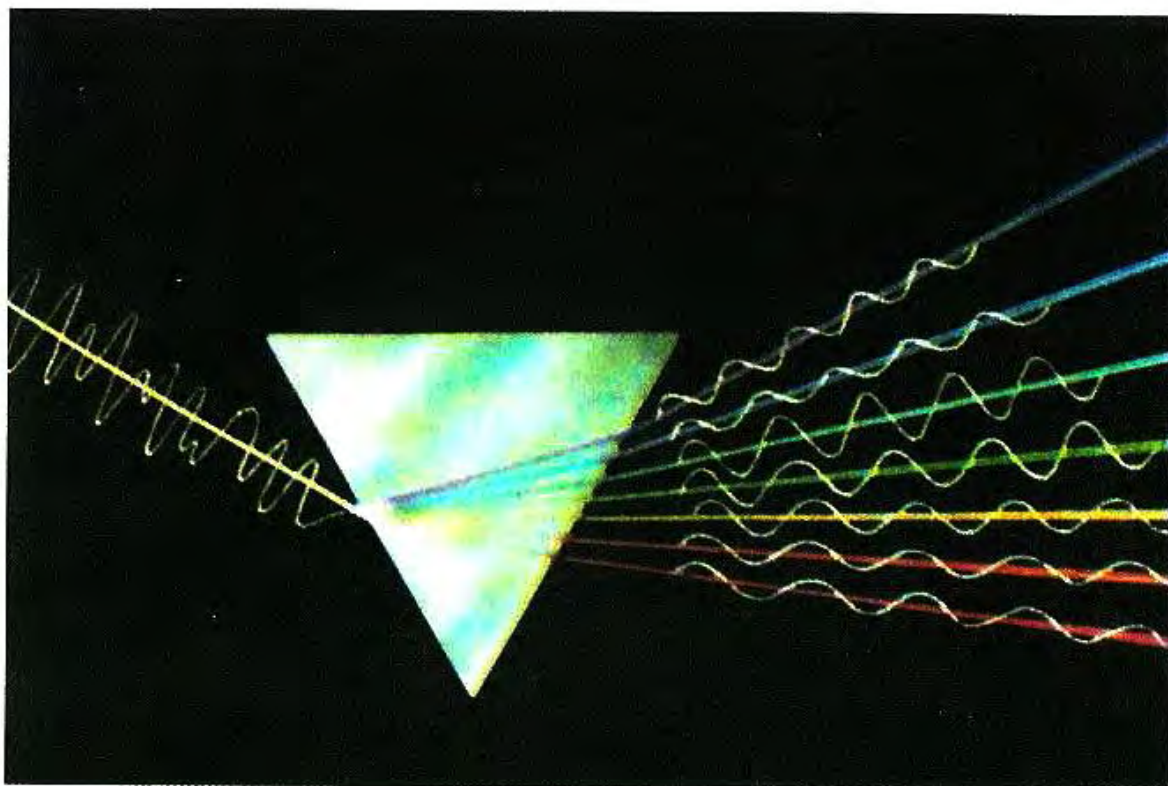
Аз ин рӯ ҳар кадре, ки масофаи байни α -зарраву қисми марказии атом кӯтоҳтар бошад, зарра ҳамон қадр саҳттар тела меҳӯрад.

Муъайян кардани андозаи ҳастаи атом. Резерфорд пай бурд, ки танҳо дар мавриди дар соҳаи бағоят хурдандозаи фазо чамъ будани қариб ҳамаи масса (ҷирм) ва тамоми барқай мусбати атом α -зарра аз он инъикос шуда метавонад. Бар ҳамин асос *Резерфорд ба гоӣи ҳастаи атом омад: ҳастаи атом қисми хурдандозаест, ки дар он тамоми барқай мусбати атом ва қариб ҳамаи массаи он чамъ омадааст.*

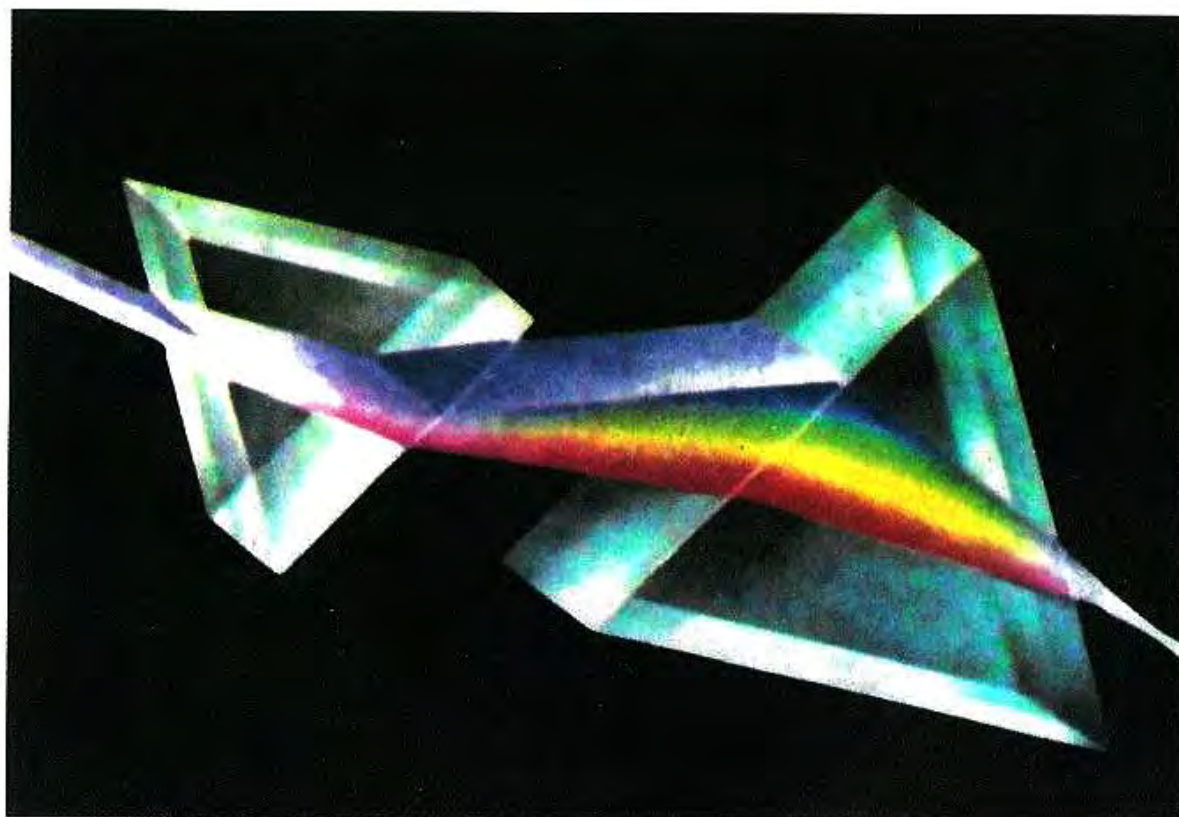
Дар рас.166 масир (траектория)-и парвози α -зарраҳое тасвир ёфтааст, ки аз ҳаста дар масофаҳои гуногун мегузаранд.

Резерфорд адади α -зарраҳои таҳти кунҷҳои гуногун парешхӯрдари 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 муъайян кардани барқай ҳаста низ муяссар гардид. Агар барқай электронро шартан чун воҳид қабул кунем, барқай ҳаста айнан ба рақами атомии унсури кимиёӣ дар ҷадвали Д.И.Менделеев баробар хоҳад буд.

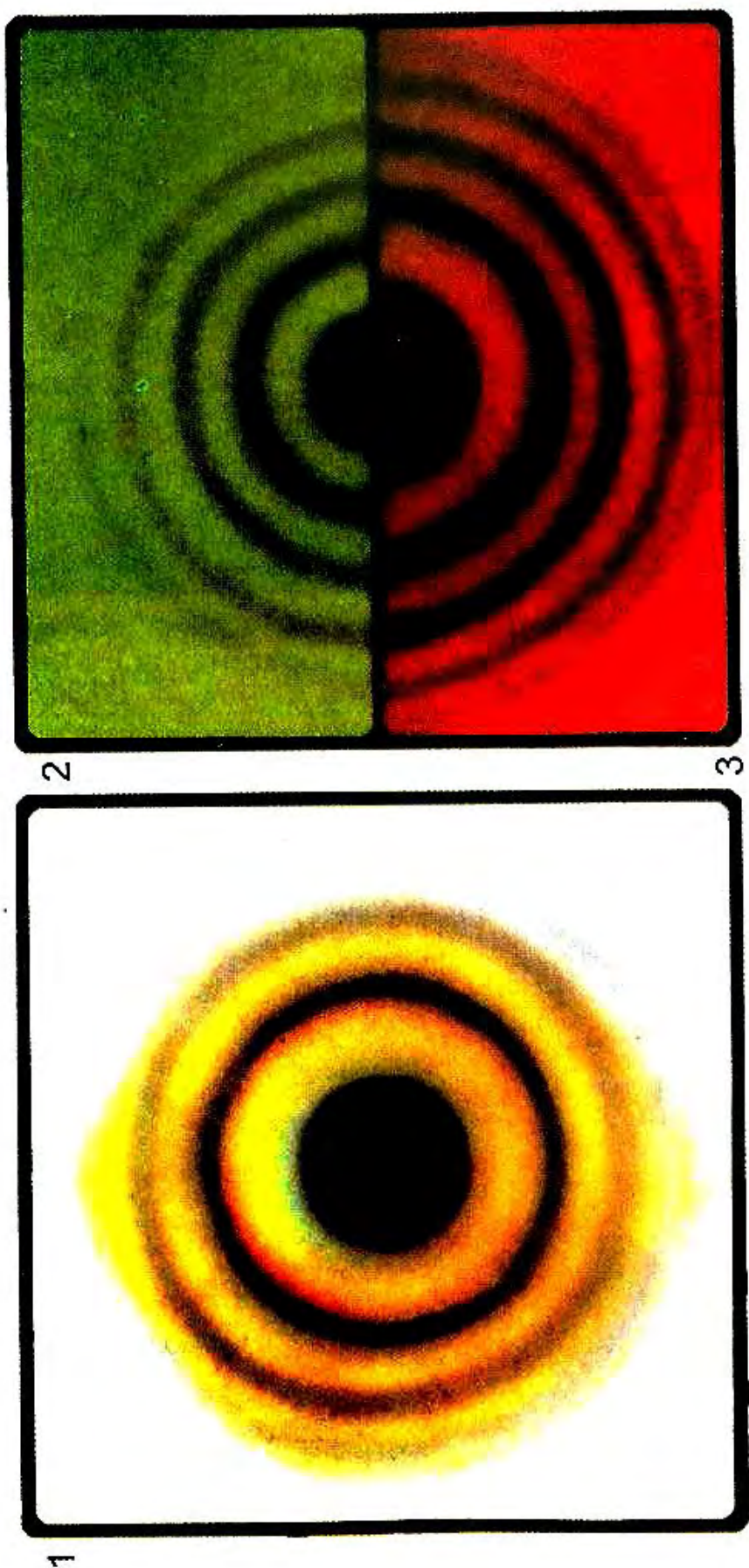
Модели сайёравии атом. Аз таҷрибаҳои Резерфорд бевосита модели сайёравии атом бармеояд. Дар маркази атом ҳастаи он ҷой гирифтааст, ки қариб тамоми массаи атомро дарбар мегирад. Атом чамъан хунсо (яъне сифрӣбарқа) мебошад. Пас,



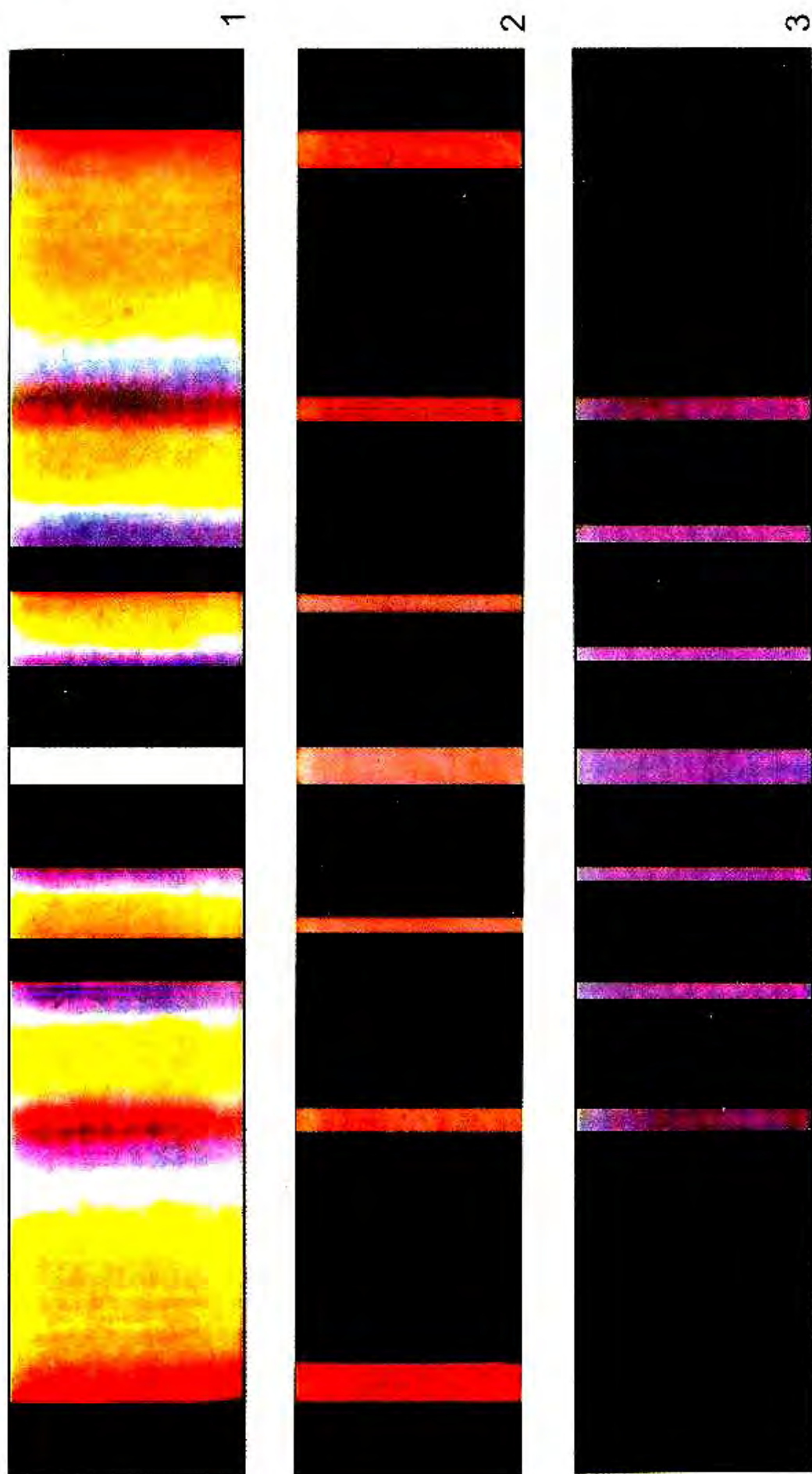
Рас. I. Тархи таҷзияи нури сафед ба воситаи маншур (призма).
Рангҳои гуногунро мавҷҳои гуногундарозӣ рост меояд.



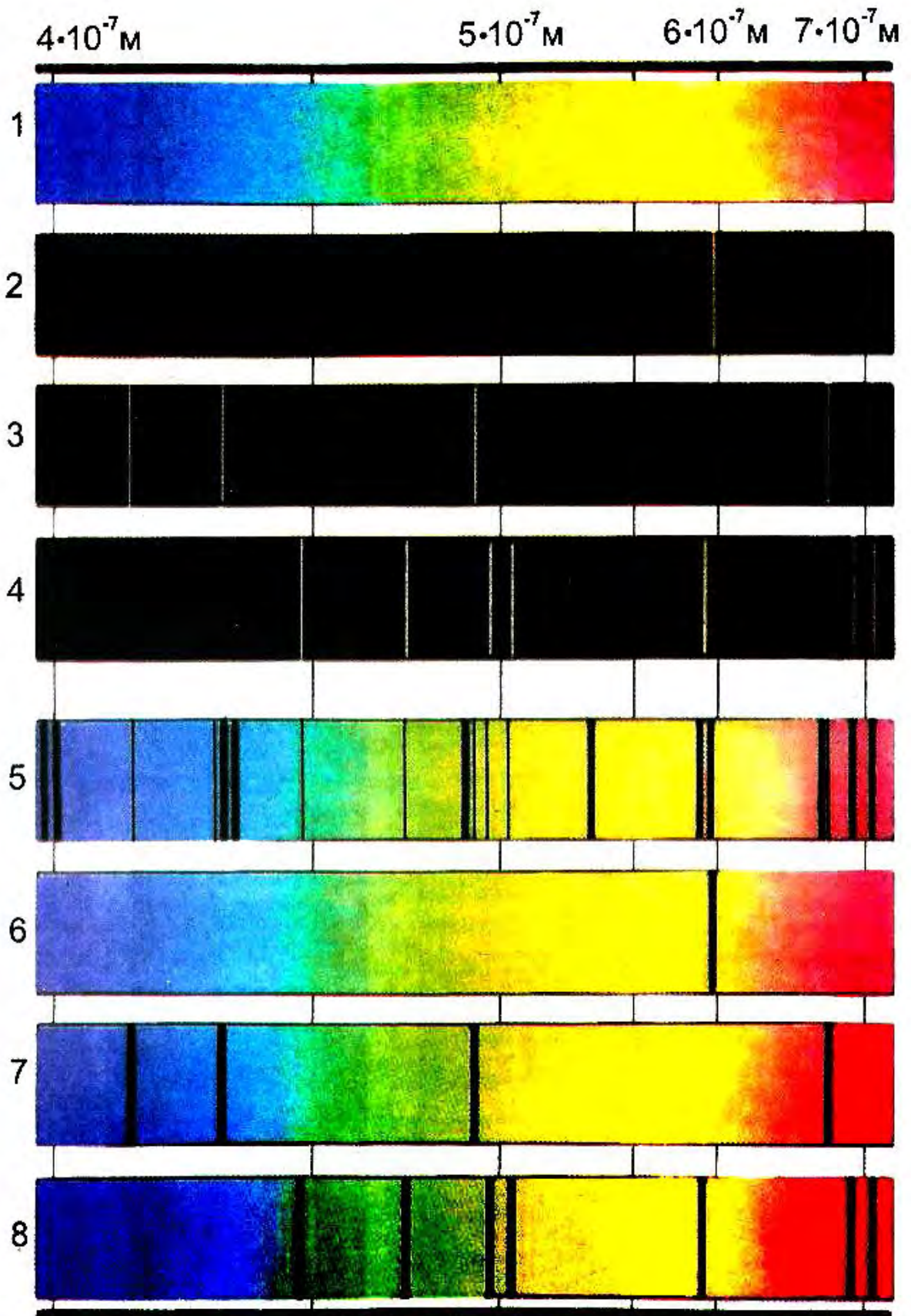
Рас. II. Таҷзияи нури сафед ва ҳамовард (синтез)-и он ба
воситаи ду маншур (призма).



Рас. III. Халқаҳои Нйутон 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. Тайфҳо (спектрҳо)-и афканиш: 1 - бефосила;
 2 - натрий; 3 - ҳидроген; 4 - ҳелий (гелий).
 Тайфҳои фурубурд: 5 - партави офтоб; 6 - натрий;
 7 - ҳидроген; 8 - ҳелий.

адади электронҳои атом низ мисли барқои ҳаста ба рақами атомии унсур (дар системаи даврии унсурҳо) баробар аст.

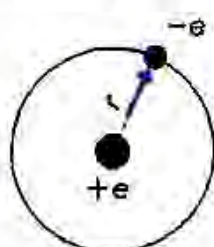
Рӯшан аст, ки электрон андаруни атом қарор буда наметавонад, вагарна ба рӯи ҳаста меафтад. Электронҳо гирди ҳаста дар гардишанд – мисли он ки сайёраҳо гирди Офтоб гардонанд. Ин гуна рафтори электронҳо бо асари қувваҳои кулонии таъсири мутақобили ҳаставу электронҳои атрофи он таъйин мешавад.

Дар атоми ҳидроген дар гирди ҳаста танҳо як электрон гардиш мекунад. Ҳастаи ин атом барқои мусбате дорад, ки он модулан баробари барқои электрон аст. Массайи ҳастаи атоми ҳидроген ба 1836,1-чанди массайи электрон баробар мебошад. Ин ҳаста *протон* ном гирифтааст ва то ҳакин қарибҳо чун зарраи бунёдӣ (чун зарраи элементарӣ) пиндошта мешуд. *Андозаи атом* гуфта радиуси мадори ҳаракати электрони онро фаҳмидан мебошад (рас.167).

Моделҳои сайёравии атом бо ҳама содагиву аёнӣ худ бунёди қавии таҷрибавӣ дорад. Вай дар шарҳи таҷрибаҳои таҳқиқи пароканиши алфа-зарраҳо ҳатман зарур менамояд. Лекин ин модел дар шарҳи ҳуди мавҷудияти атом, дар шарҳи пайдориҳои атом тамоман очиз монд. Дарвоқеъ, электрон дар гирди ҳаста бо шитоб ҳаракат мекунад ва ин шитоб бисе бузург аст. Аз нигоҳи қонунҳои электродинамикаи Максвелл барқои бо шитоб ҳаракаткунанда бояд мавҷҳои электромагнитие афканад, 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 маснуъ ҳангоми тормоз хӯрдан (дар қабатҳои болоии атмосфера) ба Замин наздик меояд. Чунон ки ҳисобкитоби дақиқ дар заминаи механикаи Нютон ва электродинамикаи Максвелл



Рас.166.



Рас.167.

нишон медиҳад, электрон дар муддати бағоят кӯтоҳ (тақрибан $\sim 10^{-8}$ с) бояд ба сатҳи ҳаста биафтад, яъне гуё 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 нурафканӣ (энергияафканӣ) 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 кардани рӯйдодҳои атомӣ қобили истифода нестанд.

Резерфорд модели сайёравии атомро бунёд кард, модели бунёд кард, ки дар он электронҳо дар гирди ҳаста гардиш меҳӯранд, мисли он ки сайёраҳо дар гирди Офтоб гардонанд. Ин модел бисёр сода аст ва заминаи таҷрибавӣ дорад, вале пайдории атомҳоро маънидод карда наметавонад.



1. *Сабаб чист, ки зарраҳои манфибарқии таркиби атом ба пароканиши алфа-зарраҳо таъсири намоён расонда наметавонанд?*
2. *Дар чӣ асос гуфтан мумкин аст, ки агар барқии 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?*

§73. Постулатҳои квантии Бор. Модели бории атом.

Ҳалли муъаммои дар §72 зикршударо с.1913 олими бузурги данмаркӣ 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 натавонист. Ӯ моҳияти асосии назарияи навро дар шакли ду постулат баён кард. Зимнан, Бор дар постулатҳои худ қонунҳои физикаи классикиро бе чуну чаро рад накардааст. Постулатҳои нав танҳо баъзе маҳдудиятҳои физикиро аз миён мебардош-

танд.

Бо вучуди ин назарияи Бор бо комёбиҳои ҳайратангез нойил 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 стационарӣ) *ё ҳолатҳои махсуси квантӣе* вучуд дошта метавонад, ки ҳар яки онҳоро энергияи муъайяни E_n рост меояд. Атом дар ҳолатҳои муқимӣ нур намеафканад.

Ин постулат бо механикаи классикӣ муҳолифати ошкоро дорад, зеро аз нигоҳи механикаи классикӣ электрон энергияи дилхоҳ дошта метавонад. Ин постулат ба электродинамикаи Максвелл низ муҳолиф аст, зеро мегӯяд, ки электрони бо шитоб ҳаракаткунанда метавонад мавҷи электромагнитӣ наафканад.

Мувофиқи постулати дуюми Бор *атом он гоҳ нур (энергия) меафканад, ки аз ҳолати муқимии зиёдаэнергия (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 мумкин аст:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h} \quad (9.3)$$

Дар натиҷаи фуру бурдани энергия атом аз ҳолати муқимии камэнергия ба ҳолати муқимии зиёдаэнергия мегузарад.

Постулати дуюм низ муҳолифи электродинамикаи Максвелл мебошад, 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 водород ба қор бурд. Вазифаи асосӣ ёфтани басомади мавҷҳои электромагнитии



Бор Нилс (1885-1962) - физикдони бузурги данмаркӣ (даниягӣ), ки нахустин назарияи квантии атомро бунёд кард ва баъд дар таҳияи бунёди механикаи квантӣ басе фаъолона ширкат варзид. Бор ҳамчунин дар офариниши назарияи ҳастаи атом ва вокунишҳои ҳастаӣ (реаксияҳои ҳастаӣ) 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 физикӣ кушод ва барои ишқишофи ҳамкориҳои физикдонҳои дунё хидмати шойистаи таҳсин кард. Бор яке аз муборизони фаъоли зидди истифодаи силоҳи атомӣ буд.

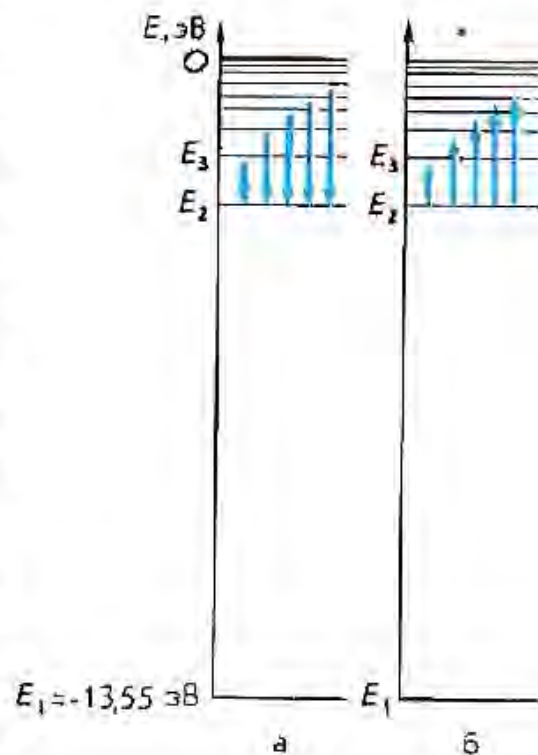
афкандаи атомҳои ҳидроген буд. Ин басомадхоро дар заминаи постулати дуюм ёфтагон осон аст, ба шарте ки қоидаи муъайян кардани қиматҳои энергияи ҳолатҳои муқимии атом маълум бошад. Ин қоидаро низ, ки қоидаи *квантониши* аст, Бор дар шакли постулат баён кард.

Модели бори атоми ҳидроген.

Бор заминаи қонунҳои механикаи Нютон ва қоидаи квантониш (ки ҳолатҳои имконпазири муқимиҳо ҷудо мекунад)-и радиуси мадорҳои ҷоизи электрон ва энергияи ҳолатҳои муқимиҳо 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 дуюми Бор имкон медиҳад, ки аз рӯи қиматҳои муъайяни энергияи ҳолатҳои муқимӣ басомади тобиши атоми

Рас.168.



¹Дар 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; $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

²Шарҳи мафҳумҳои «ҳолати муқимӣ» (ҳолати стационарӣ) ва «савияи энергия»-ро аз китоби С.Қодирӣ «Лугати русӣ-тоҷикӣ истилоҳоти физика», «Маориф», 1985, с. 333, 378 мутолиъа кардан мумкин аст.

ҳидроген ёфта шавад.

Қиматҳои дар асоси назарияи Бор ёфтшудаи ин басомадҳо бо таҷриба мутобиқати миқдорӣ низ доранд. Ҳама басомадҳои тобиши ҳидрогенӣ чанд силсилае (гурӯҳи ҳаҷҳои спектри тобиш) ба вуҷуд меоянд, ки ҳар яке онҳо дар натиҷаи аз ҳама ҳолатҳои боло (ҳолатҳои зиёдеэнергия) ба яке аз ҳолатҳои поёни гузаштани атом пайдо мешавад.

Гузаришҳои, ки дар сурати аз ҳолатҳои боло ба ҳолати якуми ангехта (яъне ба савияи дуоми энергӣ) ҳаҷидани система рӯи медиҳанд, *силсилаи Балмер* (яъне силсилаи ҳаҷҳои балмерӣ)-ро ташкил медиҳанд. Ин гузаришҳо дар рас.168,а бо тирчаҳо ишорат шудаанд. Ҳатти сурх, ҳатти сабз ва ду ҳатти кабудӣ қисми намоёни спектр (тайф)-и ҳидроген (*ниг. варақкаи ранга, рас. V. 3*) дар натиҷаи гузаришҳои зайл ба вуҷуд меоянд:

$$E_3 \rightarrow E_2, E_4 \rightarrow E_2, E_5 \rightarrow E_2, E_6 \rightarrow E_2.$$

Номи ин силсилаи тайфӣ аз исми омӯзгори суисӣ (швейсариягӣ) Иоханн Балмер бармеояд, ки ҳанӯз 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 чаппа. Атом дар натиҷаи фурӯ бурдани рӯшноӣ 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 ҳангоми аз савияҳои боло ба ҳолатҳои поёни гузаштан меафканад.

Бор дар асоси ду постулати эҷодкардаи худ ва қоидаи квантониш радиуси атоми ҳидроген ва энергияи ҳолатҳои муқимӣ (ҳолатҳои стационарӣ)-и атомро муъайян 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 речаи гузаришҳои квантӣ дар рас.168 тасвируда бо тирчаҳо сабт кунед.

§74. Мушкилоти назарияи Бор. Механикаи квантӣ.

Бузургтарин комёбии назарияи Бор дар муойинаи атоми ҳидроген ба даст омада аст, зеро дар заминаи назарияи Бор бунёд сохтани назарияи миқдорӣ спектр (тайф)-и ҳидроген имконпазир гашт.

Лекин офариниши ҳамин гуна назарияи миқдорӣ барои атоми ояндаи қадвали 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, чунон ки дидем, назарияи Бор барои бунёд сохтани назарияи атоми ҳидроген қонунҳои муқаррарии механикаи Нютон ва қонуни Кулонро истифода мекарду аз тарафи дигар – постулатҳои квантиро, ки онҳо бо механикаи Нютон 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.

Постулаҳои Бор қомилан дуруст баромаданд. Вале онҳо акнун на чун постулат, балки чун натиҷаи қоидаҳои аслий (принсипҳои асосӣ)-и ин назарияҳо пазируфта мешуданд. Вале чунон ки рӯшан гашт, қоидаи квантониши Бор на ҳамеша қобили истифода будааст.

Маълум гашт, ки тасаввуроти пешина дар бораи мадорҳои электронӣ (дар атоми Бор) шартинанд. Дар воқеъ 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) гирифта имкон

медошт, дар он (сурат) абре хувайдо мегашт, ки дар масофаи муъайян аз ҳаста як зичӣ дораду қадре дуртар ё наздиктар аз он – зичии дигар. Ба иборати дигар, дар ин маврид абри гуногунзичӣ мушоҳида мешуд. Он гоҳ рӯшан мегашт, ки электрон қисми зиёди вақтро дар масофаи муъайян аз ҳаста мегузаронад. Ин масофаро дар тақриби аввал чун радиуси мадори электрон пазируфтган 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 суоли содаву мураккаб дар бораи сохти атомҳо ва хосиятҳои қабатҳои электрони онҳо ҷавоби қаноатбахш додан имконпазир аст. Вале назарияи миқдории дар ин маврид истифодашаванда бисёр мураккаб аст – бино бар ин мо онро ин ҷо муойина намекунем. (Тавсифи сифатҳои қабатҳои электрони атомҳо шумо, хонандаи азиз, аз китоби дарсии кимиё пайдо карда метавонед).

§75. Лазерҳо

Ба пурсиши ин ки лазер² 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 ҳосилшуда сифатан хубтар мебошад. Сифати энергияи лазерӣ бо дараҷаи баланди тарокум (концентрация) ва имкони ба масофаҳои зиёд нақл кардани он муъайян мешавад. Шуоъи лазериро

¹Ин ҷо шабоҳати манзараҳоро танҳо барои муддати муъайяни вақт, муддати ба кадри кофӣ зиёди сабти суратҳо дар назар доштан мебояд. Ҳаракати электронро бо парпари парвона ё бо ҳаракати ҳар гуна қисми дигари макроскопӣ монанд кардан носоҳеҳ аст.

²Лазер – истилоҳе, ки аз сарҳарфҳои ибораи англисии *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (тақвияти тобиш тавассути тобиши илқой) ҳосил мешавад.

дар шакли нуқтае конундод кардан мумкин аст, ки андозаҳои он тақрибан ҳамчени дарозии мавҷи рӯшноӣ бошад – дар ин сурат зичии энергияро он қадр зиёд кардан мумкин аст, ки назар ба зичии энергияи таркишҳои атомӣ беиштар бошад. Бо ёрии шуоъҳои лазерӣ аллакай ҳарорат, фишор ва индуксияи магнитӣ (илқои магнитӣ)-и баландтарин ба даст оварда шудааст. Ва филохир, шуоъи лазер пургунҷойиштарин ҳомили ахбор ва дар ин «ҷода» воситаи аслан нави нақли ахбор ва корбасти он мебошад».

Тобиши илқошуда (нурафканиши индусиронида). Соли 1917 Эйнштейн имкони тобиши ба истилоҳ маҷбури ё илқошудаи рӯшноиро пешгӯӣ кард. Тобиши маҷбури гуфта чараёни пайдоиши мавҷҳоеро мефаҳманд, ки онҳо бо таъсири рӯшноӣ аз атомҳои ангехта афканда мешаванд. Хусусияти аҷиби ин гуна афканиш он аст, ки мавҷи рӯшноии дар ин маврид пайдошаванда аз мавҷи ба атом зананда на бо басомад фарқ мекунад на бо фази худ ва на бо қутбиши (поларизатсия)-и худ.

Дар забони назарияи квантӣ тобиши маҷбури нишони он аст, ки атом аз савияи баланди энергия ба савияи поёни мегузарад, аммо на худбахуд (чунон ки дар чараёни нурафканиши муқаррарӣ ба назар мерасад), балки бо таъсири омили беруни (чунончи: рӯшноӣ).

Лазерҳо. Ҳанӯз с.1940 физикдони рус В.А.Фабрикант собит карда буд, ки падидаи тобиши маҷбуриро барои тақвият додани мавҷҳои электромагнитӣ ба кор бурдан имконпазир аст. Соли 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 (хамроҳи 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 навъи дигар чанд бартарӣ доранд:

1. Ба воситаи лазер дастаи рӯшноии бағоят борике метавон ҳосил кард, ки барои он кунчи титшуд (ё худ кунчи воғаройӣ) на бештар аз 10^{-5} рад бошад. Ин гуна дастаро агар аз Замин сӯйи Моҳ равона кунем, он ҷо доге ба вучуд меоварад, ки кутраш на бештар аз 3 км меояд.

2. Нури лазер ба дараҷаи фавқулода якранг (монохроматӣ) аст. Бар хилофи манбаъҳои муқаррарии рӯшноӣ, ки дар онҳо атомҳо новобаста ба якдигар нур меафкананд, тобиши атомҳои лазерӣ ҳамоханг аст. Ҳамин аст, ки тағйироти фази мавҷҳои лазерӣ ҳеҷ гуна номурааттабӣ надорад.

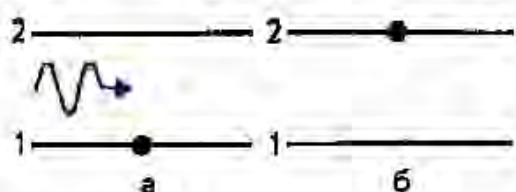
3. Лазерҳо манбаъҳои пуриктидортарини рӯшноианд. Тавон (тавноӣ)-и нурҳои лазерӣ барои фосилаи танги спектр (тайф) ва муддати кӯтоҳи тобиш (10^{-13} с) то ба 10^{17} Вт/см² мерасад, ҳол он ки тавони тобиши Офтоб ҳатто барои ҳама соҳаҳои спектр ҳамагӣ $7 \cdot 10^3$ Вт/см² аст. Дар фосилаи танги $\Delta\lambda = 10^{-6}$ 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 воқеъанд. Ҳамин аст, ки дар ҳарорати паст моддаҳо нур намеафкананд.

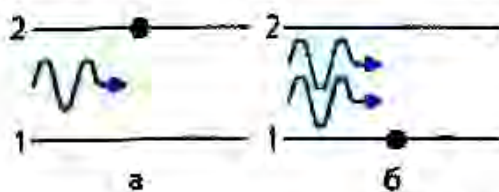
Ҳангоми аз даруни модда гузаштани мавҷи электромагнитӣ модда ин ё он миқдори энергияи электромагнитиро фурӯ мебарад ва аз ҳисоби ҳамин энергияи фурӯрафта қисме аз атомҳо ангехта мешавад, яъне ин атомҳо ба савияҳои баландтари энергӣ мегузаранд. Дар ин сурат энергияи дастаи рӯшноӣ ба бузургии $(h\nu)$ 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 порҷаи синусоида оварда



Рас.169.



Рас.170.

шудааст. Электрон дар савияи поёнист. 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 дилҳо 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 ҳамонҳангона бо якдигар ба савияҳои поёнии энергия мегузаранд ва дар ин гузариш мавҷе меафкананд, ки бо мавҷи атомангез ҳамбасомад ва ҳамфаза мебошад. Дар рас.170,а атоми ангехта ва мавҷ тасвир шудааст. Мисли ҳамин, дар рас.170,б мавриде тасвир шудааст, ки атом ба савияи поёни (яъне ба ҳолати асосӣ) гузаштаасту 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 фуру бурдани рӯшноӣ ангехта мешаванд.

Аммо барои кори лазер ду савияи энергия кофӣ нест. Ҳар қадре ки лампа пуртавон набошад, 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 поёни) боис мегардад.

Муҳаққиқон илочи инро дар истифодаи се савияи энергия диданд (адади умумии савияҳо ҳамеша зиёд аст, вале ин ҷо гап дар сари савияҳои қорӣ 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 бисе 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.