

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

Қўлёзма ҳуқуқи асосида

УДК 535.853

Саидназаров Рустамжон Саидахмад ўғли

Атомларнинг нурланиш спектрларини спектроскопик усул
билан қайд қилиш ва кенгайтиш сабабларини ўрганиш

5A140202 – Физика (йўналишлар бўйича)

Магистр
академик даражасини олиш учун ёзилган
диссертация

Илмий раҳбар:
ф-м.ф.д., профессор Отажонов.Ш.

Тошкент – 2014

МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	3
БОБ.І.МУХИТ ТАРКИБИДАГИ АТОМЛАРНИНГ НУРЛАНИШ СПЕКТРЛАРИ ВА УЛАРНИ ҚАЙД ҚИЛИШ.....	7
1.1.Атомларнинг нурланиш спектрлари ва уларнинг ҳосил бўлиш қонуниятлари.....	7
1.2. Спектроскопик усул билан қайд қилишда спектрларни кенгайтириш сабаблари	18
1.3. Спектрал қурилмаларнинг асосий характеристикалари ва атомларнинг нурланиш спектрларини қайд қилиш	26
БОБ.ІІ.ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСИ ВА МЕТОДИКАСИ.....	33
2.1. Атомларнинг нурланиш спектрларини фотографик усулда қайд қилувчи ИСП-22 ва ИСП-51 спектрал қурилмалар.....	33
2.2. Атомларнинг нурланиш спектрини фотоэлектрик усулда қайд қилувчи ДФС- 4 спектрини.....	41
2.3. Атомларнинг нурланиш спектрларининг қорайиш зичлигидан интенсивликка ўтиш ва МФ-2 микрофотометри.	44
БОБ.ІІІ.ЭКСПЕРИМЕНТАЛ НАТИЖАЛАР.....	47
3.1. Атомларнинг нурланиш спектрини спектрларини интенсивлигини аниқлаш	47
3.2. Спектроскопик тадқиқотларда аппарат функциянинг таъсири ва уни эътиборга олиш.	54
ХУЛОСАЛАР.....	65
АДАБИЁТЛАР.....	66

КИРИШ

Мавзунинг долзарблиги. Моддалар таркибидаги атомларнинг нурланиш спектрлари интенсивлигини частота бўйича тақсимотининг спектроскопик усул билан тадқиқ қилиш физиканинг долзарб муаммоларидан бири бўлиб, электромагнит тўлқин нурланишларини муҳит атомлари билан таъсирлашув жараёнидаги қонуниятларни таҳлил қилишда спектрал қурилмаларнинг аппарат функцияси таъсирини эътиборга олиш оптик-спектроскопик тадқиқотларда муҳим аҳамиятга эга.

Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари. Муҳит таркибидаги атомларнинг нурланиш спектрларини ҳосил бўлиш механизмларини ўрганиш ва уларни тажрибада қайд қилишга бағишланган бўлиб, спектр интенсивлигини аниқлаш, атом нурланиш спектрини қайд қилишда спектрал қурилмани аппарат функциясини таъсирини эътиборга олиш ҳамда тегишли хулосалар чиқариб, тавсиялар беришга бағишланган.

Тадқиқотнинг объекти ва предмети. Призмали ИСП-22 ва ИСП-51 спектрогафлар ҳамда дифракцион панжарали ДФС-4 спектрометр асосида яратилган экспериментал қурилмалар ёрдамида темир моддаси таркибидаги элементларнинг чизиқли (узлукли) спектрлари ҳамда хлорбензол молекуласидан ёруғликнинг молекуляр сочилиш спектри тадқиқот объекти ва предмети ташкил этади.

Тадқиқот услублари. Электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида модда таркибидаги атомларнинг нурланиш спектрлари яъни нурланиш интенсивлигининг частота бўйича тақсимотини қайд қилишда фотографик ва фотоэлектрик усуллардан фойдаланилди.

Тадқиқот натижаларининг илмий жиҳатдан янгилик даражаси. Спектроскопик тадқиқотлар ёрдамида атомларнинг қуйи энергетик сатҳдан юқори энергетик сатҳга кўтарилиш қонуниятлари билан боғлиқ

бўлган релаксацион жараёнларни ўрганишда спектрал қурилмаларнинг аппарат функцияси таъсирини эътиборга олиш механизми ишлаб чиқилиб, тегишли хулосалар чиқарилди. Атом нурланиш спектри интенсивлигини частота бўйича тақсимооти Лоренц ёки Гаусс функциялари асосида таҳлил қилиниб, спектроскопик тадқиқотларда қўллаш учун тавсиялар берилди.

Тадқиқот натижаларини амалий аҳамияти ва тадбиқи. Тадқиқот натижаларидан конденсирланган муҳитларнинг структурасини ўрганишда, модда таркибидаги атомларнинг нурланиш интенсивлигини аниқлашда ҳамда бакалавр ва магистрант талабалари учун ўқув режадаги айрим махсус фанларни ўқитишда фойдаланишлари мумкин.

Тадқиқотни тузилиши ва таркиби. Магистрлик диссертацияси кириш, 3 боб, хулоса ва тадқиқот давомида фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 68 бетдан, 28 расм, 5 жадвал, ҳамда 19 номдаги фойдаланилган адабиётдан иборат.

Бажарилган ишнинг асосий натижалари. Атом нурланиш интенсивлигини частота бўйича тақсимот қонуниятларини бир қатор хусусий ҳоллари ўрганилди. ДФС-4 дифракцион панжарали спектрометрининг аппарат функция тақсимооти ўрганилиб, хлорбензол C_6H_5Cl молекуласи мисолида ёруғликнинг молекуляр сочилиш спектрини таҳлил қилишга тадбиқ этилди. Тадқиқот натижалари Республика илмий–амалий конференцияларида маъруза қилиниб, илмий тўпламларда эълон қилинган мақолаларда ўз ифодасини топган.

Хулосалар ва тақлифларни қисқача умумлашган ифодаси. Электромагнит тўлқин нурланишларини муҳит таркибидаги молекула ёки атомлар билан ўзаро таъсирлашув жараёнидаги қонуниятларни ўрганишда спектроскопик тадқиқотларни ўрни алоҳида. Айниқса, хусусий тебраниш частоталарини релаксацион жараёнларни асосий характеристикаси

хисобланган релаксация вақтини ҳақиқий қийматларини эксперимент ёрдамида аниқлаш бўйича тегишли таклифлар берилган. Лоренц ва Гаусс функциялари тақсимотларини атом хоссаларини ўрганишга қўллаш усулларига тегишли хулосалар чиқарилган.

Магистрлик диссертациясининг асосий мазмуни.

Диссертациянинг кириш қисмида мавзунинг долзарблиги муҳокама этилиб, моддалар таркибидаги атомларнинг нурланиш спектрлари интенсивлигини частота бўйича тақсимотининг спектроскопик усул билан тадқиқ қилишда спектрал қурилмаларнинг аппарат функцияси таъсирини ўрганиш спектроскопик тадқиқотларда муҳим аҳамиятга эга эканлигига эътибор қаратилган. Тадқиқотнинг мақсади ва вазифаси берилган, олинган натижаларни аҳамияти ва тадбиқи ёритилган.

Биринчи боби муҳит таркибидаги атомларнинг нурланиш спектрлари ва уларни қайд қилиш усуллари тўғрисидаги маълумотларга бағишланган бўлиб, чизиқли ва чизиқли бўлмаган спектрлар ва уларнинг ҳосил бўлиш қонуниятлари, спектрларни қайд қилувчи спектрал қурилмалар ва уларнинг асосий характеристикалари ҳамда атомларнинг нурланиш спектрларини қайд қилиш усулларига тегишли маълумотлар берилган.

Иккинчи бобида атом нурланиш спектрини фотографик ва фотоэлектрик усулларда қайд қилиш имконини берувчи тадқиқотда фойдаланилган спектрограф ҳамда спектрометрлар асосида оптика ва лазерли физика кафедрасида яратилган экспериментал қурилмалар, спектрларнинг қорайиш зичлигини аниқловчи МФ-2 микрофотометри ва уларга тегишли маълумотлар берилган.

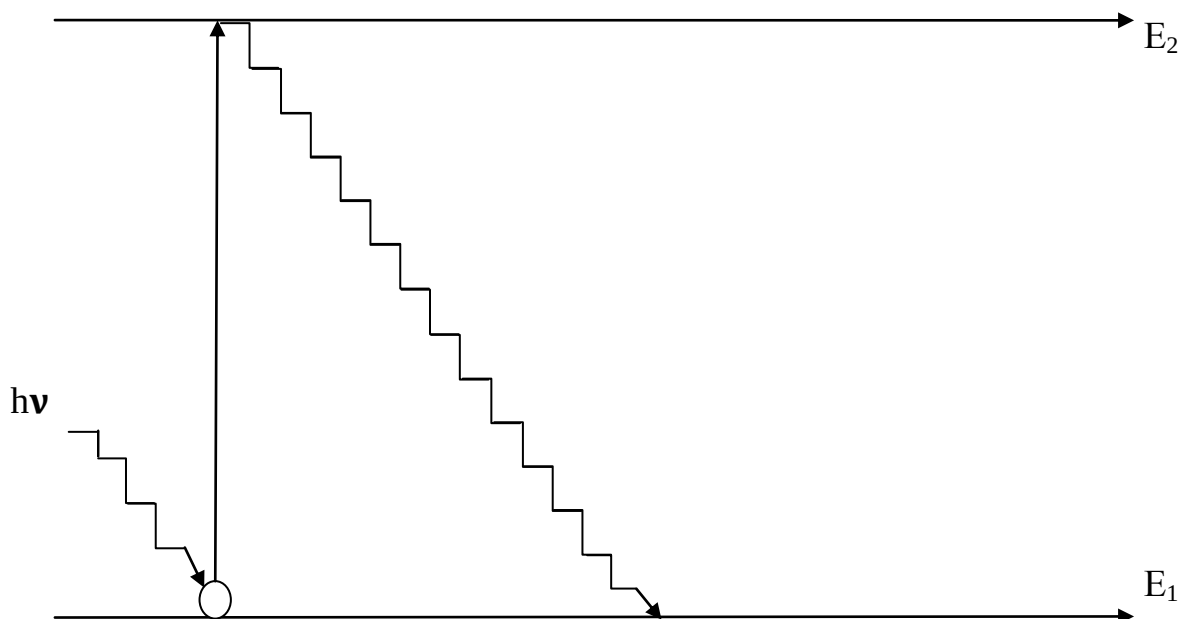
Учинчи бобда атомларнинг нурланиш спектрини интенсивлигини аниқлаш, спектроскопик тадқиқотларда аппарат функциянинг таъсирини эътиборга олиш, олинган натижалар тахлили, асосий хулосалар, фойдаланилган адабиётлар ва чоп этилган илмий мақолалар рўйхати келтирилган.

БОБ.I. МУҲИТ ТАРКИБИДАГИ АТОМЛАРНИНГ НУРЛАНИШ СПЕКТРЛАРИ ВА УЛАРНИ ҚАЙД ҚИЛИШ.

1.1.Атомларнинг нурланиш спектрлари ва уларнинг ҳосил бўлиш қонуниятлари.

Маълумки моддаларни структурасини ўрганишда атом спектроскопиясини ўрни алоҳида бўлиб, атомларнинг ютган ёки нурланишга эга бўлган спектрлари интенсивликларини аниқлаш орқали уларни таркибини ўрганиш мумкин.

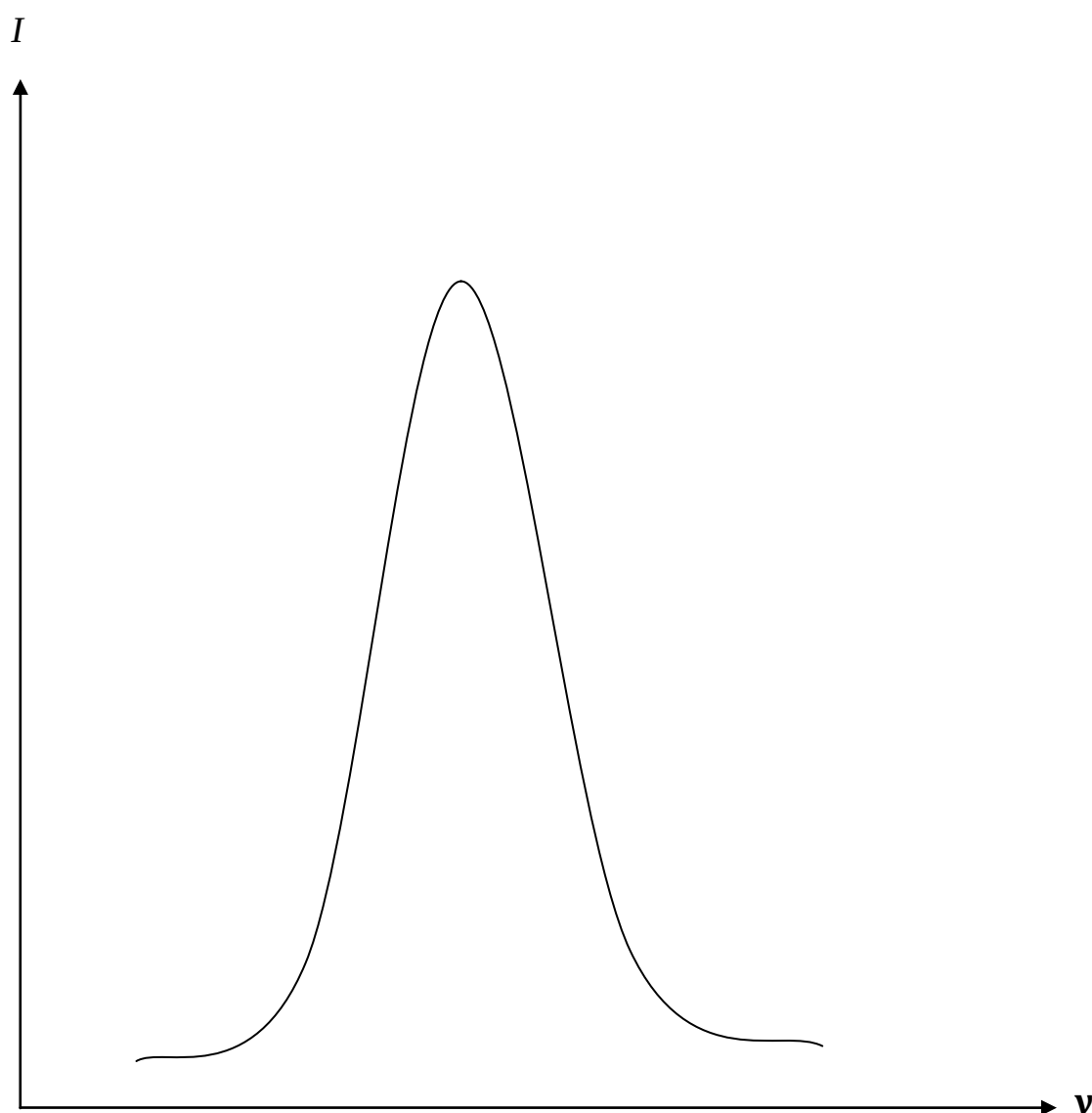
Атомларнинг спектрлари атомларнинг қуйи энергетик ҳолатдан юқори энергетик ҳолатга ўтиш ва яна қайтиши ҳисобига ҳосил бўлади.



Расм.1.

Фараз қилайлик ихтиёрий молекула таркибидаги бирорта элемент атоми қуйи E_1 энергетик сатҳда турган бўлсин. Агарда энергияси $h\nu$ га тенг бўлган электромагнит тўлқин нурланиш билан таъсир эттирилса тинч ҳолатда турган атом ўзининг хусусиятларига қараб E_1 қуйи энергетик

сатхдан юқори E_2 энергетик сатхга ўтиб, уйғонган ҳолатга келади ва энергияни ютади, натижада атомнинг ютилиш спектри ҳосил бўлади. Юқори энергетик сатхга кўтарилган атом қуйи энергетик сатхга қайтиши давомида ўзидан нур чиқаради, натижада нурланиш спектри ҳосил бўлади (расм.1). Атомларнинг бундай қонуният асосида ҳосил қилган спектри чизиқли (узлукли) бўлади. Спектр-атомларнинг нурланиш интенсивлигини частота бўйича тақсимотини характерловчи катталиқ ҳисобланади (расм.2).



Расм.2

Спектрнинг асосий характеристикаси нурланиш частотаси ν ҳисобланиб, E_i ва E_k энергетик сатхлардаги квант ўтишлар орқали характерланади. Яъни

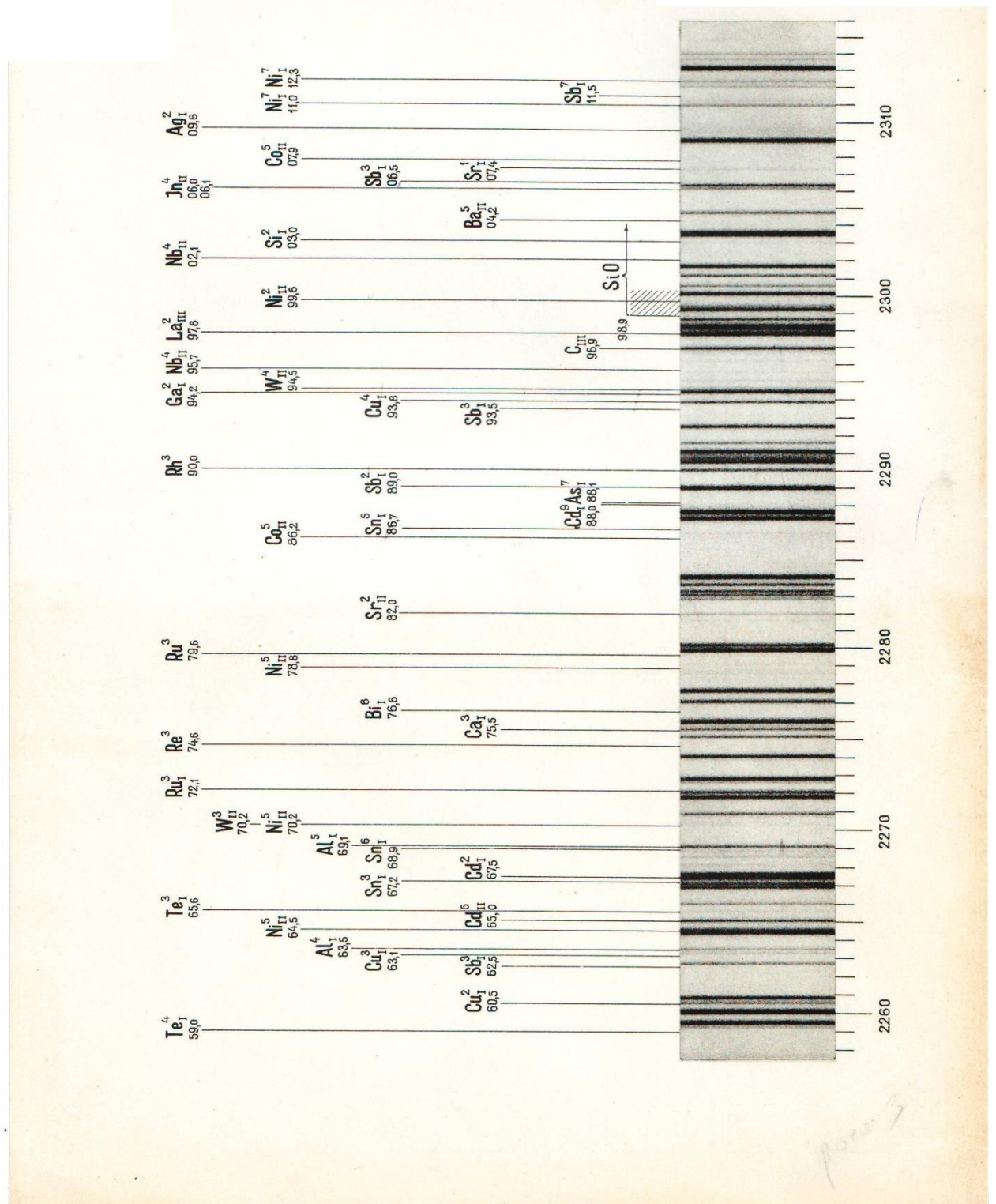
$$h\nu = E_i - E_k \quad (1.1)$$

бу ерда $h = 6,67 \cdot 10^{-34}$ м с Планк доимийси, частота ν эса тўлқин узунлиги λ билан боғлиқ бўлиб, $\lambda = c/\nu$ (c —ёруғлик тезлиги), $h\nu$ —битта фотоннинг энергиясини характерлайди.

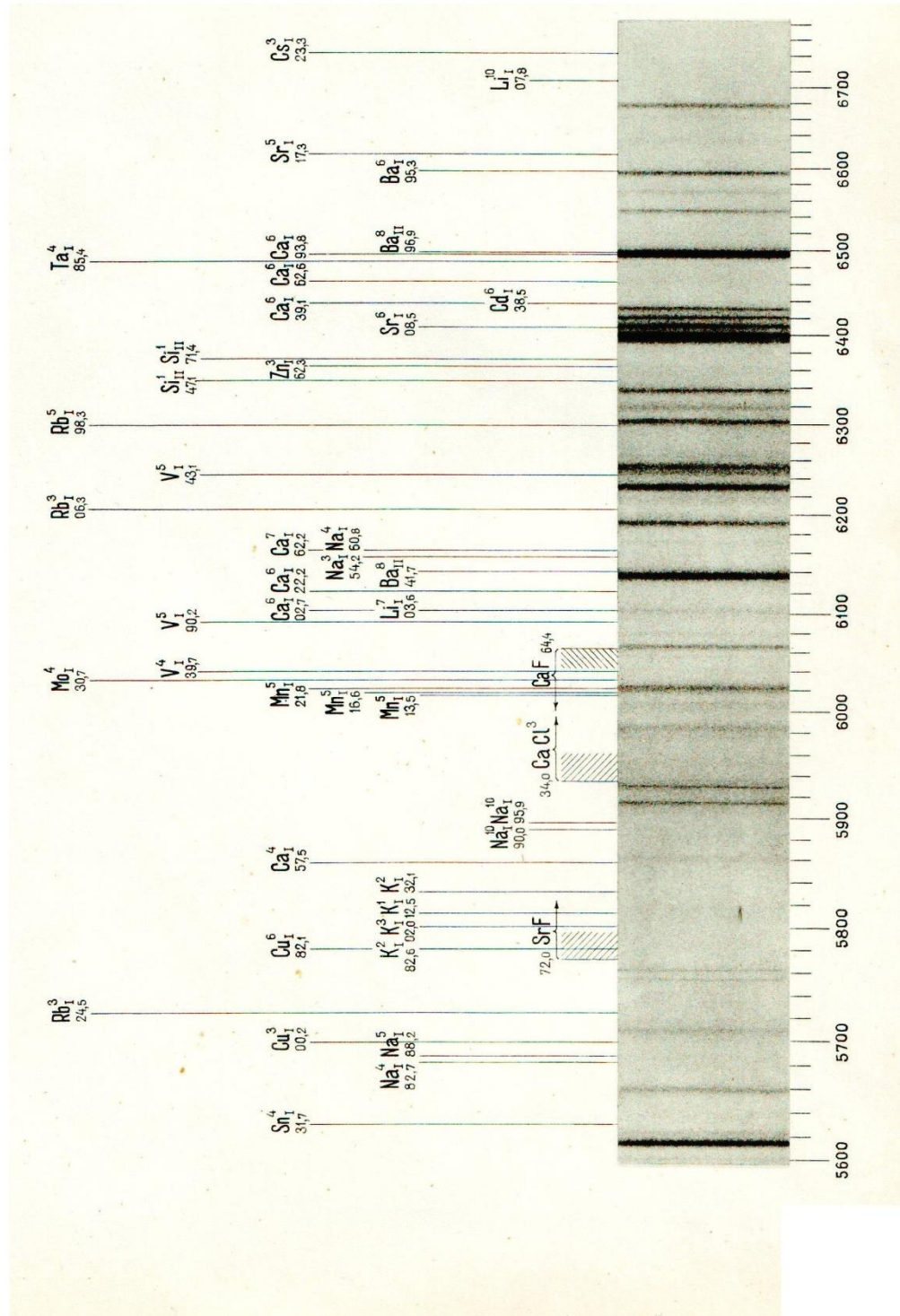
Атом спектрлари уларнинг хоссаларига қараб асосан кўзга кўринадиган, ультрабинафша ва яқин инфрақизил оптик диапазонда, яъни 1900 Å дан 12000 Å оралиғига тўғри келади.

Расм-3,4,5 да ИСП-22 спектрогафи ёрдамида темир спектри таркибидаги мавжуд элементларнинг спектрлари ва тўлқин узунликлари бўйича тақсимот спектри келтирилган.

Расм.3 да келтирилган атомларнинг нурланиш спектрини тўлқин узунлиги узоқ ультрабинафша 2260 Å дан 2310 Å оралиғига жойлашган. Расм.4 даги атомларнинг нурланиш спектри яқин ультрабинафша 3300 Å дан 3500 Å гача ҳамда, расм.5 даги атомларнинг нурланиш спектри эса кўзга кўринадиган 5600 Å дан 6700 Å оралиғига тўғри келади. Қайси спектр темир таркибидаги қайси элементга тўғри келиши спектрларнинг тақсимоотида келтирилган.



Расм.3. Fe-спектри.



Маълумки оптик спектрларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг хоссалари атомлардаги электронларнинг ҳолатига боғлиқ [1].

Атомлардаги электронларнинг ҳолати тўртта квант сони билан ифодаланади.

1. Асосий квант сони n (асосий атомлар учун) $K, L, M, \dots, Q$, билан белгиланиб электронни ядродан узоқлигини ҳарактерлайди.
2. Орбитал бурчак моментининг квант сони l ($m < n$, $l=0, 1, 2, \dots$) бўлиб, электроннинг зичлигини фазовий тақсимотини ҳарактерлайди.
3. Орбитал магнит квант сони m_l ($-l < m_l < +l$ шартни қаноатлантирувчи бутун сон).
4. Спин квант сони m_s ($m_s = \pm 1/2$).

Демак атомдаги электронларнинг ҳолати ва қонуниятлари асосида модда таркибидаги ҳар бир элемент ўзининг ҳарактерли спектрига эга бўлади.

Тажрибада кузатилган спектрлар атом, молекула, ядро ва элементар зарраларда энергетик сатхлар мавжудлиги билан боғлиқ ҳолда тушунтирилади. Спектрларни ўрганиш ҳар қандай мураккаб системада фақат унга ҳарактерли бўлган энергетик сатхлар кетма-кетлиги, стационар энергетик ҳолатлар мавжуд эканлигини аниқланди. Бу сатхларни ўзи эса жуда ҳам содда ва кичик бўлган системалар атом, ядро, молекула кабиларда кузатилди. Ҳақиқатда эса бу системаларда дискрет энергетик сатхларнинг мавжудлиги фақат кузатилаётган спектрлар орқали намоён бўлади. Бу энергетик сатхларни биз ҳеч қачон кўра олмаймиз, уларни борлиги ҳақидаги ҳақиқатни биз нурланиш спектри орқалигина биламиз.

Ўрганишлар, текширишлар шуни кўрсатадики, нурланиш спектрини уч тури мавжуд: чизикли, йўл-йўл ва туташ спектрлар. Бу спектрларни табиати қандай? Нима сабабдан ана шундай спектр турлари мавжуд? Бу

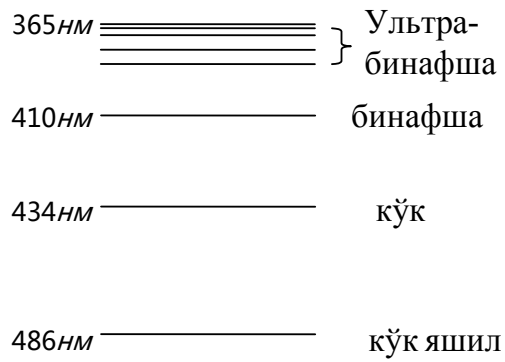
саволларга фақат квант физика тасаввуридаги қонунлар асосида жавоб бериш мумкин.

Эксперимент натижалари атом, ядро, элементар зарраларнинг спектри чизикли, молекулаларнинг нурланиш спектри йўл-йўл, модда ва зичлиги катта бўлган жисмларнинг нурланиш спектри туташ ҳарактерга эга эканлигини кўрсатди. Спектрларнинг бу турлари 6-расмда келтирилган.

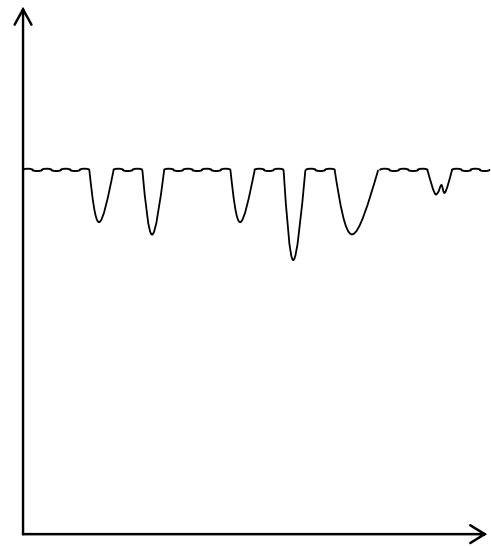
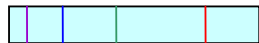
Сийрак газ ва металл буғларининг яккаланган атомлари ёки ионлари гурух-гурух бўлган чизикли спектрларни чиқаради. Бунда атомнинг нурланиш спектри якка-якка чизиклардан иборат бўлиб, бу чизикларнинг ҳар бири аниқ кескин чегарага эга (расм.6.а). Шу сабабга кўра атомларнинг спектри чизикли спектрлар деб аталади.

Ҳар бир элементнинг фақат ўзига хос бўлган чизикли спектри мавжуд бўлиб, уни шу элементни гувоҳномаси (паспорти) деб атаса бўлади. Одамларнинг бармоқ излари бир-бирига ўхшамаганлиги каби, бир элементнинг спектри иккинчи элементнинг спектрига сира ўхшамайди. Модда спектрини таҳлил қилиниши эса, шу моддада мавжуд бўлган барча элементларни санаб кўрсатишга ва уларнинг ҳар бирини миқдорини аниқлашга ёрдам беради. Атом каби ядро ва элементар зарраларнинг спектри ҳам чизикли спектр эканлиги экспериментларда тасдиқланади. Чизикли спектрларни нима сабабдан вужудга келишини квант физика нуқтаи назаридан батафсил тушунтириб берилади. 6.а, расмда водород атоми учун Бальмер серияси кўринишдаги чизикли спектри тасвирланган. Ҳудди шундай спектрлар ядрога ҳам хосдир.

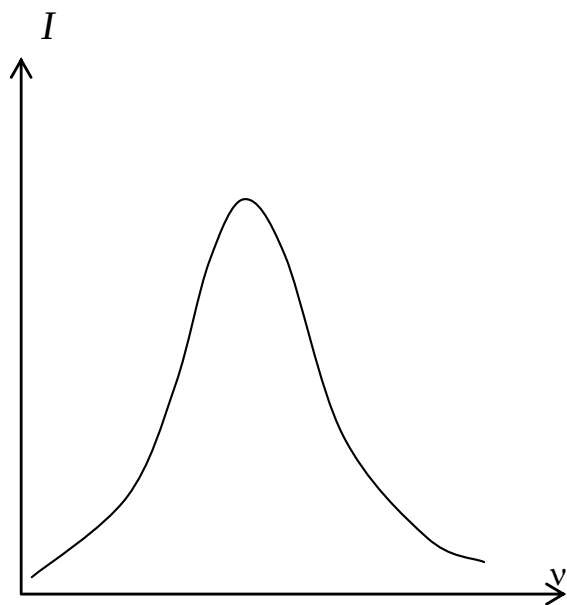
Молекулаларнинг нурланиш спектри кенг ёйилган, чегараси унча аниқ бўлмаган тасма (полоса) лардан иборат (расм.6.б). Шу сабабга кўра молекулаларнинг нурланиш спектрини йўл-йўл (полосали) спектрлар дейилади.



656nm ————— қизил
 а) Водород спектрида Бальмер
 сериясининг чизиқлари



б) Бром водороди учун инфрақизил
 спектр соҳасида тебранма-айланма
 йўл-йўл спектр



в) Иссиқлик нурланишининг
 узлуксиз (туташ) спектри



Расм.6

Моддаларнинг ёки зичлиги катта бўлган газларни нурланиш спектрлари эса узлуксиз чегараси бўлмаган спектр кўринишига эга. Шунинг учун ҳам моддаларнинг нурланиш спектрини туташ спектрлар деб аташади. Шундай спектр б.в, расмда қаттиқ жисм нурланиши мисолида келтирилган.

Спектрларни келиб чиқиш табиати, чизиқли, йўл-йўл ва туташ спектрларнинг қонуниятлари фақат квант механика тасаввури доирасида тушунтирилади.

Квант механикаси яратилгунга қадар атомларнинг нурланиш спектри ҳақида жуда кўп маълумотлар тўпланиб кўп хоссалари ўрганилган эди. Ядро, молекула ва элементар зарраларнинг спектрлари эса анча кейин, яъни бизнинг асримизда маълум бўлди.

Атом спектрларини жуда диққат билан ўрганилиши туфайли, спектрни чизиқлардан ташкил топганлиги ва бу чизиқларни маълум бир қонуниятга бўйсунган ҳолда гуруҳлар, яъни сериялар ҳосил қилиниши аниқланди. Биринчи бўлиб водород атомининг спектри ўрганилди ва унинг кўзга кўринадиган барча спектр чизиқлари маълум бир қонуниятга бўйсиниши аниқланди. Масалан, водород атомининг кўзга кўринадиган спектрини чизиқлари Бальмер томонидан топилган

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (1.2)$$

Эмперик формула ёрдамида тушунтириш мумкин. Бунда $\tilde{\nu}$ -тўлқин сон, R -Ридберг доимийси.

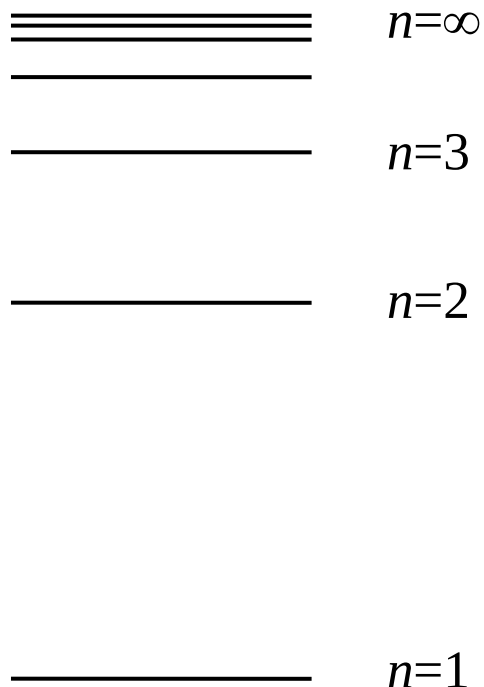
Формуладаги n -сони ортиши билан иккита бир-бирига ёнма-ён кўшни чизиқларнинг тўлқин сонлари орасидаги масофа камая боради ва $n \rightarrow \infty$ да кўшни чизиқлар туташиб кетади ва

$$\tilde{\nu} = \frac{R}{4} \quad (1.3)$$

қийматга эга бўлади.

Пировардида 7-расмда кўрсатилган каби, чизиклар бир-бирига яқинлашиб чегаравий қийматга етади. Кузатишлардан яъна шу маълумки, n -ни ортиши билан спектрнинг интенсивлиги ҳам қонуний равишда камая боради.

Спектрал чизикларнинг бундай тўпламига (гурухига) спектрал сериялар деб аталади. $n \rightarrow \infty$ да чизикларнинг туташishiга эга бўлган чизикқа тўғри келган тўлқин сон қийматини сериянинг чегараси деб аталади.



7- расм

1.2.Спектроскопик усул билан қайд қилишда спектрларни кенгайтириш сабаблари

Атом нурланиш спектрларини спектроскопик усул билан қайд қилишда ишлатиладиган спектрал қурилмаларни етти турга бўлиш мумкин.

Спектроскоп-нурланиш ва ютилиш спектрларини кузатиш имконига эга бўлиб, кириш колиматори, дисперсияловчи оптик система ва кузатиш колиматоридан ташкил топган.

Стиласкоп-спектроскопнинг такомиллашаган тури бўлиб, атом нурланиш спектрларини кўз билан кузатишга асосланган.

Спектрограф-атом нурланиш спектрларини фотографик усулда қайд қилиш имконини берувчи спектрал қурилма.

Стилометр-модда таркибидаги элементлар миқдорини аниқлаш имконини берувчи спектрал қурилма.

Квантометр-бир вақтнинг ўзида бир нечта модданинг миқдорини аниқлашда қўлланиладиган спектрал қурилма.

Спектрометр-барча турдаги анализларни ўтказиш мумкин бўлган спектрал қурилма бўлиб, атом нурланиш спектри интенсивлигини частота бўйича тақсимотини фотоэлектрик усул билан қайд қилиш имконини берувчи спектрал қурилма.

Спектрофотометр- абсорбцион (ютилиш) спектрларини қайд қилиш имконини берувчи спектрал қурилма.

Спектрал қурилмаларни дисперсияловчи қисмининг хусусиятларига қараб икки турга бўлиш мумкин: 1.Призмали спектрал қурилмалар. 2.Дифракцион панжарали спектрал қурилмалар.

Спектрал курилмаларнинг дисперсияловчи қисмини турлари ва хусусиятларига қараб, турли хил оптик диапазонда (тўлқин узунлиги оралиғида) ишловчи спектрал курилмаларга бўлинади.

$\lambda = 10 \text{ \AA} - 1850 \text{ \AA}$ узок ультрабинафша тўлқин узунлигига эга бўлган атом нурланиш спектрларини қайд қилувчи спектрал курилмалар.

$\lambda = 1850 \text{ \AA} - 4000 \text{ \AA}$ яқин ультрабинафша тўлқин узунлигига эга бўлган оптик диапазонда ишловчи спектрал курилмалар.

$\lambda = 4000 \text{ \AA} - 7000 \text{ \AA}$ кўзга кўринадиган спектр чегарасида ишловчи спектрал курилмалар.

Кўзни кўриш чегарасини акс этирручи спектр тақсимооти расм 8 да ифодаланган.

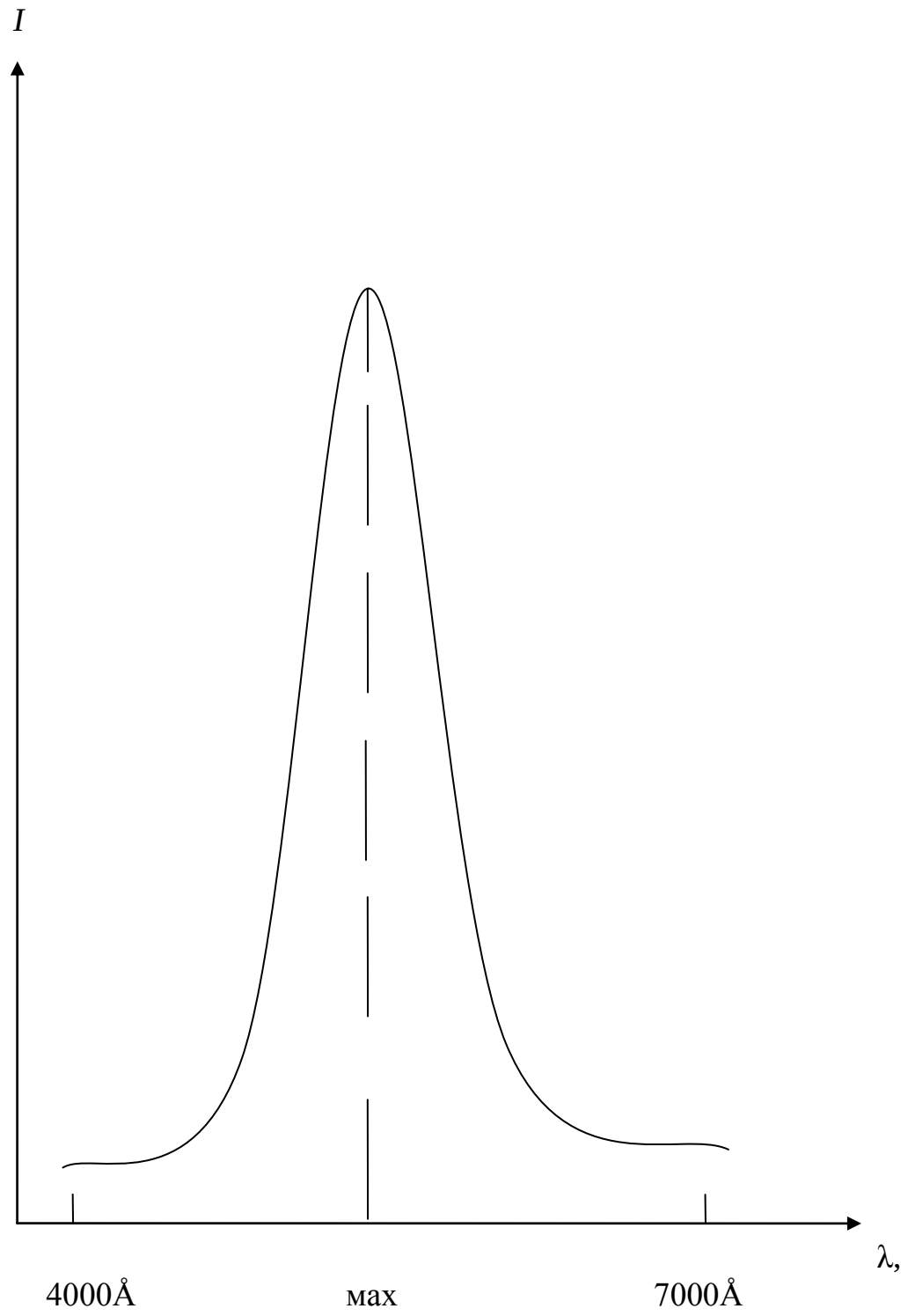
$\lambda = 7000 \text{ \AA} - 25000 \text{ \AA}$ яқин инфрақизил тўлқин узунлиги чегарасида ишловчи спектрал курилмалар.

$\lambda = 25000 \text{ \AA} - 50000 \text{ \AA}$ ўрта инфрақизил тўлқин узунлигига эга бўлган нурланиш спектрини қайд қилувчи спектрал курилмалар.

$\lambda = 50000 \text{ \AA} - 100000 \text{ \AA}$ узок инфрақизил тўлқин узунлигига эга бўлган оптик диапазонда ишловчи спектрал курилмалар.

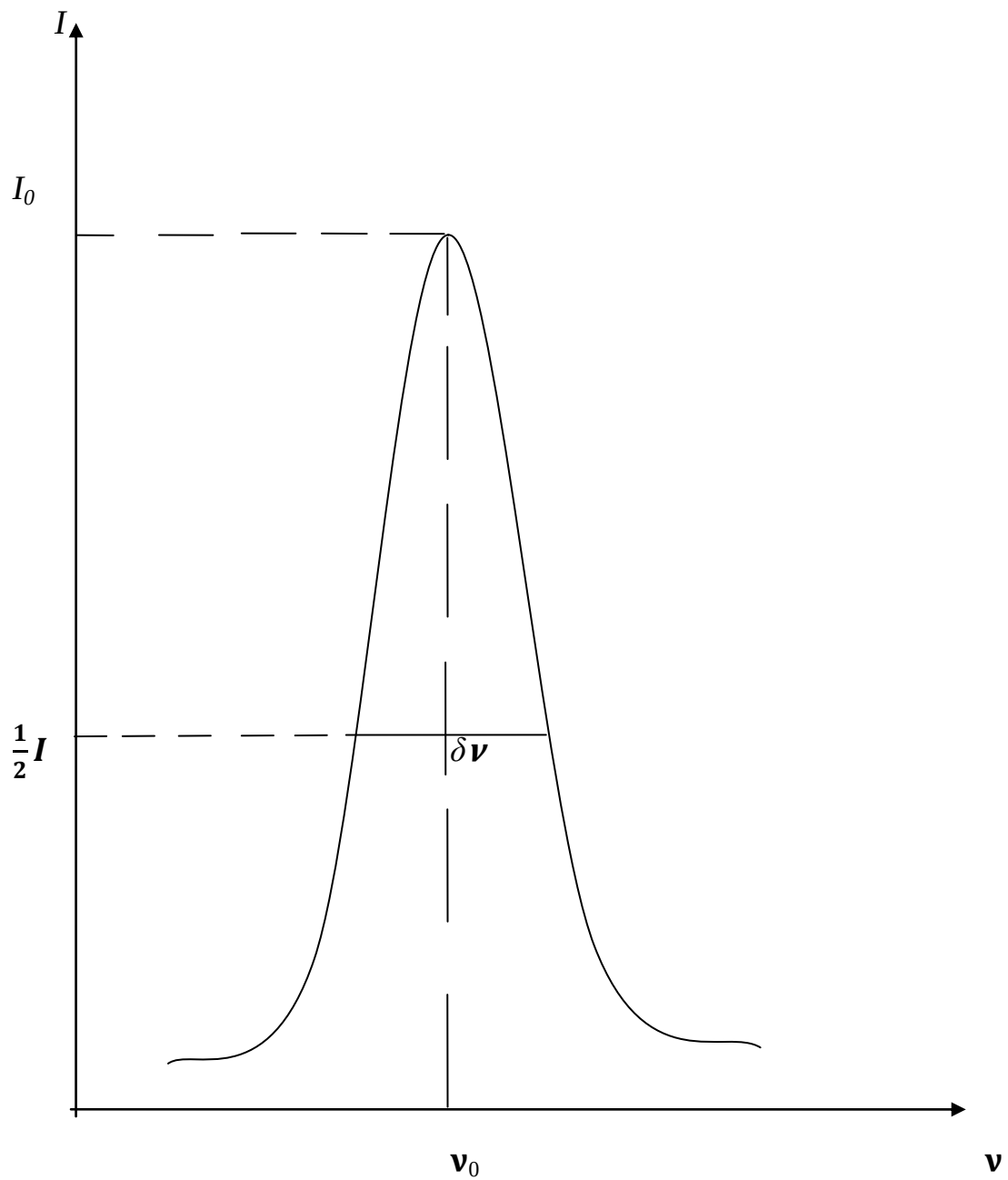
Магистрлик диссертациясини мақсади ва вазифасидан келиб чиқиб, спектрал курилманинг тиркичи электромагнит тўлқин нурланиши билан ёритилганда фокал текисликдаги энергиянинг (интенсивлигини) тақсимоотини кўриб чиқамиз [2,3].

Атомларнинг энергетик сатхлари орасидаги ҳаракат қонуниятларидан келиб чиқиб, атомнинг нурланиш ёки ютилиш спектрлари ўта монохроматик бўлмасдан тўлқин узунлиги λ (ёки ν частотаси) ўқи бўйича ёйилган кўринишда бўлади. Бу эса спектрал чизиқнинг кенгайиш тушунчаси билан юритилади.



8.расм

Спектрал чизиқнинг кенглиги-спектрал чизиқнинг монохроматик бўлмаслигини ҳарактерлайди. Спектрал чизиқнинг кенглиги $\delta\lambda$ ёки $\delta\nu$ билан ифодаланиб, интенсивликнинг частота ёки тўлқин узунлик бўйича тақсимот графигидаги интенсивликнинг максимал қиймати ярмисидаги кенглик билан аниқланади (расм.9).



Расм.9. Спектр чизигининг контури

$\delta\nu$ ёки $\delta\lambda$ спектрал чизиқ катталигига табиий кенглик ҳамда Лоренц ва Доплер эффектларини улиши ҳам таъсир кўрсатади. Спектрларнинг табиий кенгайиши, яъни спектрал чизиқнинг табиий кенглигига тўхталиб ўтамиз.

Гейзенбергнинг ноаниқлик принципига асосан i квант тизимининг уйғонган сатх энергияси қуйидаги тенглама билан аниқланади [4].

$$\Delta E_i = \frac{\hbar}{\tau_i} = \frac{h}{2\pi\tau_i} \quad (1.4)$$

бу тенгламада, τ_i - атомнинг энергетик сатхда бўлиш вақти,

$$h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ мс Планк доимийси, } \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

(1.4) тенгламага асосан атомнинг бирор-бир энергетик сатхда туриш вақти кичик бўлса, шу сатхдаги энергия катта бўлади. Атомнинг k энергетик ҳолатдан m ҳолатга ўтиш энергияси $\Delta E_{km} = \Delta E_k + \Delta E_m$ га тенг бўлади.

У ҳолда спектр чизигининг табиий кенгайиши қуйидагича ҳисобланади.

$$\delta\nu = \frac{\Delta E_{km}}{h} = \frac{1}{2\pi\tau_k} + \frac{1}{2\pi\tau_m} \quad (1.5)$$

Асосий ҳолатдаги атомнинг яшаш вақти τ_m , уйғонган ҳолатдаги яшаш вақти τ_k дан катта – $\tau_m \gg \tau_k$, $\delta\lambda/\lambda_0 = \delta\nu/\nu_0$ бўлганлигидан

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_0}{\nu_0} \Delta\nu = \frac{\lambda_0^2}{c} \delta\nu \quad (1.6)$$

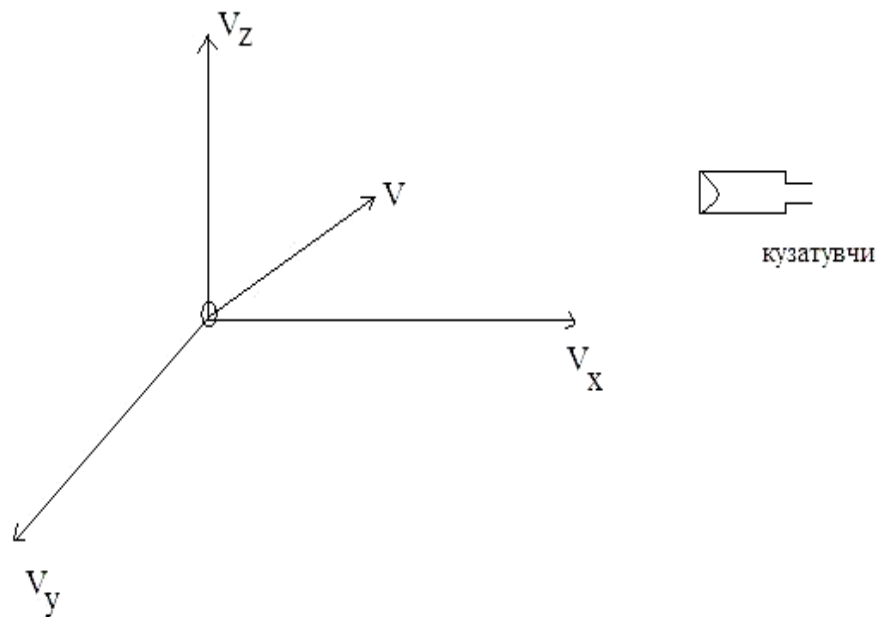
Агарда уйғонган ҳолатдаги атомнинг яшаш вақти 10^{-8} с бўлса, у ҳолда кўзга кўринадиган тўлқин узунлиги учун $\lambda = 500$ нм, $\delta\lambda$ нинг қиймати қуйидагига тенг бўлади.

$$\delta\lambda = \frac{(500 \cdot 10^{-9})^2}{3 \cdot 10^8} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-8}} = 1,33 \cdot 10^{-14} \text{ м} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ нм}$$

$\delta\lambda$ нинг ушбу қиймати жуда кичик. Тажрибада эса бир неча мартта катта қийматга тенг бўлади. Бунга сабаб Доплер ва Лоренц эффектлари ҳисобланади.

Доплер эффекти манбанинг кузатувчига нисбатан ёки кузатувчининг манбага нисбатан ҳаракат натижасида частотанинг ўзгариши билан характерланади.

Электромагнит тўлқин нурланиши х ўқи йўналишида кузатилин (расм.10).



Расм.10

Заррачанинг ҳаракатланиш тезлигини қўшиш усулига асосан

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

Заррачанинг иссиқлик ҳаракати тенгламаси қуйидаги қонуният бўйича аниқланади:

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (1.7)$$

m -атом массаси, k -Больцмон дойимиси, T -абсолют температура.

Агарда заррачани иссиқлик ҳаракати хаотик (тартибсиз) бўлса, у ҳолда v_x қуйидагича бўлади:

$$v_x = \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (1.8)$$

Спектр контури бўйича интенсивликнинг Доплер тақсимоти қуйидаги тенглама орқали ифодаланади.

$$I(\nu) = I_0 \exp\left[-\frac{c^2}{2\nu_x^2} \left(\frac{\nu - \nu_0}{\nu_0}\right)^2\right] \quad (1.9)$$

$I = I_0/2$ ҳол учун (расм.9 га қаранг). Спектрал чизиқнинг Доплер кенглиги $\delta\nu_D = (\nu - \nu_0)$ га тенг бўлади.

У ҳолда,

$$\frac{I_0}{2} = I_0 \exp\left[-\frac{c^2}{2\nu_x^2} \left(\frac{\delta\nu_D}{2\nu_0}\right)^2\right]$$

$$\delta\nu_D = 2\sqrt{2 \ln 2} \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{1000RT}{A c^2}} = 7,2 \cdot 10^{-7} \lambda_0 \sqrt{\frac{T}{A}} \quad (1.10)$$

A -атом оғирлиги.

(1.10)тенгламага асосан натрий спектри учун ($A_{\text{натрий}} = 23$), $\lambda = 589$ нм тўлқин узунлиги ва $T=2000^0$ К учун $\delta\lambda_D$ ҳисобласак $\delta\lambda_D = 3,95 \cdot 10^{-3}$ нм ҳосил бўлади, бу эса атом нурланиш спектрини табиий кенглигидан икки тартибга катта.

Классик нуқтаи назаридан [5,6,7] атомларнинг тўқнашиш осцилляторининг нурланиш жараёнини ўзгаришига сабаб бўлади. Натижада атомнинг яшаш вақти камаяди. Бу эса спектр контурини кенгайишига сабаб бўлади.

Бу қонуният Лоренц кенгайиши номи билан юритилиб,
 $\delta\lambda_d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ нм}$ га тенг бўлиб, сон жиҳатидан Доплер кенгайишига яқин бўлади.

1.3.Спектрал қурилмаларнинг асосий характеристикалари ва атомларнинг нурланиш спектрларини қайд қилиш

Спектроскопик тадқиқотларда спектрал қурилмага унинг таркибидаги оптик қисмларга, ёруғлик манбаига алоҳида талаблар қўйилади (диссертациянинг II-бобида батафсил муҳокама қилинади).

Спектроскопик тадқиқотларда ёруғликнинг манбаларига бир қатор талаблар қўйилади:

1. Ёруғлик манбаларининг интенсивлиги иложи борича катта бўлиши керак.
2. Электромагнит тўлқин нурланиши таркиби чизиқли спектрдан ташкил топши керак.
3. Ёруғлик нурланиши монохроматик бўлиши яъни расм.9 даги $\Delta\nu \ll \nu_0$ шарт бажарилиши керак.
4. Тажриба моҳиятидан келиб чиқиб ёруғлик нурланиши қутбланган бўлиши лозим.
5. Ёруғлик манбаидан узатилаётган интенсивлик вақт бўйича ўзгармас бўлиши керак.

Оптик тадқиқотларда кенг ишлатилиб келинаётган айрим ёруғлик манбаларини кўриб чиқамиз. Жадвал.1. да ёруғлик манбалари тўғрисида маълумотлар берилган

Жадвал.1

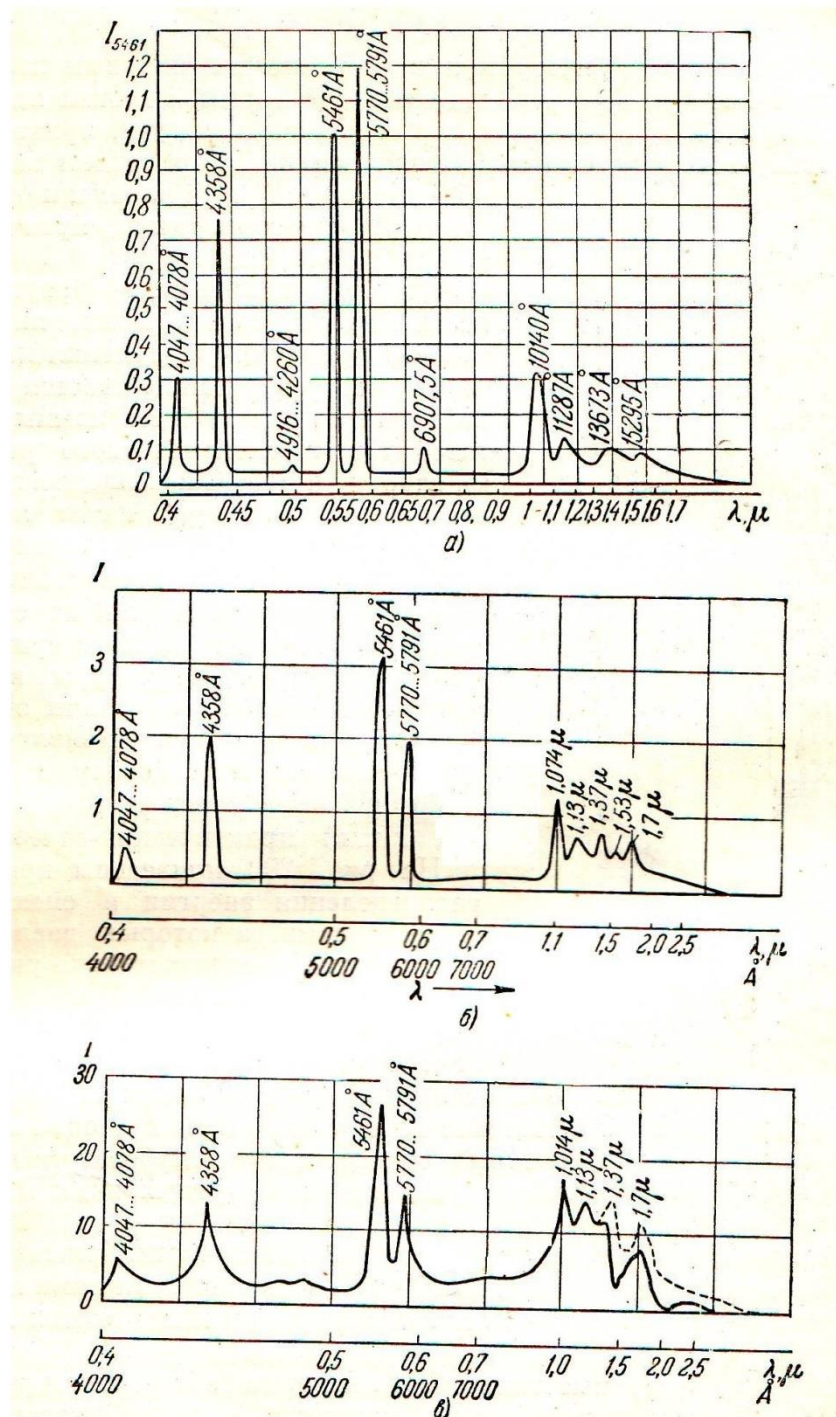
№	Манба тури	Ёритилганлик (стильба)	Спектр тури	Спектрал таркиби
1	Неон лампаси	0,1- 2,0	Чизиқли	Кўзга кўринадиган оптик диапазонда
2	Қуйи босимли симоб лампа	2-3	Чизиқли	Кўзга кўринадиган оптик диапазонда
3	Чўғланма лампа	200	Узлуксиз	Кўзга кўринадиган оптик диапазонда
4	Абсолют қора жисм ($T=2300^0$ К)	300	Узлуксиз	Инфрақизил оптик диапазонда
5	Вольфрам чўғланма лампа	500	Узлуксиз	500 нм дан бошлаб инфрақизил оптик диапазонда
6	Юқори босимли симоб лампа	120000	Чизиқли	280-700 нм
7	Ўта юқори босимли газли лампа	250000	Чизиқли	280-700 нм
8	ОКГ (лазер)	Нурнинг оптик зичлиги жуда юқори	Чизиқли	Барча оптик диапазонда

Жадвалдаги ёритилганликнинг стильба ўлчов бирлигини қуйидагича тасаввур қилишимиз мумкин. Маълумки, манбанинг ёруғлик кучининг бирлиги шам ҳисобланади. Техник бирлиги эса канделла (кд). Улар орасидаги боғланиш: $1\text{шам}=1,005\text{ кд}$.

Жадвалдаги ёритилганликнинг қийматини тасаввур қилиш учун тунги ойсиз самони ёритилганлигига солиштириш орқали билиш мумкин, яъни тунги ой чиқмаган вақтдаги самонинг ёритилганлиги 10^{-8} ст га тенг.

Чизиқли спектрларни ҳосил бўлиш қонуниятлари ва тўлқин узунлиги бўйича тақсимооти симоб лампаси учун расм.11 да ифодаланган [8]

Ушбу спектр тақсимооти симоб буғининг босими мос равишда а-1 атм, б-20 атм, в-130 атм, қийматлар учун келтирилган. Симоб спектри интенсивлигини тўлқин узунлигига боғланиш графигини тахлили шуни кўрсатадики симоб буғининг босими ошиб боради ва катта тўлқин тамонга тўғри келган спектрларнинг интенсивликлари ошади.



Расм.11 Симоб лампаси таркибидаги чизикли спектрлар интенсивлигининг нисбий тақсимоти.

Бугунги кунда спектроскопик тадқиқотларда, айниқса муҳит таркибидаги атом ёки молекулаларнинг ташқи электромагнит нурланишлари таъсирида содир бўладиган релаксацион жараёнларни тадқиқ қилишда дифракцион панжарали спектрал қурилмалар самарали ишлатилиб келинмоқда.

Дифракцион панжараларда спектрларни ҳосил бўлиш шarti қуйидагидан иборат:

$$d(\sin \varphi - \sin \psi) = k\lambda \quad (1.11)$$

бу ерда; d -панжаранинг шаффоф ва шаффоф бўлмаган қисмлари кенглиги-дифракцион панжара доимийси; φ -дифракция бурчаги (кузатиш бурчаги); ψ -электромагнит тўлқин нурланишини тушиш бурчаги; k - бутун сон.

(1.11) формулага асосан дифракция бурчаги тўлқин узунлигига боғлиқ экан. Ушбу боғланиш муҳим хулосага эга бўлиб, панжарани дисперсияловчи элемент сифатида фойдаланиш имконини беради. Агарда $k=0$ бўлса, марказий максимум кузатилади. Яъни $\sin \varphi = \sin \psi$ бўлиб, тўлқин узунлигига боғлиқ бўлмайди, k нинг юқори чегараси $(\sin \varphi - \sin \psi) \leq 2$ шarti билан чегараланади. У ҳолда (1.11) формуладан $k\lambda \leq 2d$ ўринли бўлиб, k нинг максимал қиймати қуйидагига тенг бўлади.

$$k_{max} \leq \frac{2d}{\lambda} \quad (1.12)$$

Шундай қилиб, $\lambda=5000 \text{ \AA}$ учун панжара доимийси $2500 \text{ \AA}$ дан катта бўлиши лозим, яъни дифракцион панжара штрихлар сони $4000 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$ бўлиши керак. Шунинг учун катта тўлқин узунлигига тўғри келувчи оптик диапазонда штрихлар сони $300 \frac{\text{штр}}{\text{мм}}$ ва ундан кичик дифракцион панжаралар ишлатилиши талаб қилинади.

Дифракцион панжарали спектрал қурилмаларнинг яна асосий характеристикаларидан бири унинг ажрата олиш қобилиятидир,

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = kN \quad (1.13)$$

(1.13) тенгламани физик маъноси элементар кичик тўлқин узунликлари оралағига қанча кўп спектрларни жойлашишини ҳарактерлаб, дифракцион панжаранинг ажрата олиш қобилияти узунлик бирлигидаги штрихлар сонига боғлиқ бўлади.

Дифракцион панжаранинг доимийси қийматини кичрайтириш билан боғлиқ бўлган катталик унинг бурчакли дисперсияси ҳисобланади.

$$D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi} \quad (1.14)$$

Ушбу тенгламанинг тахлилига асосан панжара доимийси d нинг камайиши дифракцион манзаранинг тартибини ошириш билан бирга спектрал қурилманинг бурчакли дисперсиясини ҳам оширади.

(1.14) тенгламадан $\frac{k}{d}$ ни қийматини (1.11) тенгламага қўйсак;

$$D_{\varphi} = \frac{\sin\varphi - \sin\psi}{\lambda \cos \varphi} \quad (1.15)$$

ҳосил бўлади.

Агарда дифракцион панжарага нур нормал тушса ($\sin\varphi = 0$) (1.15) га асосан, қуйидагича бўлади:

$$D_{\varphi} = \frac{(\operatorname{tg} \varphi)}{\lambda} \quad (1.16)$$

Электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида атомларнинг нурланиш спектрини тўлқин узунлиги ёки частота бўйича тақсимооти асосан икки хил усул билан қайд қилинади.

Фотографик усул – атом нурланиш спектрларини спектрографлар ёрдамида фотопластинкаларга тушириш йўли билан қайд қилинади.

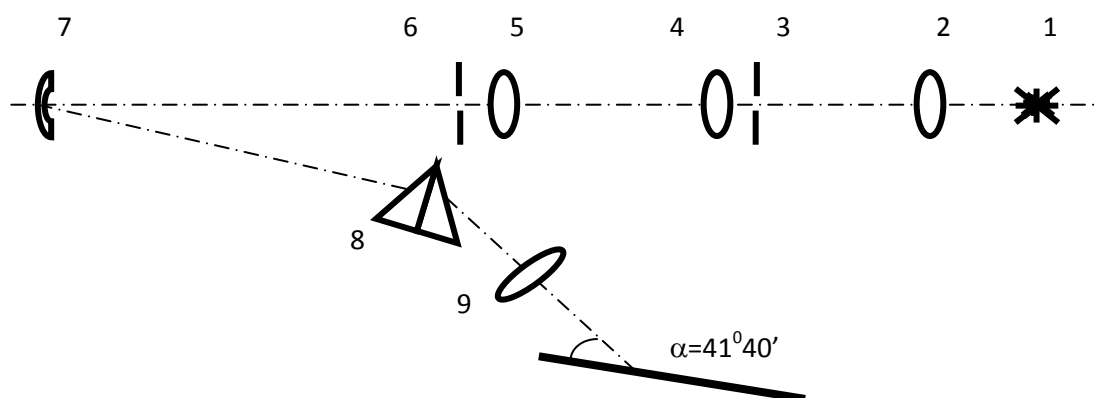
Фотоэлектрик усул – атом нурланиш спектрлари интенсивлигини тўлқин узунлиги бўйича тақсимооти фотоқабулқилгичлар ёрдамида қайд қилинади. Ушбу усуллар ёрдамида спектрларни қайд қилиш диссертациянинг иккинчи бобида берилади.

БОБ. II. ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСИ ВА МЕТОДИКАСИ

2.1. Атомларнинг нурланиш спектрларини фотографик усулда қайд қилувчи ИСП-22 ва ИСП-51 спектрал қурилмалар

Магистрик диссертациясида бевосита фойдаланилган , спектрларни фотографик усул билан қайд қилиш имконини берувчи спектрографлар таркибига кирган ИСП-22 ва ИСП-51 спектрографлари ҳақида тўхталиб ўтамиз.

Спектрограф ИСП-22 атом нурланиш спектрларини фотопластинкаларга фотографик усулда қайд қиладиган қурилманинг оптик схемаси расм.12 да ифодаланган [9,10].



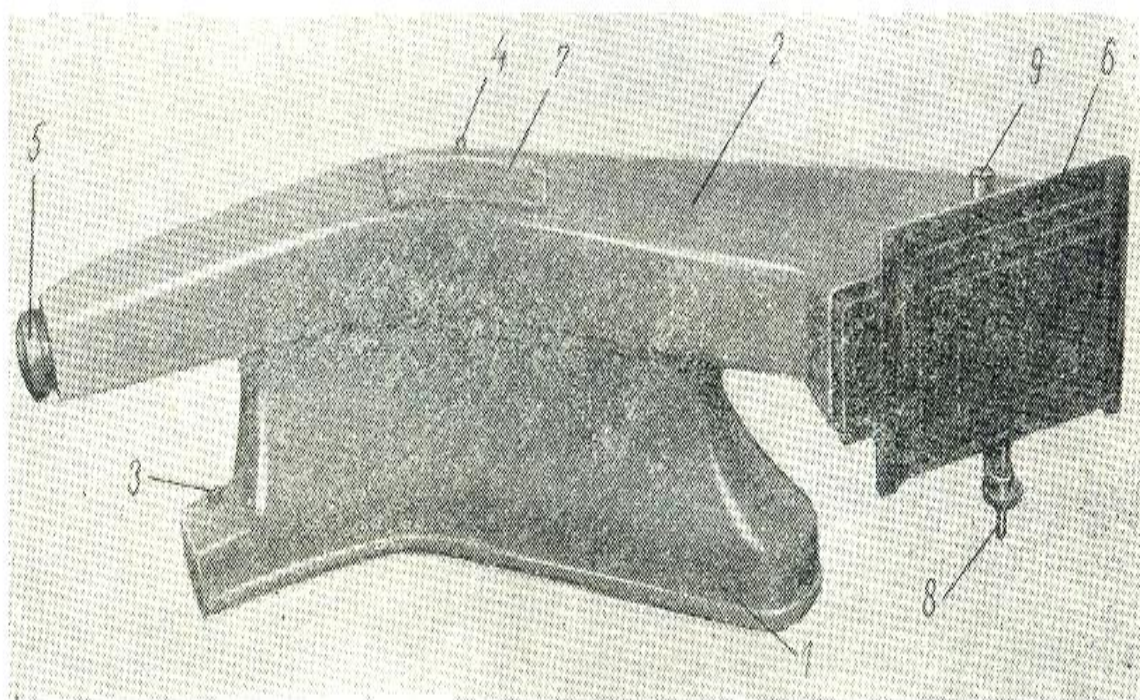
Расм.12. ИСП-22 спектрографини оптик схемаси

1–ёруғлик манбаи; 2,4,5–линзалар; 3–диафрагма; 6–спектрографнинг кириш тирқичи; 7–кўзгу; 8–спектрга ажратиб берувчи призма; 9–объектив; 10–спектрографнинг фокал текислигига жойлашган спектрларни расмга туширувчи фотопластинка.

Спектрал қурилманинг таркибига кирувчи барча қисмларга қуйидаги талаблар қўйилади:

1. Спектрларнинг юстировкasi—расм.12 даги ёруғлик манбаи—1, линзалар—2,4,5, диафрагма—3 ҳамда қурилманинг кириш тирқичи бўйича оптик ўқда жойлашиши лозим. Бу эса манбадан келаётган нурланиш интенсивлигидан тўла фойдаланиш имконини беради.
2. Спектрларнинг фокусировкasi—расм.12 даги 9—объективнинг фокал текислигига фотопластинка текислиги тўла мос тушиши лозим. Бу эса атом нурланиш спектрини аниқ тасвирини олиш учун хизмат қилади.

ИСП-22 спектрографининг умумий кўриниши расм.13 да келтирилган.



Расм.13. ИСП-22 спектрографнинг умумий кўриниши

Расм.13 даги: 1–спектрографнинг асоси бўлиб, 2–қисми маҳкамланган; 3–оптик тағлиққа маҳкамладиган қисм; 4–кўзгуни назорат қилиш тирқичи; 5–спектрографни кириш тирқичи; 6–фотопластинка жойлаштириладиган кассета; 7–призма ва объектив билан боғлиқ ишни назорат қилиш қисми; 8–кассетани ҳолатини вертикал текислик бўйича ўзгартириш учун винт; 9–шкалани ўзгартириш учун барабан.

Асосий хараактеристикаси:

Спектрни сезиш чегараси– $2000 \div 6000 \text{ \AA}$;

Спектр узунлиги –220 нм;

Кўзгу коллиматорининг фокус масофаси –600мм;

Коллиматор диаметри–4 мм;

Объективнинг фокус масофаси –830 мм;

Объектив диаметри –40 мм;

Пизманинг синдириш бурчаги – 60° ;

Пластинка ўлчами- 9x12.

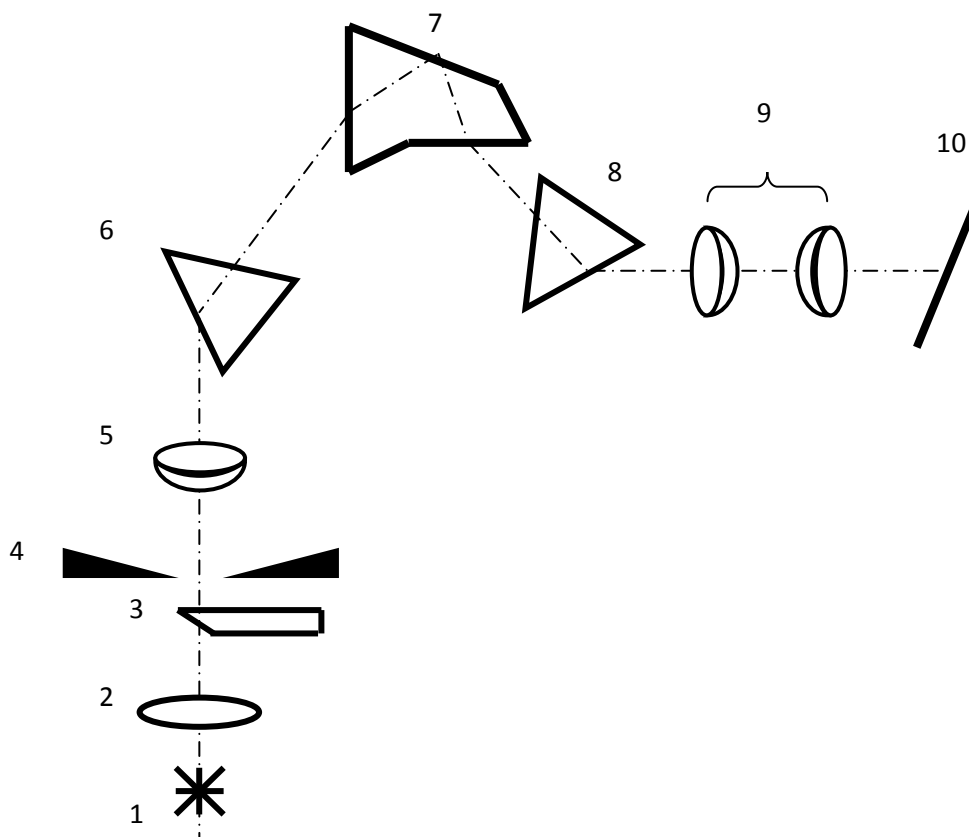
Расм.12 даги призма (8) кичик оғиш бурчагига ўрнатилган бўлиб, унинг чизиқли дисперсиясини тўлқин узунлиги бўйича қийматлари жадвал.2 да ифодаланган [11,12].

Жадвал.2

$\lambda \text{ \AA}$	Чизиқли дисперсия $\frac{\text{\AA}}{\text{мм}}$
2000	3,5
2500	9,0
3100	16,0
3600	25,0
4000	39,0
6000	110,0

Жадвал тахлилига асосан спектрографга тушаётган электромагнит тўлқин нурланиши тўлқин узунлигини ошиб бориши билан қурилманинг чизиқли дисперсияси ҳам ошиб боради.

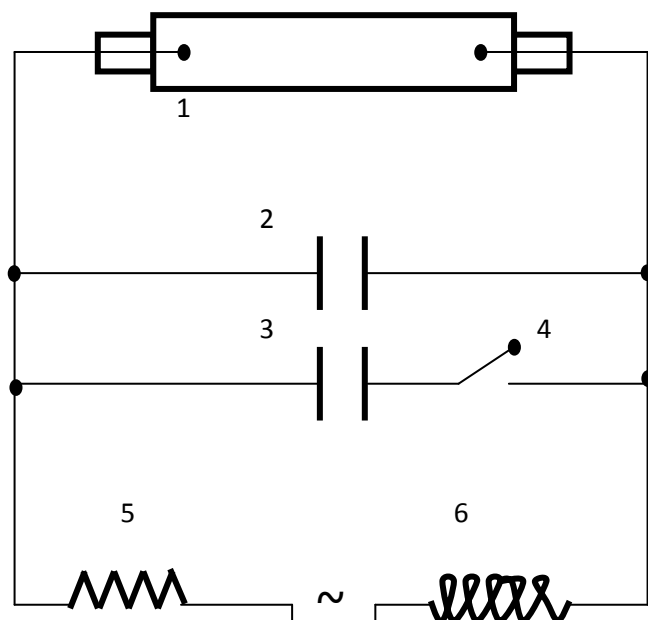
Спектрограф–ИСП–51. Атом нурланиш спектрларини фтопластинкаларга фотографик усулда қайд қилувчи қурилма бўлиб, унинг оптик схемаси расм.14 да ифодаланган [13].



Расм.14. ИСП–51 Спектрографнинг оптик схемаси.

Расмдаги: 1–ёруғлик манбаи, 2–конденсор, 3–солиштириш призмаси, 4–спектрографнинг кириш тирқичи, 5–коллиматорнинг объективи, 6,7,8–призмалар, 9–камера объективи, 10–фтопластинка текислиги.

Спектроскопик тадқиқотларда ёруғлик манбаи сифатида симоб лампаси қўлланилса бу манбанинг ишлаш схемаси расм.15 га асосан амалга оширилади.

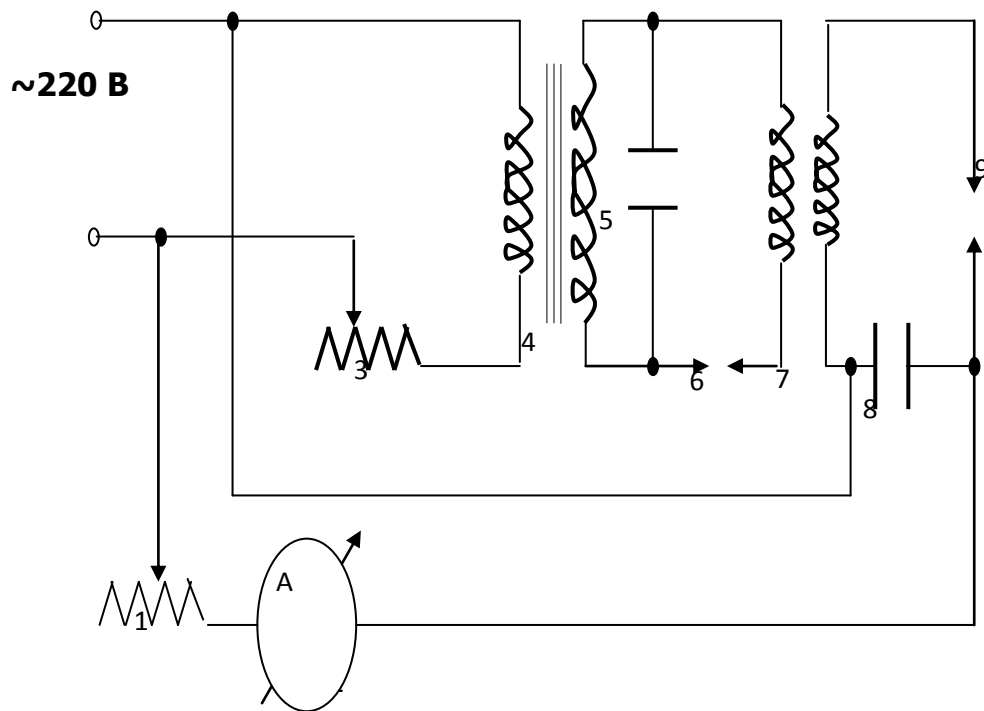


Расм.15. Симоб лампасини ёқиш схемаси.

Расм.15 даги 1-ПРК русумли лампа, 2,3—конденсаторлар, 4—ёқиш нуқтаси, 5—қаршилик, 6—дроссельдан иборат.

Агарда спектроскопик тадқиқотларда иккита электродлардан ташкил топган система оралиғидаги ҳосил бўладиган ёй (дуга) дан фойдаланилса (ушбу диссертацияни бажариш давомида шундай манбадан фойдаланилган бўлиб, учунчи бобда маълумот берилади)

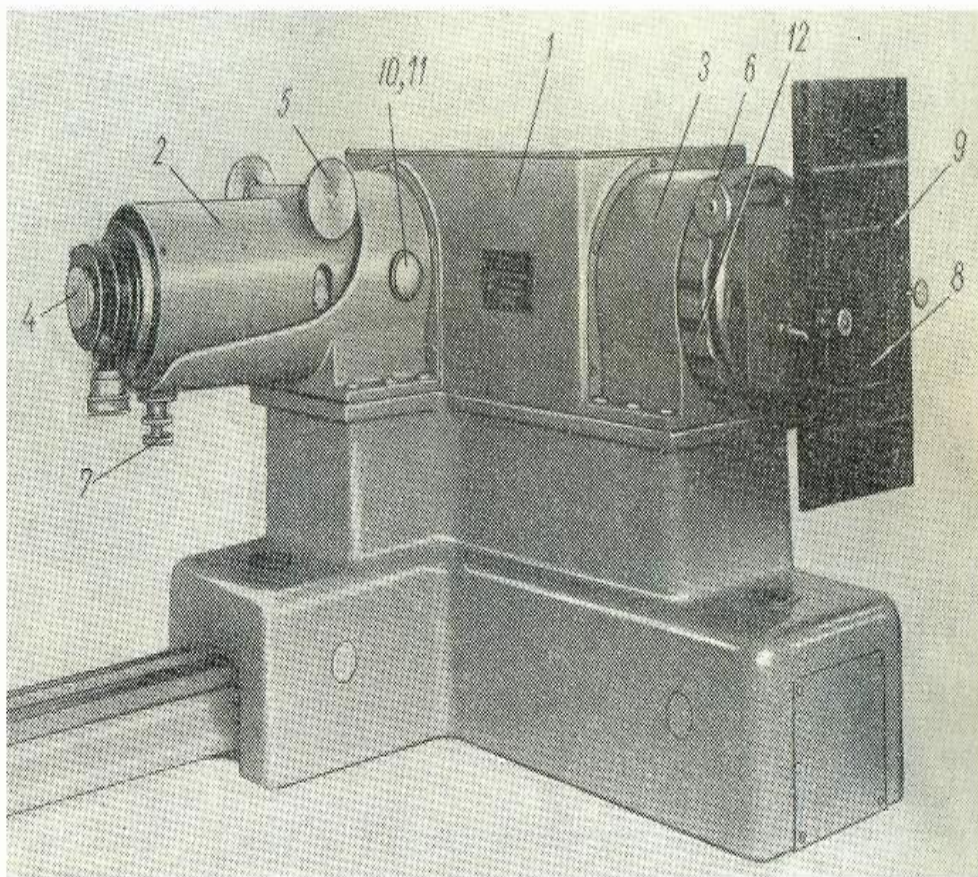
Бундай манбларнинг ишлаш принципини расм-16 асосида амалга оширилади



Расм.16. ДГ–2 русумли генератор асосида яратилган манбанинг ишлаш схемаси.

Ушбу расм.16 даги 1,3–ток кучини бошқарувчи реостатлар, 2–амперметр, 4–трансформатор, 5,8–конденсаторлар, 6–разряд берувчи оралик, 7–юқори частотали трансформатор, 9–ёй ҳосил бўладиган оралик.

ИСП-51 спектрометрининг умумий кўриниши расм-17 да берилган.



Расм.17. ИПС-51 спектрографнинг умумий кўриниши

Расм-17 даги 1–призмали қисм, 2–коллиматор трубаси, 3–камера трубаси, 4–кириш коллиматорининг факал текислигига жойлаштирилган тирқич, 5–кириш коллиматорини фокусировкасини амалга оширувчи моховик, 6–спектр факал текисликка мослаш винти, 7–вертикал ўқ бўйича оптик ҳолатни бошқариш винти, 8–фотопластинка жойлаштириладиган кассета, 9–кассета текислигини вертикал йўналиш бўйича ўзгартириш имконини берувчи винт, 10,11–винтлар эса оптик ўқни горизонтал йўналиш бўйича бошқариш винтлари, 12–чиқиш коллиматорини ҳолатини бошқариш мосламаси,

ИСП-51 спектрографага тегишли айрим катталиклар:

Паризманинг синдириш бурчаги -63°

Спектрни сезиш чегараси – $3600 \div 8000 \text{ \AA}$

Объектив коллиматорини фокус масофаси -304 мм

Спектр узунлиги - 46 мм

Пластинка ўлчами – 6x9см

Жадвал.3 да спектрографнинг чизиқли дисперсияини тўлқин узунлиги бўйича қийматлари берилган.

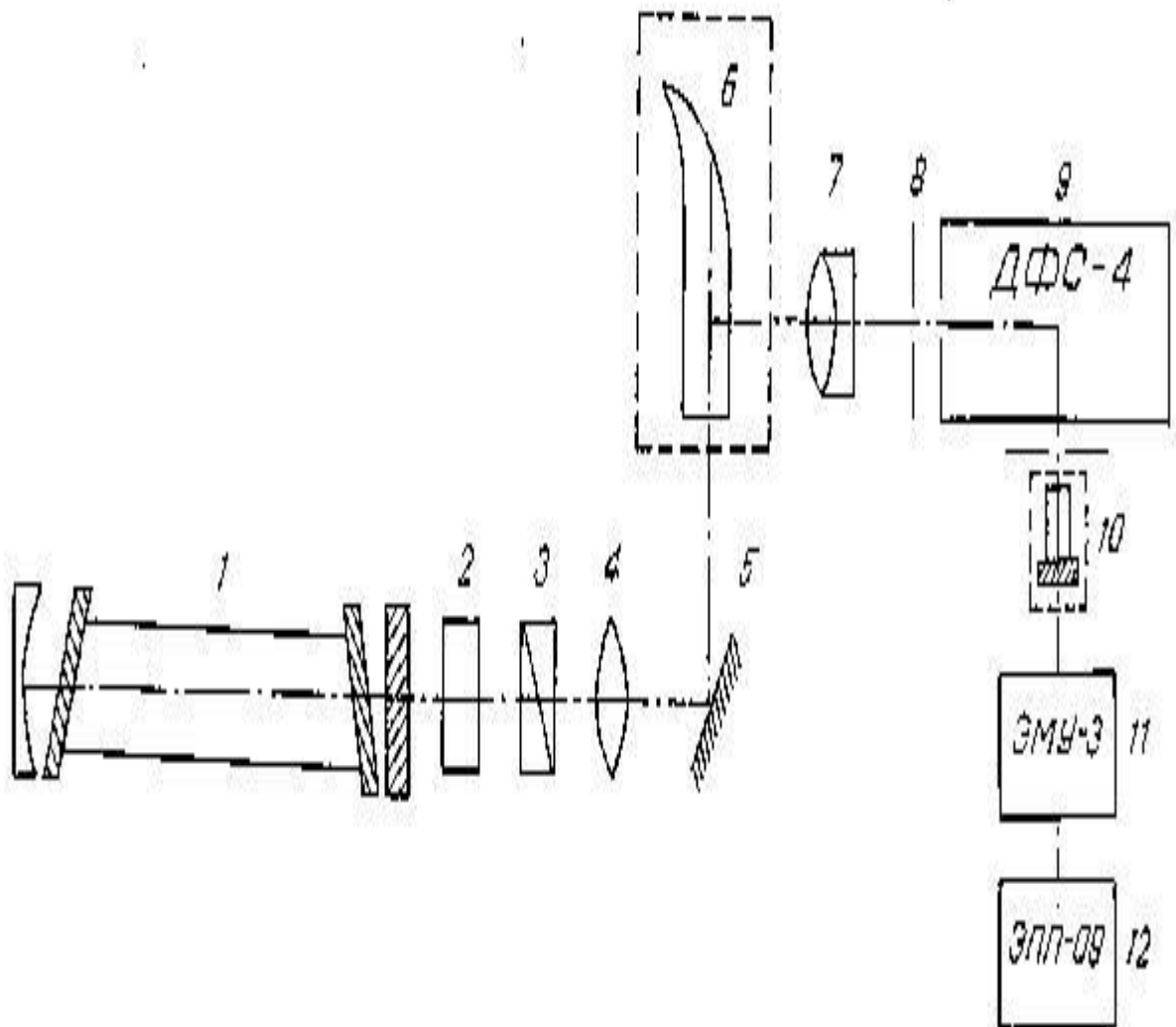
Жадвал.3

№	$\lambda \text{ \AA}$	Объектив коллиматорининг 120мм учун чизиқли дисперсия $\frac{\text{\AA}}{\text{мм}}$
1.	10.000	770
2.	8000	441
3.	7000	336
4.	6000	196
5.	5000	105
6.	4500	63
7.	4000	42
8.	3000	24.5

Демак, спектрал қурилмага тушаётган электромагнит тўлқин нурланишининг тўлқин узунлиги камайиб борса ИСП-51 спектрографини чизиқли дисперсияси ҳам камаяди [14].

2.2. Атомларнинг нурланиш спектрини фотоэлектрик усулда қайд қилувчи ДФС- 4 спектрини

Оптика ва лазерли физика кафедрасини молекуляр оптика илмий лобараториясида ёруғликнинг муҳитлардан молекуляр сочилиш спектрини фотоэлектрик усул билан қайд қилувчи экспериментал қурилма яратилган. Ушбу қурилманинг тасвири расм.18 да ифодаланган.



Расм.18. ДФС-4 дифракцион панжарали спектрометр базасида яратилган экспериментал қурилма.

Экспериментал курилманинг таркибидаги элементларга изох берамиз:

- 1- ўзидан монохроматик ва қутбланган ёруғлик нури чиқарувчи, тўлқин узунлиги $\lambda=628$ нм га тенг бўлган ЛТ-38 русумли He-Ne лазер курилмаси.;
- 2- ёруғликнинг қутблантириш хусусиятига эга бўлган анизотроп кристалл бўлиб, қалинлиги $\lambda/4$ га тенг бўлган пластинка (турли кўринишдаги қутбланган нурларни олиш имконини беради).;
- 3- Қутбланган нурни параллел ва перпендекуляр $I_{\parallel}$ ва $I_{\perp}$ ташкил этувчиларини ажратиб олиш имкониятини берувчи Николь призмаси.;
- 4- лазер нурини сочувчи муҳитнинг марказига тўплаб берувчи линза.;
- 5- нурни қайтарувчи кўзгу.;
- 6- таркиби ўрганилаётган муҳит.;
- 7- муҳит молекулалари билан ўзаро таъсирлашгандан кейинги сочилган нурни ДФС-4 спектрал курилманинг кириш тирқичи 8 га йиғиб берувчи конденсор.;
- 9- бир миллиметрда 1200 штрихга эга бўлган дифракцион панжарали спектрометр.;
- 10-ёруғлик нурини электр энергияга айлантириб берувчи ФЕК-79 русумли фотоэлектрон кўпайтиргич бўлиб, унинг максимал сезгирлиги 628 нм га тўғри келади.;
- 11-кичик интенсивликка эга бўлган спектр энергиясини кучайтириб берувчи ЭМУ-3 электрон кучайтиргич.;
- 12-интенсивликни частота бўйича тақсимотини фотоэлектрик усулда қайд қилувчи электрон курилма (ЭПП-09 потенциометр).

ДФС-4 дифракцион панжарали спектрометрини асосий
характеристикалари қуйидагилардан иборат[15,16]:

- $1200 \frac{\text{нм}}{\text{мм}}$ ли дифракцион панжара учун дисперсияси $-6,4 \frac{\text{\AA}}{\text{мм}}$

- ёруғлик кучи -1:10,4;

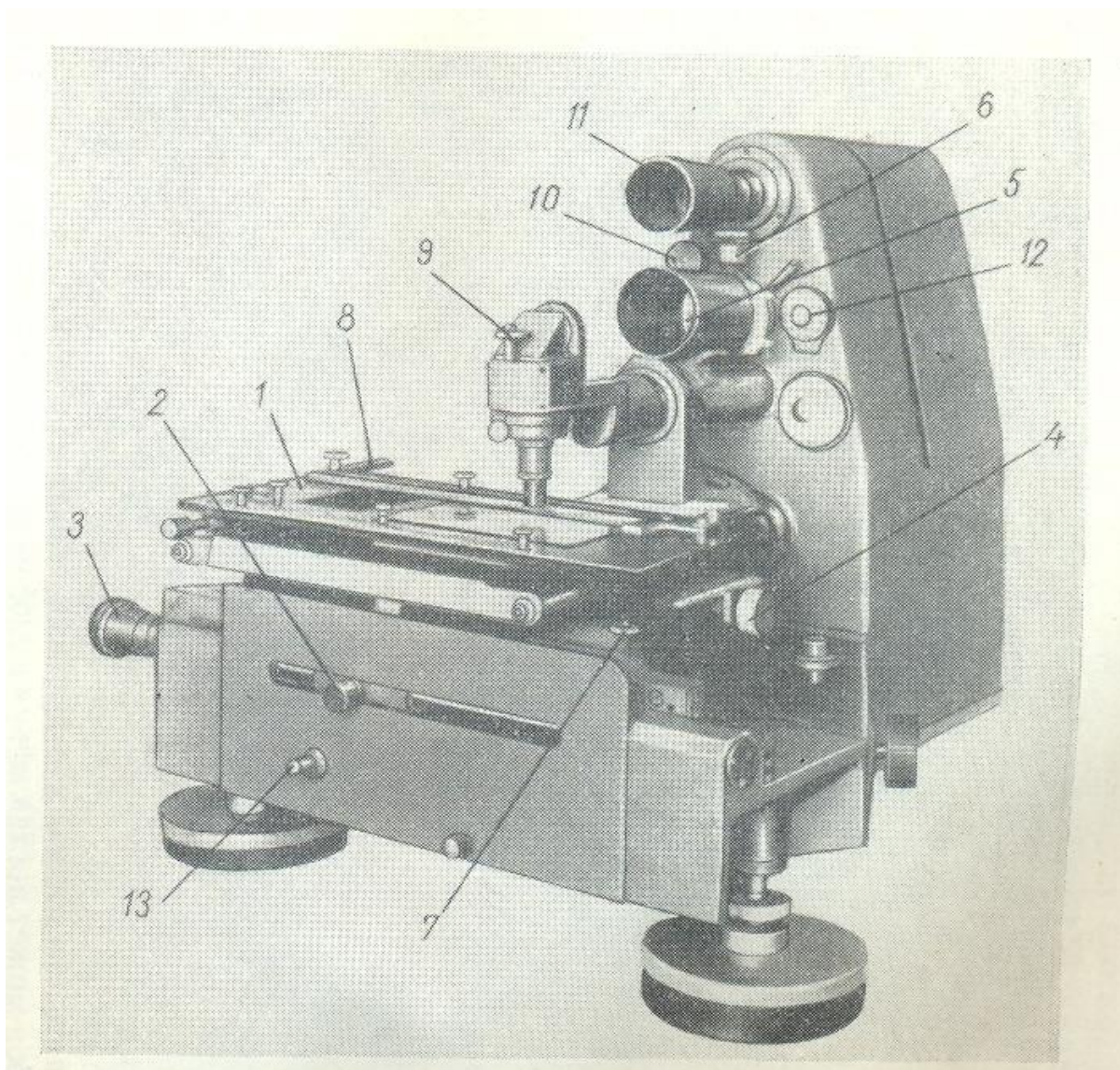
- биринчи тартиб учун ажрата олиш қобилияти-120000

- тирқич кенглиги - 0,04 мм ($1,08\text{см}^{-1}$)

2.3. Атомларнинг нурланиш спектрларининг қорайиш зичлигидан интенсивликка ўтиш ва МФ-2 микрофотометри.

Фотографик усул билан фотопластинкага туширилган спектрни интенсивлигини топиш учун атом нурланиш спектрининг қорайиш зичлигини топиш лозим.

Нурланиш спектрини қорайиш зичлигини топишда ишлатиладиган МФ-2 русумли микрофотометрини умумий кўриниши расм.19 да ифодаланган.

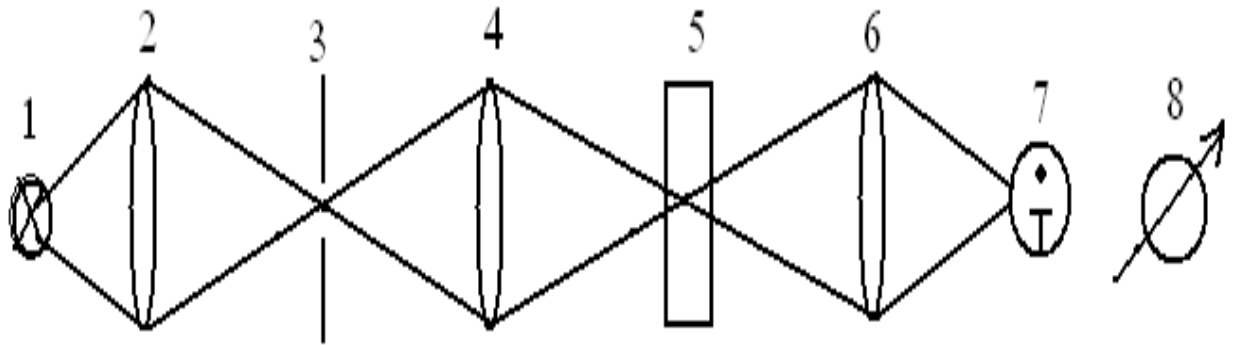


Расм.19. МФ-2 микрофотометрини умумий кўриниши.

Расм.19 га тегишли маълумотлар:

1. спектр тушурилган фотопластинка жойлаштириладиган мослама;
2. мосламани чап ва ўнг томонга ҳаракатлантирувчи винт;
3. мосламани гаризонтал текислик бўйича кичик қийматга (0,01 мм) силжитиш барабани;
4. мосламани вертикал текислик бўйича ҳаракатлантирувчи винт;
5. фотопластинкадаги спектр тасвирини кузатиш учун экран;
6. микрофотометр тирқичи кенглигини ўзгартириш имконини берувчи микрометрик барабан;
7. мослама ҳолатини ўзгартирувчи винт;
8. мослама ҳолатини ўзгартирувчи винт;
9. спектр тасвири аниқлигини таъминловчи винт;
10. микрофотометр шкалаларини (чизиқли ва логарифмик шкала) ўзгартириш имконини берувчи винт;
11. гальвонометр шкаласини кўрсатувчи экран;
12. тасвир сифатини яхшилаш (фокуслаш) имконини берувчи винт;
13. фотоэлементни улаш ёки узиш учун мослама;

Расм.20 да МФ-2 микрофотомерининг оптик схемаси, яъни нурланиш йўли ифодаланган.



Расм.20. МФ-2 микрофотомерининг оптик схемаси

Расм.20 даги:

- 1- нуқтавий манба;
- 2,4,6- линзалар;
- 3- микрофотомернинг тирқичи;
- 5- спектр тушурилган фотопластинка
- 7- фотоэлемент;
- 8- кўзгули сезгир гальвонометр;

БОБ.Ш.ЭКСПЕРИМЕНТАЛ НАТИЖАЛАР

3.1.Атомларнинг нурланиш спектрини спектрларини интенсивлигини аниқлаш

Атомларнинг нурланиш спектрларининг интенсивлиги электромагнит тўлқин нурланишининг энергия катталигини ҳақартерлаб, бир бирлик юзадан бирлик вақт ичида оқиб ўтган энергия миқдорини белгилайди ва уч турга бўлинади:

Абсолют интенсивлик–электромагнит тўлқин нурланиш таъсирида муҳит таркибидаги алоҳида атомнинг нурланиш интенсивлигининг катталигини ҳақартерлайди.

Нисбий интенсивлик–электромагнит тўлқин нурланиш таъсирида бирлик ҳажмдаги битта атом нурланиши интенсивлигини иккинчи атом нурланиши интенсивлигига нисбатини ҳақартерлайди.

Интеграл интенсивлик–электромагнит нурланиши таъсирида бирлик ҳажмдаги барча атомлар нурланиш интенсивликларининг йиғиндисини ҳақартерлайдиган катталиқка айтилади.

Демак, интенсивликнинг таърифига изох берадиган бўлсак, атомнинг катта энергияга эга бўлган энергетик сатҳдан, кичик энергетик сатҳга ўтиш вақтидаги фотоннинг энергия катталигини ҳақартерлар экан.

$$I = \frac{nh\nu}{\Delta t} \quad (3.1)$$

n –фотонларни сони, $h\nu$ –битта фотоннинг энергияси, Δt –учиб чиқиш вақти оралиғи. У ҳолда 1 секундда уйғонган фотонлар сони қуйидагига тенг бўлади.

$$n=N_m A_{mk} \Delta t \quad (3.2)$$

N_m — m —чи сатхдаги фотонлар сони, A_{mk} — m —чи сатхдан k —сатхга кўтарилиш эҳтимоллиги (нурланиш эҳтимоллиги).

У ҳолда,

$$I = N_m A_{mk} h\nu \quad (3.3)$$

N_m уйғонган энергетик сатхдаги атомлар сони температурага боғлиқ бўлиб, Больцмон тақсимооти билан ҳарактерланади.

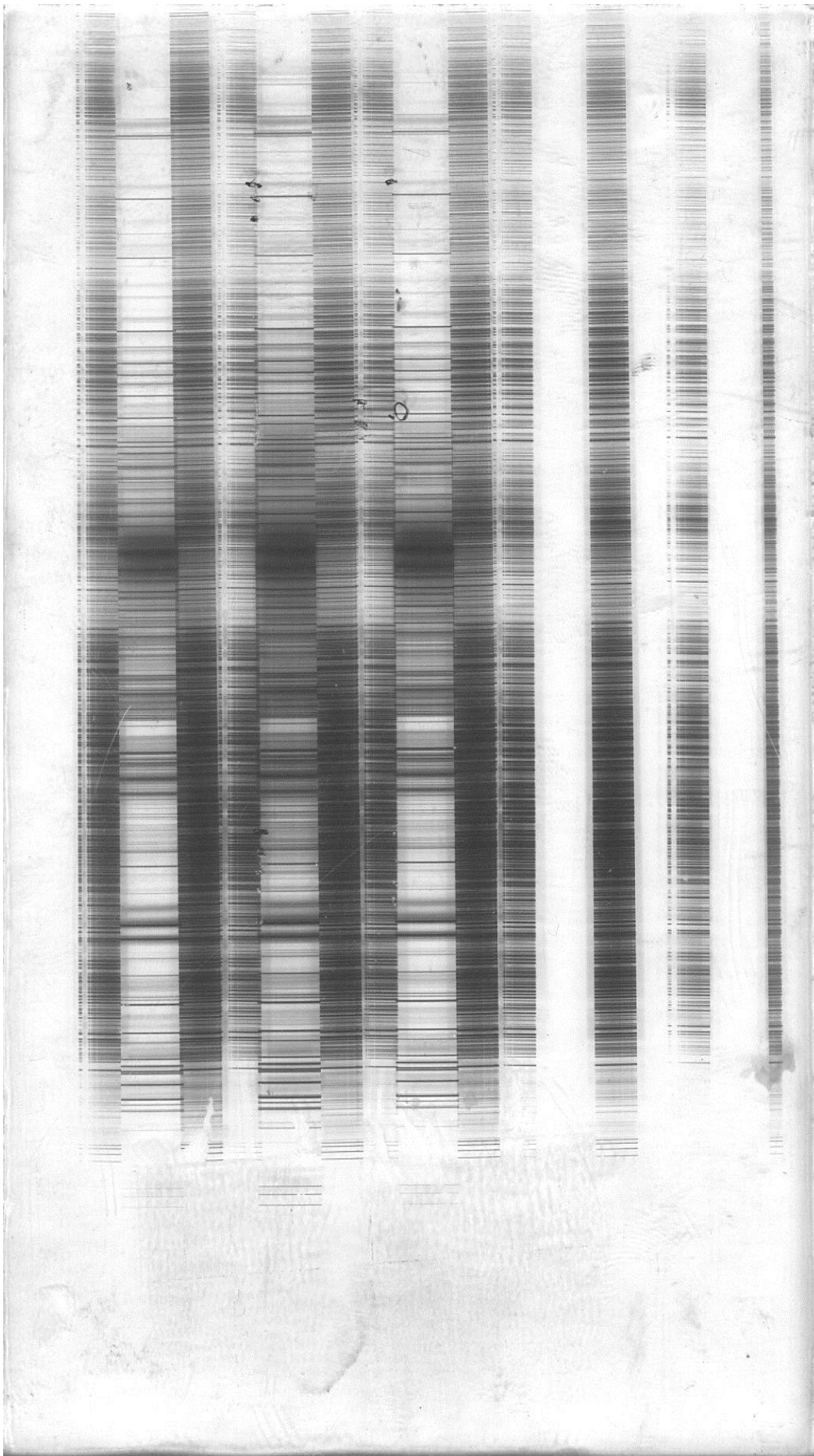
Натижада атом нурланиш спектрининг интенсивлиги (3.4) формула ёрдамида аниқланади.

$$I = h\nu N A_{mk} \exp\left(-\frac{E_m}{kT}\right) \quad (3.4)$$

(3.4) асосан атомнинг нурланиш интенсивлиги тўғридан—тўғри сатхдаги атомларнинг сонига боғлиқ бўлади.

Ушбу магистирлик диссертациясидаги тадқиқотларда атомларнинг нурланиш спектрларини интенсивликлари фотографик усул билан қайд қилинган спектрлар ёрдамида аниқланади.

Расм.21 да диссертациянинг 2 бобида тасвирланган 13 ва 16 расмлардаги қурилмалардан фойдаланиб, фотографик усул билан фотопластинкага тушурилган темир таркибидаги элементларнинг нурланиш спектрлари берилган.



Диссертациянинг I-бобидаги расм 3.4.5 лардан фойдаланган ҳолда тўлқин узунликлари $\lambda = 2269 \text{ \AA}$ га тенг бўлган алюмин (Al) атомини спектри, $\lambda = 3355 \text{ \AA}$ га тенг бўлган мис (Cu) ҳамда $\lambda = 6020 \text{ \AA}$ га тенг бўлган марганец (Mn) атомларининг спектрлари тажрибада олинган спектрлардан белгилаб олинди. (расм.21)

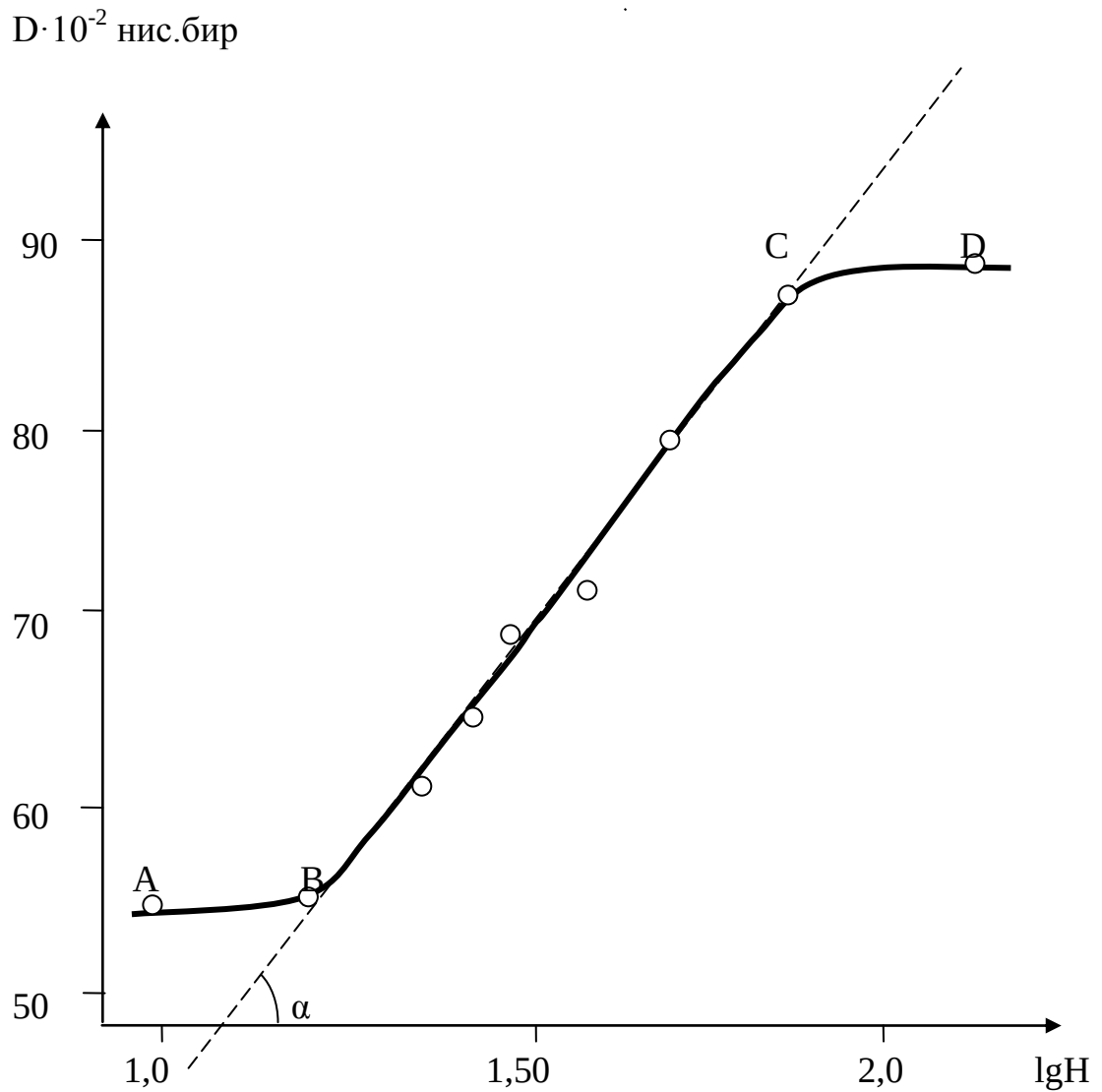
Жадвал.4 да алюмин атомини нурланиш спектрининг қорайиш зичлиги (D) билан ИСП–22 спектрал қурилмасининг ўтказувчанлик коэффицентини (lgH) қийматлари берилган. Тажрибада турли ўтказувчанлик коэффицентига эга бўлган 9–поғоналик сусайтиргичдан фойдаландик.

Жадвал.4

№	D нисб. бир.	lgH
1.	9520	2
2.	9100	1.85
3.	8500	1.72
4.	8000	1.65
5.	7250	1.55
6.	7000	1.49
7.	6000	1.40
8.	5100	1.35
9.	9520	2

Жадвал.4 даги қийматлар диссертациянинг II-бобида берилган МФ–2 микрофотометри ёрдамида аниқланди. 9–поғонали сусайтиргичнинг 1 ва 9 поғоналари ёруғликни 100% ўтказди, демак $\lg H=2$ га тенг бўлади. Қолган поғоналари мос равишда 100% камайиб боради. Натижада $\lg H=1, \dots$ қийматга тенг бўлади.

Тажрибадан олинган натижалардан фойдаланиб $D=f(\lg H)$, яъни спектрни қорайиш зичлиги билан спектрал қурилманинг ўтказувчанлик коэффициенти орасидаги боғланиш графигини чизамиз (расм.22).



Расм.22. Атом нурланиш спектрининг қорайиш зичлигини ўтказувчанликка боғланиши.

Назарияга асосан $D=f(\lg H)$ яъни атом нурланиш спектрининг қорайиш зичлиги спекрал қурилманинг ўтказувчанлик коэффицентига тўғри пропорционал бўлиб, расм.22 даги боғланиш битта тўғри чизикдан иборат бўлиши керак эди.

Лекин расм.22 нинг тахлили шуни кўрсатадики $D=f(\lg H)$ боғланиш графиги учта қисмдан иборат бўлади.

Яъни АВ ва CD қисмлар тажриба жараёнидаги айрим ҳатоликлар билан боғлиқ бўлиб, тўғри чизикли боғланишдан четга чиқишга сабаб бўлади. ВС қисм эса тўғри чизик боғланишига эга бўлади.

Расм.22 даги ВС-тўғри чизикли қисмни $\lg H$ ўқи билан кесишгунча давом эттирсак α бурчак ҳосил бўлади ($\operatorname{tg} \alpha = \gamma$).

Ушбу бурчакнинг тангенсини қиймати атом нурланиш спектри қайд қилинган фотопластинканинг контрастлигини ҳарактерлайди.

Атом нурланиш спектрининг қорайиш зичлиги билан шу спектрнинг интенсивлиги орасидаги боғланиш фотопластинканинг контрастлиги орқали боғланган бўлиб, қуйидаги тенглама орқали ифодаланади.

$$S = \gamma \lg I \quad (3.5)$$

Формуладаги,

S -фотопластинкага тушурилган атом нурланиш спектрининг қорайиш зичлиги.

γ - шу фотопластинканинг контрастлиги

$\lg I$ - қорайиш зичлиги аниқланган спектрнинг интенсивлиги.

расм.21 даги алюмин атомининг $\lambda = 3355 \text{ \AA}$ тўлқин узунлиги учун тажрибада аниқланган интенсивликни қийматлари жадвал.5 да ифодаланган.

Жадвал.5

№	$S \cdot 10^{-2}$	γ	lgI
1.	95.20	1.20	79.30
2.	91.0		75.80
3.	85.0		70.80
4.	80.0		66.60
5.	72.50		60.40
6.	70.0		58.0
7.	60.0		50.0
8.	51.0		42.0
9.	95.20		79.30

3.2.Спектроскопик тадқиқотларда аппарат функциянинг таъсири ва уни эътиборга олиш.

Маълумки электромагнит тўлқин нурланиши таъсирида атомларнинг қуйи ва юқори энергетик сатҳлар оралиғидаги ўтиш қонуниятларини тадқиқ қилишда спектроскопик усулнинг ўрни алоҳида бўлиб, 10^{-12} - 10^{-14} с оралиғидаги релаксацион жараёнларни қайд қилиш имкониятини беради [17].

Ушбу жараёнларни спектроскопик усул билан қайд қилишда ва атомларнинг нурланиш спектрларини (атом нурланиш спектри интенсивлигини частота бўйича тақсимоти) таҳлил қилишда спектрал қурилманинг аппарат функцияси таъсирини эътиборга олиш ўта муҳим муаммо ҳисобланиб, ушбу илмий-тадқиқот шу аппарат функцияни ўрганишга ва спектрнинг ҳақиқий тақсимотини топишга бағишланган.

Спектрал қурилма ёрдамида фотоэлектрик усул билан қайд қилинган тажрибадаги спектр, спектрал қурилманинг аппарат функцияси ва атом нурланиш спектрининг ҳақиқий тақсимоти билан қуйидагича боғланиш мавжуд

$$F(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(\tau)f(\nu - \tau)d\tau \quad (3.6)$$

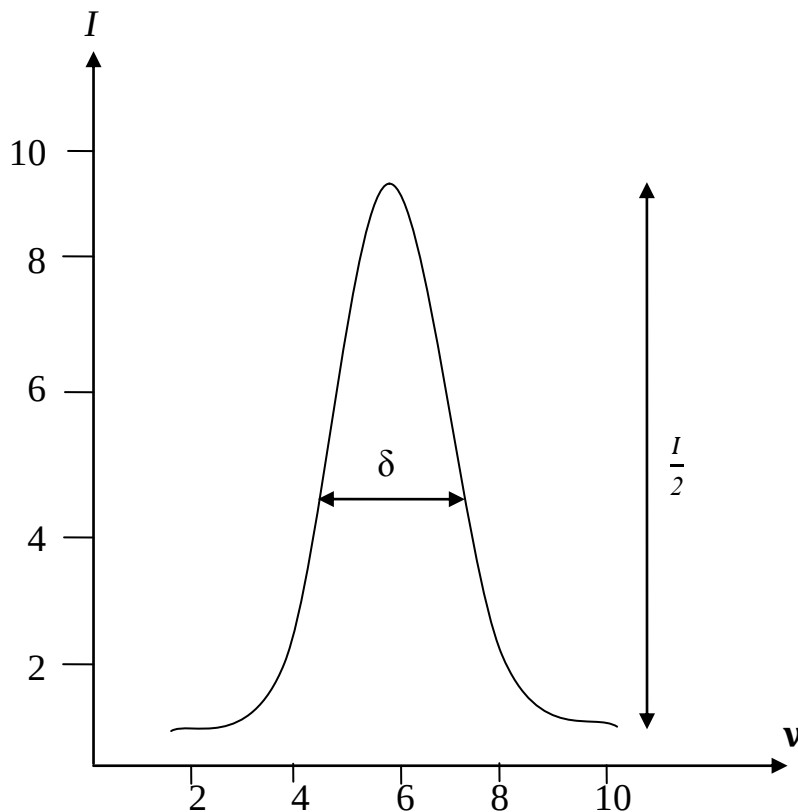
бу ерда $F(\nu)$ -тажрибадаги спектрнинг интенсивлигини частота бўйича тақсимотини ҳақартерловчи функция;

$A(\tau)$ -спектрал қурилманинг аппарат функциясини частота бўйича тақсимлаш;

$f(\nu - \tau)$ -атом нурланишининг ҳақиқий спектри интенсивлигини частота бўйича тақсимоти.

Ушбу (3.6) формула орқали ифодаланган интеграл тенгламани частотанинг $0-200 \text{ см}^{-1}$ оралиғида ҳисоблаш ўта мураккаб жараёндан иборат эканлигини эътиборга олиб, атом нурланиш спектри кенглигини ҳақиқий қийматини топиш учун қуйидаги усул тавсия этилади.

Тажриба давомида спектрал қурилманинг кириш тирқичини нормал кенглигини $S_0 = \lambda \frac{F}{D}$ формуладан ҳисоблаб (λ -спектрал қурилманинг кириш тирқичига тушаётган атом нурланишининг тўлқин узунлиги, F -спектрал қурилманинг кириш колиматорининг фокус масофаси, D -кириш колиматорини диаметри), атом нурланиш спектри интенсивлигини частота бўйича тақсимотини фотоэлектрик усул билан қайд қилсак, унинг кўриниши расм.23 кўринишидаги тақсимотга эга бўлади.



Расм.23

Ушбу спектр тақсимотини таҳлили шуни кўрсатадики спектр интенсивлигининг максимал қийматини яримидаги кенглик спектрнинг ярим кенглиги σ нинг қиймати спектрал қурилманинг кириш тирқичи кенглиги қийматидан бир неча марта катта бўлади. Бу эса спектрал

курулманинг аппарат функцияси таъсирида ҳосил бўлади. Биз атом нурланиш спектрини ҳақиқий кенглигини топишимиз учун аппарат функция таъсирини эътиборга олишимиз лозим.

Маълумки атом нурланиш спектрини интенсивлигини частота бўйича тақсимоти Лоренц, Гаусс, экспонента каби функциялар қонуниятлари асосида ўзгаради. Кузатилиши мумкин бўлган тўртта тақсимот қонуниятларини кўриб чиқамиз.

1-аппарат функция Гаусс, тажриба спектри Гаусс;

2- аппарат функция Гаусс, тажриба спектри Лоренц;

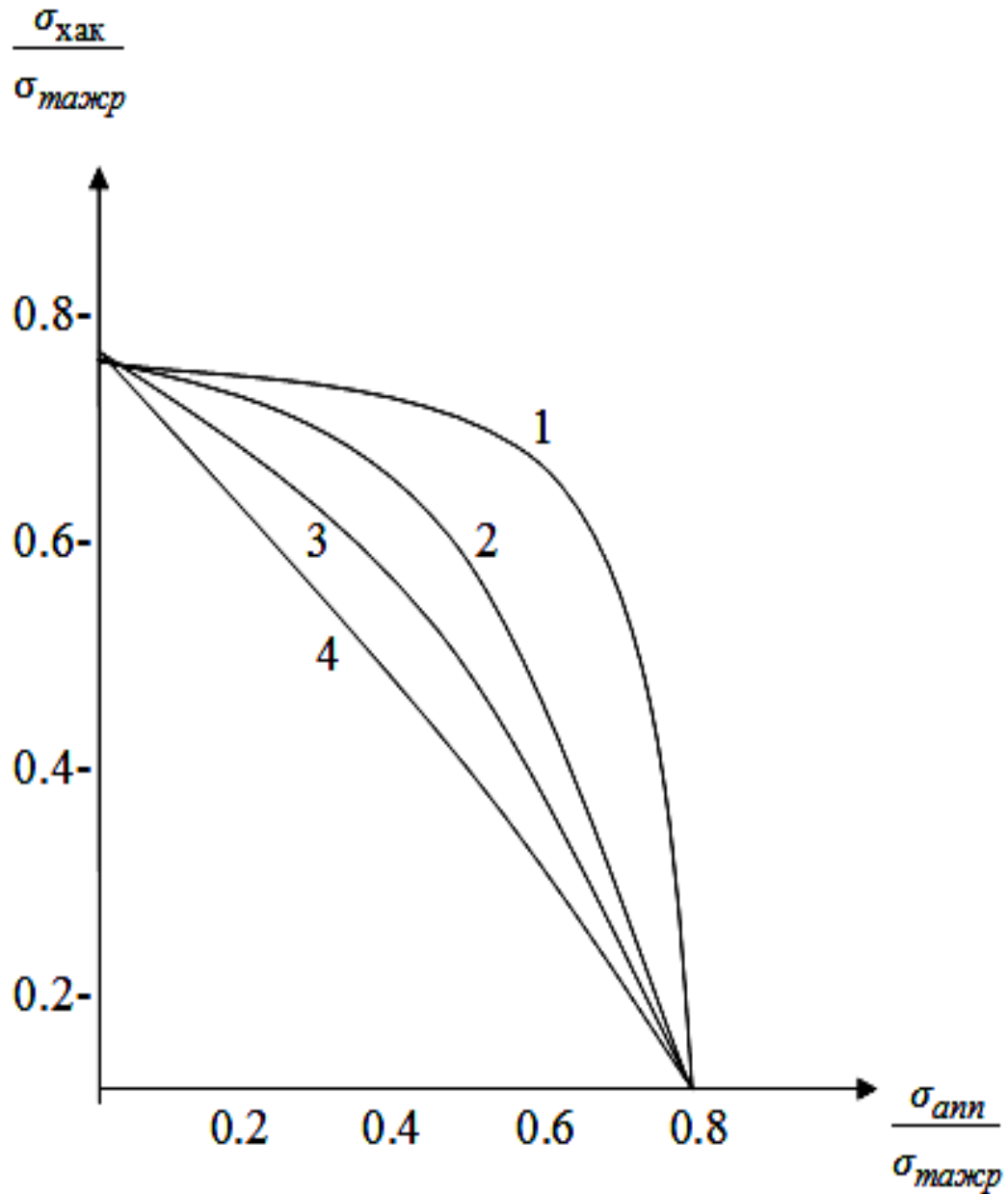
3-аппарат функция Лоренц, тажриба спектри Гаусс;

4-аппарат функция Лоренц, тажриба спектри Лоренц.

Агарда $\frac{\sigma_{\text{хак}}}{\sigma_{\text{тажр}}} < 1$ ва $\frac{\sigma_{\text{апп}}}{\sigma_{\text{тажр}}} < 1$ эътиборга олсак, юқоридаги тўртта ҳол учун қуйидаги боғланиш графигини олишимиз мумкин. 24-расмдаги 1-аппарат функцияси ва тажрибадан олинган спектр тақсимоти Гаусс–Гаусс функцияси; 2-аппарат функцияси ва тажрибадан олинган спектр тақсимоти Гаусс-Лоренц функцияси; 3-аппарат функцияси ва тажрибадан олинган спектр тақсимоти Лоренц-Гаусс; 4-аппарат функцияси ва тажрибадан олинган спектр тақсимоти Лоренц-Лоренц тақсимотларига тегишли.

Расм.24 даги боғланиш графигидан қуйидагича фойдаланиш тавсия этилади. Фараз қилайлик спектрал қурилманинг аппарат функцияси спектрининг ярим кенглиги $\sigma_{\text{апп}}=2\text{мм}$ ҳамда тажрибада қайд қилинган спектрнинг ярим кенглиги $\sigma_{\text{тажр}}=4\text{мм}$ га тенг бўлсин. У ҳолда $\frac{\sigma_{\text{апп}}}{\sigma_{\text{тажр}}} = 0,5$ мм га тенг бўлади.

Ушбу қийматдан фойдаланиб графикдаги $\frac{\sigma_{\text{хак}}}{\sigma_{\text{тажр}}} = 0,3$ мм қийматини топамиз. Натижада атом нурланиш спектрининг ҳақиқий ярим кенглиги Лоренц-Лоренц тақсимоти учун $\sigma_{\text{хак}}=0,3 \times 4=1,2$ мм ташкил қилади.



Расм.24

Хулоса қилиб шуни алоҳида таъкидлаш лозимки, атом нурланиш спектрининг ярим кенглиги орқали физик жараёнларнинг релаксация вақтларини ($\tau = \frac{1}{2\pi\sigma\delta}$) аниқланишини эътиборга олсак, спектр кенглигининг ҳақиқий қийматини тажрибада аниқлаш алоҳида аҳамиятга эга бўлиб, уни ушбу тавсия этилаётган усул билан топиш мумкин.

Атомларнинг нурланиш спектрини спектроскопик усул билан қайд қилишда тажриба олиб бориладиган спектрал қурилманинг аппарат функцияси таъсирини эътиборга олиш, оптик тадқиқотларда муҳим аҳамиятга эга.

Ушбу бўлимда спектрал қурилмалар ёрдамида фотоэлектрик усулда қайд қилинган атомларнинг нурланиш спектрини таҳлил қилишда аппарат функция тақсимотини ўрганишга бағишланган.

Маълумки спектрал қурилма ёрдамида тажрибада қайд қилинган атом нурланиш спектри аппарат функция билан қуйидагича боғланган,

$$F(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(\tau)f(\nu - \tau)d\tau \quad (3.7)$$

бу ерда, $F(\nu)$ -спектрал қурилма ёрдамида қайд қилинган спектр функциясини частота бўйича тақсимооти; $A(\tau)$ -аппарат функция тақсимооти; $f(\tau-\nu)$ -ҳақиқий спектр тақсимооти.

Спектрал қурилмадаги контурнинг кўриниши (спектр интенсивлигининг частота бўйича тақсимооти) турли хил бўлиши мумкин. Айрим хусусий ҳолларини кўриб чиқамиз.

Тирқич кенглигини чексиз кичик деб қабул қилсак қайд қилинган спектрнинг кенглиги ҳақиқий кенглигидан маълум қийматга катта чиқади. Бу тафоввуд тирқичдаги дифракция ҳодисаси билан боғлиқ бўлади. У ҳолда спектр интенсивлигини тақсимооти қуйидагига тенг бўлади.

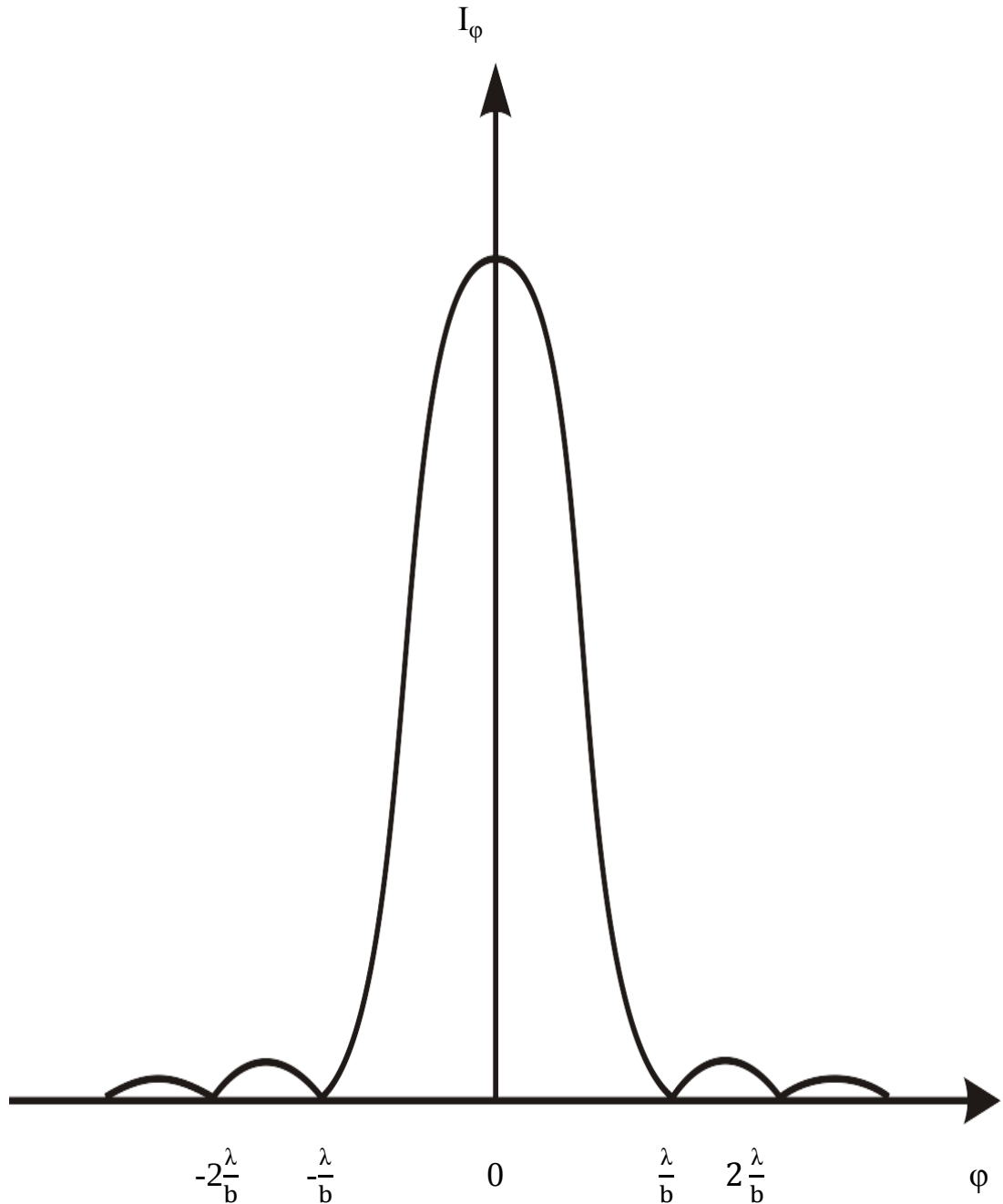
$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2 U}{U^2} \quad (3.8)$$

$U = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi$, b -тирқичнинг чизикли ўлчамлиги. Кичик бурчаклар учун $\sin \varphi \approx \varphi$ бўлганлиги учун

$$\frac{I_{\varphi}}{I_0} = \frac{\sin^2 \frac{\pi b}{\lambda} \varphi}{(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi)^2} \quad (3.9)$$

(3) тенгламадан кўринадики агарда $\varphi = \frac{k\lambda}{b}$ га тенг бўлса (k -бутун сон) I_φ нолга тенг бўлади. $k=0$ бўлса $I_\varphi = I_0$ кузатилади.

Ушбу мулоҳазадан келиб чиқиб, нурланиш спектри интенсивлигини бурчакка боғлиқлик графиги расм.25 кўринишида тасаввур қилиш мумкин.

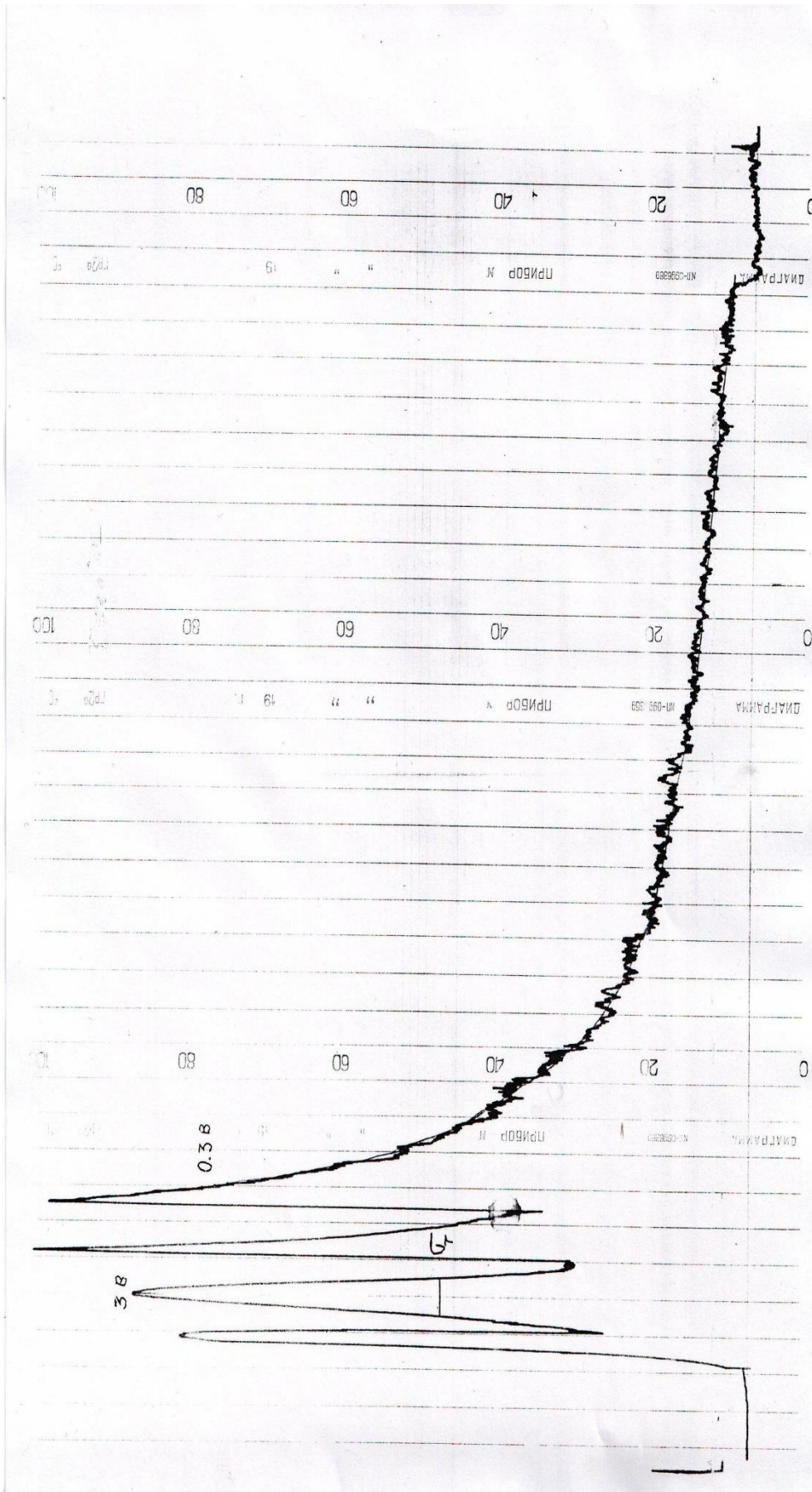


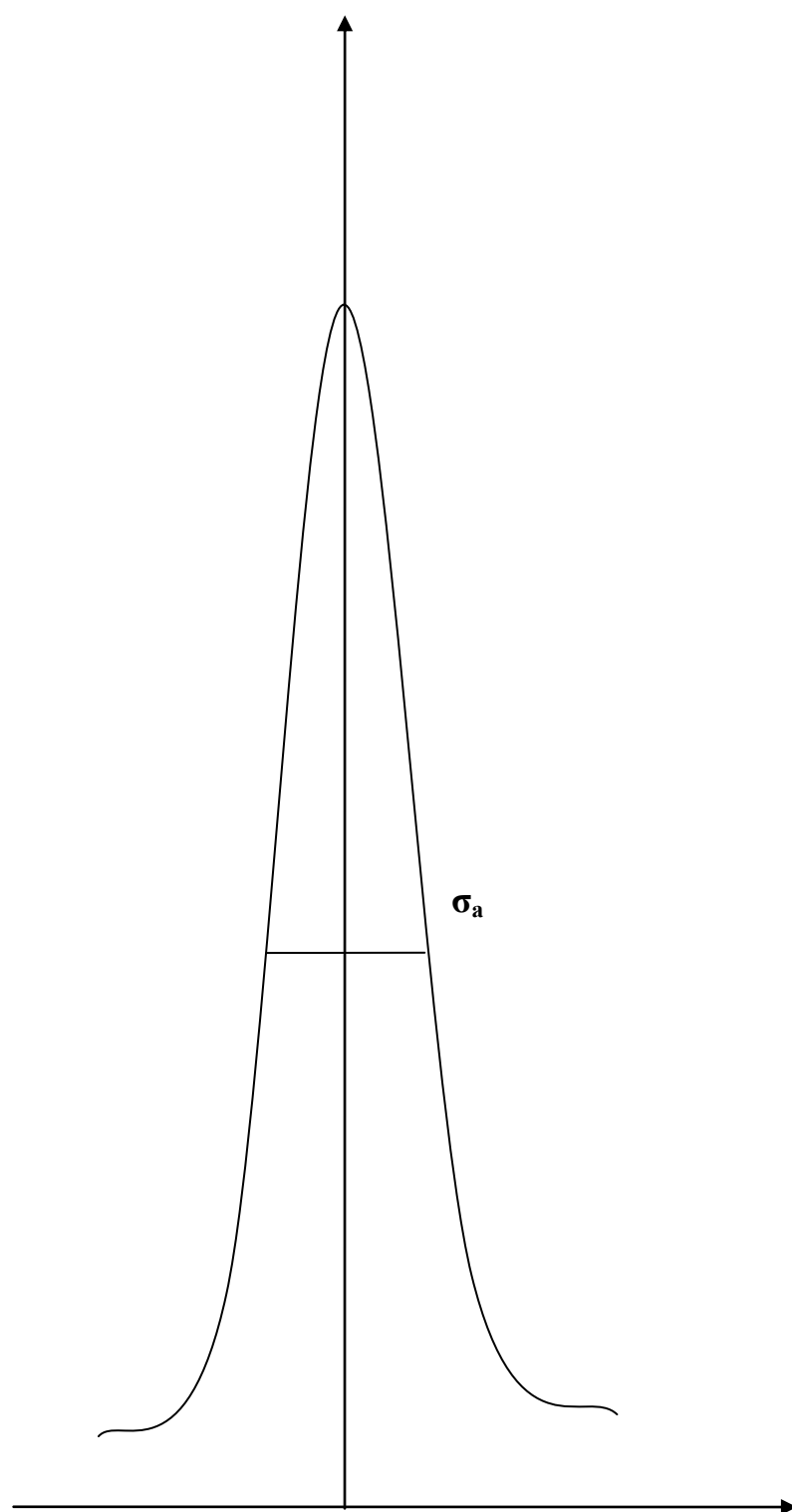
Расм.25

Интенсивликни бурчак бўйича тақсимотини тахлилига асосан марказий максимумдан ташқари $\frac{\lambda}{b}$, $2\frac{\lambda}{b}$ масофада интенсивлиги сўниб борувчи қўшимча кичик максимумларни кузатилиши тирқич четларидаги дифракция ҳодисаси билан боғлиқ бўлади. Демак, тирқичда ҳосил бўладиган дифракция ҳодисаси спектрал қурилма ёрдамида фотоэлектрик усул билан қайд қилинган спектр кенглигига таъсир қилиб, тажрибадаги спектр кенглиги доим ҳақиқий кенгликдан катта чиқади.

Аппарат функциянинг таъсирини ўрганишда ДФС-4 дифракцион панжарали спектрометрдан фойдаландик. Унинг асосий характеристикалари: дифракцион панжарадаги штрихлар сони – $1200\frac{штр}{мм}$; дисперсияси - $6.4\frac{\text{Å}}{мм}$; ёруғлик кучи -1:10,4; ажрата олиш қобилияти—120000; 488нм тўлқин узунлигига тенг бўлган лазер нурланиш учун фотоэлектрик усул билан қайд қилишда ишлатилган ЭПП-09 потенциометрини лентасини дисперсияси $0,22см^{-1}$ га тенг.

Хлорбензол- C_6H_5Cl молекуласидан ёруғликнинг молекуляр сочилиш спектри расм.26 да ҳамда аппарат функция тақсимоти расм.27 да тасвирланган. Расм.26 да $\sigma_t=10$ мм га тенг бўлиб, тажрибадаги спектрнинг кенглигини ифодалайди. Частотанинг марказий қисмидан узоқлашган сари сочилиш спектрини интенсивлигини камайиб боришини эътиборга олиб, спектрнинг узоқ қисми экспериментал қурилмадаги кучайтиргични юқори сезгирлик шкаласи-0,3В да ва частотанинг марказий қисми эса 3В да қайд қилинган. Яъни марказий максимум интенсивлиги 10 мартага сусайтирилган. Расм.27 да аппарат функциянинг кенглиги $\sigma_a=4$ мм га тенг.

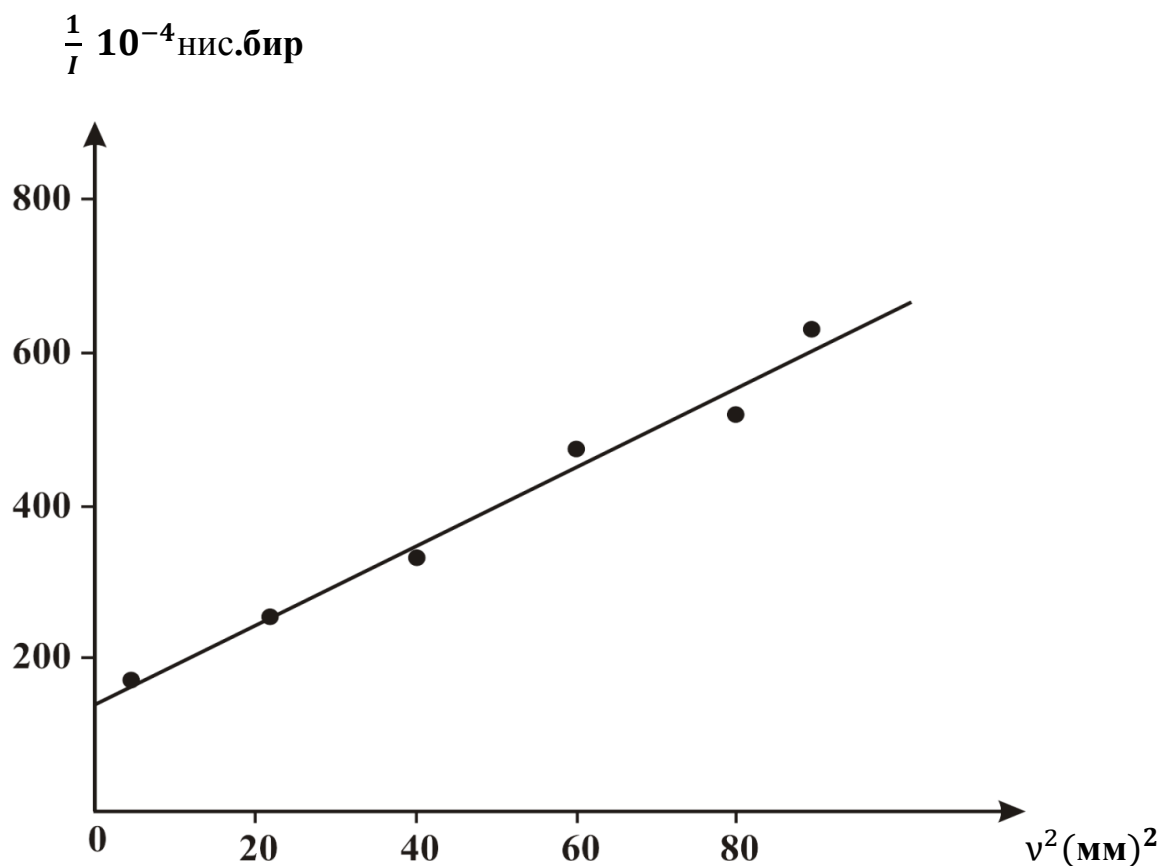




Расм.27. ДФС-4 спектрометрини аппарат функция тақсимоти
(10 мартта кичрайтирилган).

Спектроскопик тадқиқотларда атом нурланиш спектирининг ҳақиқий кенглигини аниқлаш талаб қилинади. Чунки спектр кенглиги ва унинг муҳит температурасига боғлиқлигидан релаксацион жараёнларнинг қонуниятлари ўрганилади. Оптика ва лазерли физика кафедрасидаги молекуляр спектроскопия илмий лобараториясида олиб борилган тадқиқотларга асосан C_6H_5Cl молекуласидан ёруғликнинг молекуляр сочилиш спектри интенсивлигини частотага боғлиқлик қонунияти Лоренц функциясига амал қилиши аниқланган. Асосий вазифалардан бири аппарат функция тақсимотини ҳам аниқлашдан иборат.

Расм.28 да ДФС-4 спектрометри базасида яратилган қурилмани аппарат функциясининг тақсимоти ифодаланган. Ушбу боғланиш таҳлили шуни кўрсатадики аппарат функция ҳам Лоренц функцияси тақсимотига мос тушади.



Расм.28 Аппарат функция тақсимоти

Хулоса қилиб шуни алоҳида таъкидлаш лозимки тажрибада қайд қилинган спектр таркибида аппарат функциянинг ҳам улуши бўлар экан. Оптик ва спектроскопик тадқиқотларида аппарат функция таъсирини эътиборга олиш лозим. Муаллифлар томонидан таклиф қилинган [18] усул асосида расм.26 да акс эттирилган C_6H_5Cl молекуласидан ёруғликнинг молекуляр сочилиш спектрининг ҳақиқий кенглигини топишимиз мумкин[19].

ХУЛОСАЛАР

1. Магистирлик диссертациянинг мавзусига тегишли мавжуд ўқув ва илмий адабиётлар, диссертациялар ҳамда монографиялар билан танишилди.
2. Атомларнинг ташқи электромагнит тўлқин нурланиши таъсиридаги нурланиш спектрларини фотографик ва фотоэлектрик усуллар билан қайд қилиш имконини берувчи призмали ва дифракцион панжарали спектрал қурилмалар билан танишилди.
3. Ташқи электромагнит тўлқин таъсирида алюмин атомининг $\lambda=2269\text{\AA}$, $\lambda=3355\text{\AA}$ ва $\lambda=6020\text{\AA}$ тўлқин узунликларига тенг бўлган нурланиш спектрлари мисолида атомларнинг энергетик сатхлар оралиғидаги нурланиш интенсивлиги тажрибада аниқланди.
4. Спектрал қурилмалар ёрдамида қайд қилинган атомларнинг нурланиш спектрларининг ҳақиқий кенглигига қурилманинг аппарат функцияси таъсири ўрганилди.
5. Ўрганилган спектрал қурилмаларда аппарат функция тақсимооти яъни интенсивликнинг частота бўйича тақсимооти Лоренц тақсимооти қонуниятлари асосида бўлиши аниқланди.
6. Спектрал қурилмаларнинг аппарат функциялари Лоренц ёки Гаусс функцияси бўйича ўзгарганда атомларнинг нурланиш спектри қонуниятларининг ҳақиқий қийматларини аниқлаш бўйича тавсиялар берилди.

АДАБИЁТЛАР

1. Толмачев.Ю.А., Новые спектральные приборы, Ленинград, 1976 (2005 йилда қайта нашр қилинган).
2. Барсуков.В.И., Начинаящему аналитику-спектроскописту Тамбовский гос,тех, Университет, 2007.
3. Полежаев.Ю.М., Оптический атомно-эмисионный и рентгенофлуоресцентный методы спектрального анализа. Екатеринбург, 1991.
4. Гарифзянов.А.Р., Эмиссионная фотометрия пламени и атомно-абсорбционная спектроскопия. Козан, 2009.
5. Зайдель.А.Н., Остовская.Г.В, Островский.Ю.И, Техника и практика спектроскопии М., 1976.
6. Басов.Н.Г., Захарченков.Ю.И., Диагностика плазмы М., 1989.
7. Пергамент.М.И., Информационные аспекты оптических изображений М., 1990.
8. Шишловский А.А., Прикладная физическая оптика М. 1961 (2001 йил қайта нашр қилинган).
9. Раушер.К., Основы спектрального анализа М., 2006.
10. Нагибина.И.М., Прокофьев.В.К., Спектральные приборы и техника спектроскопии М., 1963 (2005 йил қайта нашр қилинган).
11. Акимов.А.И., Лебедева.В.В., Левшин.Л.В., ва бошқалар Практикум по спектроскопии МГУ., 1976 (2000 йил қайта нашр қилинган).
12. Гоулдстейн.Д, Эглин.П., Лившин.Э., Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ.М.,1984.
13. Айвазава.А.А., Валиев.У.В., Мухамедханова.Ш.И., Отожонов.Ш, Ясколко.В.Я., Спецпрактикум по оптике и спектроскопии, Ташкент., 2005.
14. Ясколко.В.Я., Отожонов.Ш, Мухамедханова.Ш.И., Физическая оптика Ташкент., 1999.

15. Отожонов.Ш., Молекуляр оптика, Ташкент., 1994.
16. Хабибуллаев.П.К., Булавин.Л.А., Погорелов.В.Б., Тухватулин.Ф.Х., Лазенгевич.А.И., Отожонов.Ш., Жумабаев.А., Динамика молекул в жидкостях, Ташкент., Изд.”Фан”, 2009.,410с.
17. Эшчанов.Б., Номз.дис. Исследование теплового движения молекул и релаксационных процессов в конденсированных средах методом молекулярного рассеяния света, Самарканд., 2001.
18. Саидназаров.Р., Отожонов.Ш., Атом нурланиш спектрини кенгайиш сабабларини тадқиқ қилиш “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий-амалий конференция маълумотлари. Ташкент., 26-27 апрель, 2013, б. 119-121.
19. Саидназаров.Р., Отожонов.Ш., Спектроскопик тадқиқотларда аппарат функциянинг ўрни “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий-амалий конференция маълумотлари. Ташкент., 16 май, 2014, б. 145-147.

**Магистрлик диссертацияси мавзуси бўйича нашр этилган
илмий мақолалар.**

1. Саидназаров.Р., Отожонов.Ш., Атом нурланиш спектрини кенгайтиш сабабларини тадқиқ қилиш “Физика фанининг ривожда истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий-амалий конференция маълумотлари. Ташкент., 26-27 апрель, 2013, б. 119-121.
2. Саидназаров.Р., Отожонов.Ш., Спектроскопик тадқиқотларда аппарат функциянинг ўрни “Физика фанининг ривожда истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий-амалий конференция маълумотлари. Ташкент., 16 май, 2014, б. 145-147.