

А.А. ИСМАТОВ

**СИЛИКАТ ВА ЗЎРҒАСУЮЛУВЧАН
МАТЕРИАЛЛАР ФИЗИК-КИМЁВИЙ
ТАҲЛИЛИНИНГ ЗАМОНАВИЙ
УСУЛЛАРИ**



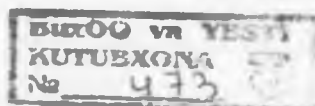
66
И 85
ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

А.А. ИСМАТОВ

СИЛИКАТ ВА ЗЎРФАСУЮЛУВЧАН МАТЕРИАЛЛАР ФИЗИК - КИМЁВИЙ ТАҲЛИЛИНИНГ ЗАМОНАВИЙ УСУЛЛАРИ

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлиги томонидан олий ўқув юртларининг
кимёвий-технология факультетлари талабалари учун
ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган

ТОШКЕНТ – 2006



А.А.Исмаилов. Силикат ва зурғасуюлувчан материаллар
физик-кимёвий таҳлилининг замонавий усуллари.
Т., «Fan va texnologiya», 2006, 272 б.

Уқув қўлланмада кимёвий технология, шу жумладан, ноорганик моддалар, силикат ва зурғасуюлувчан материаллар, камёб, тарқоқ ва нодир металллар физик-кимёвий таҳлилининг замонавий усуллари, айниқса, микроскопия, рентгенография, ИК спектроскопия ва термография ҳақида маълумот берилади. Ҳар бир усул алоҳида ёритилиб, унга тааллуқли аппаратлар, уларнинг тузилиши, ишлаш принципи ва уларда иш олиб бориш тартиби ҳақида маълумотлар киритилган. Текшириладиган объект намуналарини тайёрлаш йўллари ҳам кўрсатилган.

"Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари" фани уқув қўлланмаси В 522400 — «Кимёвий технология» йўналишида ўқитиладиган "Силикат ва зурғасуюлувчан материаллар технологияси" соҳасида таълим олаётган 4-курс кундузи ва 5-курс сиртқи бўлимларнинг талабалари учун мўлжалланган. Ундан «Ноорганик моддалар технологияси», «Камёб, нодир ва тарқоқ металллар технологияси», «Электро-кимёвий ишлаб чиқариш ва коррозиядан сақлаш технологияси» соҳалари талабалари, илмий мутахассислар, магистрантлар, ишлаб чиқаришдаги муҳандис ва техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Тақризчилар: **С.Т.Тўхтаев**—Ўзбекистон Республикаси
Фанлар Академиясининг ҳақиқий аъзоси,
кимё фанлари доктори, профессор.
Н.П.Исмоилов—кимё фанлари
доктори, профессор.
П.А.Арипов—техника фанлари номзоди

СЎЗ БОШИ

В 522400 — «Кимёвий технология» йўналишининг асосий соҳаларидан бири «Силикат ва қийин суюқланадиган материаллар технологияси» соҳаси бўйича бакалавр касб фаолиятлари доираси кенг ва объектлари жуда кўп. Булар қаторига саноат корхоналарида ишлаб чиқарилган буюмлар, ашёлар, уларнинг таркиби ва хусусиятларини аниқловчи усуллар, асбоблар, кўп мақсадларга мўлжалланган боғловчи модда, керамика ҳамда шишасимон буюмлар олишда қўлланиладиган жиҳозлар, юқори самарали технологик жараёнлар, тизимлар, атроф-муҳит ҳолатини баҳолаш услублари, воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ва транспорт таъсиридан атроф-муҳитни ҳимоялаш кабилар кирази.

Юқоридаги факторларни аниқлаш, уларга таъсир ўтказиш ва яхшилашда «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанининг роли бениҳоят катта. Шунинг учун ҳам силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси мутахассислигига оид кадрлар тайёрловчи олий ва махсус ўрта ўқув юртларининг ўқув режасидан у мустақил фан сифатида ўрин эгаллаган.

Ушбу ўқув қўлланма олий техника ўқув юртлари «Боғловчи материаллар кимёвий технологияси», «Керамика ва утга чидамли материаллар кимёвий технологияси», «Шиша ва ситаллар кимёвий технологияси» ва «Электрон техника воситалари кимёвий технологияси» ихтисосликлари дастурларига мувофиқ ўзбек тилида ёзилган.

Ўқув қўлланма беш бобдан ташкил топган. Унинг биринчи бобида «Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усуллари» га оид умумий масалалар қисқача тарзда ёритилган. Иккинчи боб микроскопик, учинчи боб инфрақизил спектроскопик, тўртинчи боб термик ва нидҳот бешинчи боб рентгенографик таҳлилга бағишланган.

Ўқув қўлланмани ёзишда муаллиф ўзининг Тошкент кимё-технология институтининг «Силикат материаллар технологияси» кафедрасида узоқ вақт давомида талабаларга ўқиган маъруза материалларини асос қилиб олган.

Мазкур ўқув қўлланмани нашрга тайёрлашда фойдали маслаҳатлар ва танқидий фикр-мулоҳазалар билдирган акад. С.Т. Тўхтаев, т.ф.н. П.А. Арипов ва к.ф.д., проф. К.А. Ахмеровларга муаллиф самимий миннатдорчилик билдиради.

Ўқув қўлланма биринчи бор нашр қилинаётганлиги сабабли фойдаланувчиларнинг қуйидаги манзилга юборилган барча истак, фикр ва танқидий мулоҳазалари мамнуният билан қабул қилинади: 700011, Тошкент, Навоий кучаси, 32, ТошКТИ.

КИРИШ

Олий таълим йўналишлари ичида В 522400 — «Кимёвий технология» йўналишига кирувчи «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси», «Ноорганик моддалар технологияси» ва «Камёб, нодир ва тарқоқ металллар технологияси» муҳим ўринни эгаллайди.

Силикат ва қийин суюқланадиган материаллар технологияси — физикавий, физик-кимёвий, кимёвий ва биологик жараёнлар ёрдамида кўп мақсадларга мўлжалланган керамика, шишасимон ва боғловчи моддалар ҳамда электрон техникаси буюмларини олиш ва яратиш услублари, усуллари ва воситалари мажмуасини қамраб олувчи фан ва техника соҳасидаги йўналишдир.

Бу йўналиш бўйича бакалавр касб фаолиятлари доираси ва объектлари қуйидагилардан иборат: силикат ва қийин суюқланадиган буюмлар ва ашёлар; уларнинг таркиби ва хусусиятларини аниқловчи усуллар ва асбоблар; кўп мақсадларга мўлжалланган керамика, шиша ва боғловчи моддалар ва ашёлар олишда қўлланиладиган жиҳозлар, юқори самарали технологик жараёнлар ва саноат тизимлари, уларни бошқариш; атроф-муҳит ҳолатини баҳолаш услублари ва воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ҳамда транспорт таъсиридан атроф-муҳитни ҳимоялаш.

Силикат ва қийин суюқланадиган материаллар технологияси соҳаси бўйича бакалавр фундаментал, умумкасб ва махсус тайёргарликка мувофиқ равишда қуйидаги касбий фаолият турларини юритиши мумкин:

Ў технологик фаолият: цех, бўлим, участка технологи сифатида ишлаш; кўп мақсадларга мўлжалланган керамика, шишасимон ва боғловчи моддалар ишлаб чиқариш соҳаси бўйича ҳаракатдаги ишлаб чиқаришда участкани, цехни эксплуатация қилиш; хом ашё, ёрдамчи материаллар ва тайёр маҳсулотлар сифатини назорат қилиш, ана шу ишлаб чиқаришларни ташкил этиш ва такомиллаштириш бўйича технологик счимларни

ишлаб чиқиш; намунавий технологик жараёнларни қўллаш; технологик схемаларни таҳлил қилиш ва технологик кўрсаткичлар ҳисобини юритиш; ҳаракатдаги технологик жиҳозларнинг ишлашини таъминлаш, уларнинг ишга яроқлилигини сақлаш ва тиклаш;

Ў лойиҳавий фаолият: ностандарт ва намунавий технологик аппаратлар, ускуналар, жиҳозларни лойиҳалаш ва лойиҳа ҳужжатларини расмийлаштириш;

- илмий фаолият: янги моддалар ва ашёлар синтези соҳаларида илмий-тадқиқотлар ўтказиш; керамика (нафис, қурилиш, функционал ва машинасозлик керамикаси, чинни, сопол, иссиқлик ҳимояловчи ва ўта чидамли материаллар — шамот ва динас гиштлари, таркибига магний, хром, цирконий ва бошқа қийин эрувчан элементлар кирган буюмлар ва бошқалар), шишасимон (шиша, қийин суюқланидиган шиша, шиша толаси, толали оптика, лазер шишаси, люминисцент шишаси, ярим ўтказувчан шиша, ўта юқори ўтказувчан шиша, эмаль ва ҳимояловчи қатлам, шишакристалл материаллар ва бошқалар) ва боғловчи материаллар (цемент, асбоцемент буюмлари, гипсли ва оҳақли боғловчи, автоклав материаллар ва ҳоказолар) ҳамда электрон техникаси буюмлари кимёвий технологиясининг янги жараёнларини ишлаб чиқиш; ишлаб чиқариш ускуналарини моделлаштириш ва оптималлаштириш, янги яратилган технологик жараённи синаш ва тажрибалар ўтказиш; ишлаётган ва олинган моддалар ва ашёларнинг хоссаларини аниқлаш ва таҳлил этиш; патент қидируви ишларини олиб бориш ва адабиётлар таҳлилини ўтказиш.

Бакалавр B522400—«Кимёвий технология» йуналиши «Силикат ва қийин суюқланидиган материаллар технологияси» соҳаси бўйича магистратурада камида 2 йил муддатда қуйидаги мутахассисликлар бўйича ўқиш давом эттирилади:

- | | |
|----------|--|
| M 522412 | Ў Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар кимёвий технологияси |
| M 522413 | Ў Керамик ва оловбардош буюмлар кимёвий технологияси |
| M 522414 | Ў Шиша ва ситаллар кимёвий технологияси |
| M 522415 | Ў Боғловчи материаллар кимёвий технологияси |
| M 522424 | Ў Электрон техника буюм ва материаллари кимёвий технологияси |

Юқорида санаб утилган касбий фаолият турларини амалга оширишда, саноат корхоналарида чиқарилаётган маҳсулотларнинг хоссаларини урганишда, шунингдек, илмий-текширув ишларини кенг кўламда олиб боришда “Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари” фанининг роли жуда катта. Бу фанга оид ўзбек тилидаги китобларнинг камлиги туфайли ушбу ўқув қўлланмаси ёзилди.

Ўқув қўлланмада физик-кимёвий таҳлилининг микроскопия, рентгенография, инфрақизил спектроскопия, электрон микроскопия, термография ва бошқа усуллари ҳақидаги маълумотлар келтирилади. Усулларга оид маълумотлар беришда қуйидагиларга аҳамият берилган: усулларнинг кашф этилиш тарихи, уларнинг назарий асослари, ишлатиладиган асбобларнинг тузилиши ва ишлаш ҳолати, ҳисоблаш ҳамда усуллардан фойдаланишга асосланган мисоллар.

БИРИНЧИ БОБ

ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАҲЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

**1-§. Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривожлантиришда
жаҳон, Марказий Осиё ва Ўзбекистон олимларининг ҳиссаси**

Кириш қисмида қайд қилганимиздек, кимёвий модда, кам-ёб, тарқоқ ва нодир металллар, силикат ва зурғасуюлувчан материаллар ва уларни ташкил қилган айрим хом ашёларнинг кимёвий-минералогик таркибини мукаммал ўрганиш ва уларнинг вужудга келишини физик-кимёвий қонунлар асосида талқин этиш физик-кимёвий таҳлил усулларининг асосини ташкил қилади. Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривожлантиришда купгина ривожланган мамлакатларнинг олимлари катта ҳисса қўшишган. Масалан, микроскопия усули пайдо бўлишида италиялик Г.Галилей, германиялик И.Кеплар ва Лазо, голландиялик А.Левенгук, англиялик Р. Гук, франциялик Бертран, россиялик С.С. Федоров каби ўнлаб олимларнинг илмий изланишлари асос бўлди. Рентгенографик текшириш усулининг яратилишига немис физиги Рентген, инглиз физиклари ота-бола Брегглар, Лауэ, Шеррер каби олимлар асос солишди. Инфрақизил спектроскопия усули Брестер, Леон. Бер, Л.Н.Лазарев каби олимлар иши туфайли ривожланди. Термография усулининг ривож топишига Ле-Шателье, Де Кейзер, А.С. Курнаков, Л.Г. Берг каби жаҳон олимлари ҳисса қўшишди.

Физик-кимёвий таҳлил усуллари ривожиди Марказий Осиё давлатлари, шу жумладан, Ўзбекистон олимларининг хизматлари ҳам катта. Қозоғистон Фанлар Академиясининг ҳақиқий аъзоси С.Т. Сулейменов, фан докторлари Т.Абдувалиев, Б.О.Есимов, З.А.Естемесов, А.А.Мирзахўжаев, И.С.Аҳметов, Ўзбекистон Фанлар Академиясининг ҳақиқий аъзолари Ҳ.М.Абдуллаев, И.Ҳ.Ҳамрабоев, Н.А.Парпиев, М.Н.Набиев, С.Т.Тўхтаев, фан докторлари Н.А.Сирожиiddинов,

Х.Т.Шарипов, Б.И.Нудельман, А.А.Исмаилов, С.С.Қосимова, М.Ю.Юнусов, А.П.Иржақов, Д.Д.Ғуломов, Р.И. Абдуллаева, А.М. Эминов, Д.У. Тулаганов, М. Исқандарова ва бошқалар физик-кимёвий таҳлил усулларининг қўлланиши ва ривожланишига оид кўплаб мақолалар чоп этишди ва асарлар яратишди.

2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи

Физик-кимёвий таҳлил—тайёр маҳсулот олиш учун ишлаб чиқариш жараёнларида қўлланиладиган усул ва методлар (хом ашё, материал ёки ярим фабрикатларга ишлов бериш, аралаштириш, қўлиплаш, қўриштириш, қўйдириш каби жараёнлар орқали уларнинг ҳолати, шакли ва хусусиятини ГОСТ, ТУ каби техник шароитлар талаблари бўйича ўзгартириш) мажмуини тўла таъминловчи ва шу билан бирга технологик процессларнинг турли босқичларидаги назоратни ҳам ўз ичига олган кимёвий, физик-кимёвий ва физикавий омиллар йиғиндиси.

Физик-кимёвий таҳлилда шу кунга қадар инсониятга маълум бўлган барча асосий анализ методлари группасидан, чунончи кимёвий (вазн, ҳажм, колориметрик, газ ҳажмий ва бошқа), физик-кимёвий (электровазний, потенциометрик, амперометрик, полярографик, фотоколориметрик, хроматографик ва бошқа) ва физикавий (рентгеноспектрал, аланга фотометрияси, масса спектроскопик, люминесцент, активацион, магнит каби) анализ методларидан фойдаланилади.

Физик-кимёвий таҳлил маҳсулот ишлаб чиқарувчи корхона талабларидан келиб чиққан ҳолда бир қатор турларга ажралади. Унинг маркировка методида истеъмолчиларга узатиловчи тайёр материал кимёвий таркибининг маркаси ёки сиртида кўрсатилган таркиб ёки хоссага тўғри келиш-келмаслиги аниқланади. Тезлаштирилган ёки экспресс метод материал кимёвий таркиби ёки унга кирган бирор кимёвий модда миқдорини технологик жараён бўйича текширишда қўлланилади. Назорат ёки арбитраж методи таъминловчи муассаса билан истеъмолчи муассаса уртасида материалнинг кимёвий таркиби ёки бирор хосса-хусусияти (масалан, пишиқ ғишт ва портландцемент маркаси) тўғрисида келишмовчилик юз берган тақдирда утказилади.

Физик-кимёвий таҳлил кейинги вақтларда фан ва техниканинг турли соҳаларида кимёвий бирикма, минерал, тупроқ,

қурилиш материаллари, керамика хом ашёси ва бошқаларни текширишда кенг қўлланмоқда. Айниқса, саноатда технологик жараёнлар назорати ва материаллар анализида у жуда ҳам қўл келмоқда.

Силикат ва қийин суюқланувчи моддалар, табиий ва сунъий минераллар ҳамда кимёвий бирикмаларнинг тузилмалари, фазовий таркиблари, микротузилиши, иссиқлик таъсирида хоссаларини ўзгартиришлари физик-кимёвий текширишлар орқали аниқланади. Силикат моддалари асосида олинган барча маҳсулот тури, масалан, цемент кукуни, керамика буюми, шиша ва турли турдаги электрон материллари (цемент, шифер, гипс, оҳак, ғишт, оловбардош буюм, самарадор ғишт, кошин, қувур, ойна, шишакристалл, диэлектрик, ўтказгич ва бошқалар) нинг тузилиши ва хоссалари ҳам физик-кимёвий усулда текшириш орқали амалга оширилади.

Текшириладиган модда ёки минерални чуқур таҳлил этишда фақат бир ёки икки параметр маълумотлари бўйича чекланиб қолмасдан, балки уни комплекс равишда таҳлил этиш лозим. Олинган натижалар бир-бирини тўлдириб, текшириладиган объект ҳақида тўлиқ бир хулоса чиқаришга имкон беради.

Фаннинг биринчи ва асосий вазифаси физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усуллари талабаларга сингдиришдан иборат. Бунинг учун текшириладиган модда ёки минералнинг намуналарини тўғри тайёрлаш, қўлланиладиган усул талабларини тўғри бажариш лозим.

Анъанавий янги материаллар, янги технологиялар барпо этишда, қайтадан барпо этилган технологик жараёнда тажриба ишларни бажаришда тегишли таҳлилларни қўллаш, илмий-тадқиқот ишларни бажариш бўйича талабалар маҳоратини ошириш, ишлатиладиган хом ашёлар ҳамда олинладиган материаллар, маҳсулотларнинг кимёвий-минералогик таркиби, хоссалари, уларнинг хусусиятларини аниқлаш, таҳлил қилиш, шунингдек, патент излаш, адабиётлардаги маълумотларни тўплаш, ўрганиш ва бошқалар ҳам «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанининг асосий вазифалари қаторига киради.

Илмий таҳлилни саноатда қўллаш орқали ишлаб чиқариладиган маҳсулот сифати яхшиланади ва таннархининг арзонлашишига эришилади.

Х.Т.Шарипов, Б.И.Нудельман, А.А.Исмаилов, С.С.Қосимова, М.Ю.Юнусов, А.П.Иржаков, Д.Д.Ғуломова, Р.И. Абдуллаева, А.М. Эминов, Д.У. Тулаганов, М. Искандарова ва бошқалар физик-кимёвий таҳлил усулларининг қўлланиши ва ривожланишига оид кўплаб мақолалар чоп этишди ва асарлар яратишди.

2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи

Физик-кимёвий таҳлил—тайёр маҳсулот олиш учун ишлаб чиқариш жараёнларида қўлланиладиган усул ва методлар (ҳом ашё, материал ёки ярим фабрикатларга ишлов бериш, аралаштириш, қолиплаш, қуриш, куйдириш каби жараёнлар орқали уларнинг ҳолати, шакли ва хусусиятини ГОСТ, ТУ каби техник шароитлар талаблари бўйича ўзгартириш) мажмуини тўла таъминловчи ва шу билан бирга технологик процессларнинг турли босқичларидаги назоратни ҳам ўз ичига олган кимёвий, физик-кимёвий ва физикавий омиллар йиғиндиси.

Физик-кимёвий таҳлилда шу кўнга қадар инсониятга маълум бўлган барча асосий анализ методлари группасидан, чунончи кимёвий (вазн, ҳажм, колориметрик, газ ҳажмий ва бошқа), физик-кимёвий (электровазний, потенциометрик, амперометрик, полярографик, фотоколориметрик, хроматографик ва бошқа) ва физикавий (рентгеноспектрал, аланга фотометрияси, масса спектроскопик, люминесцент, активацион, магнит каби) анализ методларидан фойдаланилади.

Физик-кимёвий таҳлил маҳсулот ишлаб чиқарувчи корхона талабларидан келиб чиққан ҳолда бир қатор турларга ажралади. Унинг маркировка методида истеъмолчиларга узатиловчи тайёр материал кимёвий таркибининг маркаси ёки сиртида кўрсатилган таркиб ёки хоссага тўғри келиш-келмаслиги аниқланади. Тезлаштирилган ёки экспресс метод материал кимёвий таркиби ёки унга кирган бирор кимёвий модда миқдорини технологик жараён бўйича текширишда қўлланилади. Назорат ёки арбитраж методи таъминловчи муассаса билан истеъмолчи муассаса ўртасида материалнинг кимёвий таркиби ёки бирор хосса-хусусияти (масалан, пишиқ ғишт ва портландцемент маркаси) тўғрисида келишмовчилик юз берган тақдирда ўтказилади.

Физик-кимёвий таҳлил кейинги вақтларда фан ва техниканинг турли соҳаларида кимёвий бирикма, минерал, тупроқ,

қурилиш материаллари, керамика хом ашёси ва бошқаларни текширишда кенг қўлланмоқда. Айниқса, саноатда технологик жараёнлар назорати ва материаллар анализида у жуда ҳам қўл келмоқда.

Силикат ва қийин суюқланувчи моддалар, табиий ва сунъий минераллар ҳамда кимёвий бирикмаларнинг тузилмалари, фазовий таркиблари, микротузилиши, иссиқлик таъсирида хоссаларини ўзгартиришлари физик-кимёвий текширишлар орқали аниқланади. Силикат моддалари асосида олинган барча маҳсулот тури, масалан, цемент кукуни, керамика буюми, шиша ва турли турдаги электрон материллари (цемент, шифер, гипс, оҳак, гишт, оловбардош буюм, самарадор гишт, кошин, қувур, ойна, шишакристалл, диэлектрик, ўтказгич ва бошқалар) нинг тузилиши ва хоссалари ҳам физик-кимёвий усулда текшириш орқали амалга оширилади.

Текшириладиган модда ёки минерални чуқур таҳлил этишда фақат бир ёки икки параметр маълумотлари бўйича чекланиб қолмасдан, балки уни комплекс равишда таҳлил этиш лозим. Олинган натижалар бир-бирини тўлдириб, текшириладиган объект ҳақида тўлиқ бир хулоса чиқаришга имкон беради.

Фаннинг биринчи ва асосий вазифаси физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усулларини талабаларга сингдиришдан иборат. Бунинг учун текшириладиган модда ёки минералнинг намуналарини тўғри тайёрлаш, қўлланиладиган усул талабларини тўғри бажариш лозим.

Анъанавий янги материаллар, янги технологиялар барпо этишда, қайтадан барпо этилган технологик жараёнда тажриба ишларни бажаришда тегишли таҳлилларни қўллаш, илмий-тадқиқот ишларни бажариш бўйича талабалар маҳоратини ошириш, ишлатиладиган хом ашёлар ҳамда олинладиган материаллар, маҳсулотларнинг кимёвий-минералогик таркиби, хоссалари, уларнинг хусусиятларини аниқлаш, таҳлил қилиш, шунингдек, патент излаш, адабиётлардаги маълумотларни тўплаш, ўрганиш ва бошқалар ҳам «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанининг асосий вазифалари қаторига киради.

Илмий таҳлилни саноатда қўллаш орқали ишлаб чиқариладиган маҳсулот сифати яхшиланади ва таннархининг арзонлашишига эришилади.

дир. Бундай материалларни текшириш усуллари ҳам турлича бўлиб, уларни икки катта гурпуага ажратиш мумкин:

1. Оптика усуллари. Бу гурпуага умумий номи кристаллооптика деб аталувчи иммерсион таҳлил, металлографик таҳлил, монокристаллар таҳлили кирган бўлиб, улар махсус оптика асбоблари-поляризацион ва металлографик микроскоплар орқали олиб борилади.

2. Кимёвий ва физик-кимёвий усуллар. Буларга петрографиянинг петрокимё, петрургия, петрофизика каби соҳалари киради. Бу усуллар ёрдамида силикат ва зўргасуюлувчан материалларининг таркибини мукамал ўрганиш ва уларнинг пайдо бўлиши, хосса-хусусиятларини физик-кимёвий қонунлар нуқтаи назаридан талқин этиш мумкин. Ҳозирги вақтда минералогик-геокимёвий текшириш усули номи билан аталувчи тадқиқотларни ўтказишда спектрал, рентген спектрал ва радиометрик анализ усулларидадан фойдаланилади.

Петрокимё усули ёрдамида жинс ҳосил қилувчи элементларнинг тақсимланиши ҳисобга олинади. Минералогик - геокимё усулида эса жинслар таркибига кирган тарқоқ ҳолда ва миқдори оз бўлган минераллар аниқланади. Рентгеноэлектрон микроанализ методи ёрдамида эса минералларнинг таркиби тез ва сифатли аниқланади. Петрургия усулида сунъий маҳсулотлар ўрганилиб, уларнинг табиий минераллар генезисига ўхшаш-ўхшамаслиги аниқланади. Петрофизика усулларида эса турли аппаратлар ёрдамида тектоник процесслар, уларнинг зичлиги, электр, иссиқлик ҳамда сейсмик тўлқинларнинг ўтказувчанлиги каби хусусиятлари ўрганилади.

Силикат моддалар, бирикмалар ва материалларни физик-кимёвий таҳлилининг асосий усуллари қаторига киради:

- 1) микроскопия;
- 2) электрон микроскопия;
- 3) рентгенография;
- 4) термография;
- 5) ИҚ спектроскопия;
- 6) ядро магнит резонанси (ЯМР);
- 7) электрон парамагнит резонанси (ЭПР);
- 8) электронография;
- 9) хромотография;
- 10) магнетокимё;
- 11) изотропия;
- 12) кимёвий анализ;

13) спектрал анализ;

14) бошқа усуллар.

Биринчи - бешинчи усуллар энг кўп қўлланиладиган усуллар қаторига киради.

Хом ашё, маҳсулот ва бошқа ноорганик моддаларнинг кимёвий, минералогик таркиби, микро ва макротузилиш, белгили хосса ва хусусиятларини аниқлашда энг қадимий микроскопияга оид усуллар жуда қўл келади.

Цемент ва шифер, керамика ва оловбардош буюм, шиша ва шиша-кристалл ишлаб чиқаришда маҳсулотларнинг хоссалари ва сифатини аниқлашда эса микроскопия усулидан кенг қўламда фойдаланилган.

Фазалар сони, нималиги ва миқдорини аниқлаш, кристалларининг текстураланганлик даражаси, ўлчамини аниқлаш ва документал фиксация қилишда рентгенографик усулга тенг келадиган бошқа усул йўқ.

Термография усули моддаларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процесларни ўрганади. Иссиқтик ютувчи ва иссиқлик чиқарувчи эндо ва экзоэффектларни фиксация қилиш орқали моддада содир этилган ўзгаришлар (парчаланиш, бирикиш, полиморфик ўзгариш ва ҳоказо) ҳарорати аниқланади.

Термографик текширишларда эндотермик реакциялар дифференциал эгри чизиги абсцисса ўқидан пастга йўналтирилган, экзотермик реакциялар учун эса пол чизигига нисбатан юқорига қараб оғган бўлади. Шу жараёнларнинг бошланиш, максимал равишда ўтиш ва туталланиш температуралари ўта аниқ аниқланади. Лекин бўлиб ўтган ўзгариш моҳиятини аниқлаш учун яна рентгенография, микроскопия каби усулларга мурожаат қилинади.

Кимёвий модда, камёб, тарқоқ ва нодир металл, силикат ва зўргасуюлувчан моддалар таҳлилини ўтказишда инфрақизил спектроскопия усули ҳам кенг қўлланилади. Бу ўринда кимёвий бирикмалар инфрақизил спектрнинг баъзи частоталарида уларни танлаб ютиш хусусиятига эга эканлиги қўл келди. ИҚ спектрнинг кўриниши модда табиаи, молекула ҳосил бўлиш шарт-шароитлари, улар орасидаги масофа ва кимёвий боғланиш турига боғлиқ.

Модда тузилиши, ундаги физик ва кимёвий жараёнларни узунлиги 10^{13} - 10^7 А ёки 10^9 - 10^{10} мкм бўлган радио тўлқинларнинг резонанс ютилиши асосида ҳам ўрганиш метод-

лари мавжуд. Радиоспектроскопия номи билан аталувчи бундай методлар қаторига ядро магнит резонанси (ЯМР), электрон парамагнит резонанси (ЭПР), циклотрон резонанс (ЦР) кабилар кирган бўлиб, улар оптик спектроскопия, инфрақизил спектроскопия ва мессбауэр γ -спектроскопиясидан ютилаётган квант энергиянинг кичиклиги билан фарқ қилади. Жумладан, ЭПР асосида электронларда юз берадиган резонанс ҳодисаси ётган бўлиб, якка электронли орбитаси ёки орбиталари бўлган атом ёки молекула магнит хусусиятига эга эканлиги ва жуфтланмаган электронларнинг магнит моментлари билан ташқи магнит майдони H нинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган энергия сатҳлари орасидаги ўтишларга асосланган радиотўлқинларнинг резонанс ютилиши ётади.

Номлари юқорида қайд этилган усулларнинг баъзиларини алоҳида-алоҳида қилиб ажратмай умумий кимёвий анализ усуллари қаторига киритиш мумкин. Уларга комплексометрия, фотокалориметрия, ион алмашилиш, потенциометрик титрлаш, полярография, анъанавий фотометрия, люминесценция кирази.

5-§. Физик-кимёвий, термик ва бошқа таҳлил усуллари ёрдамида аниқланадиган кўрсаткичлар.

Физик-механикавий таҳлил орқали аниқланадиган физик-механик кўрсаткичлар: 1. Зичлик-ўлчов бирлиги - кг/м^3 да. 2. Мустаҳкамлик. Чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси - МПа да. сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси - МПа да. 3. Эластиклик модули - $\text{кг/см}^2 \times 10^{-6}$. 4. Юнг модули - $\text{кг/см}^2 \times 10^5$. 5. Қаттиқлик ва микроқаттиқлик - кг/мм^2 . 6. Мўртлик. Стандарт намуналар бузилиши - кг см . Зарба ёпишқоқлиги - кг см/см^2 . Мўртлик кўрсаткичи - кг см/см^3 . 7. Едирувчанлилик - % да.

Термик жараёнлар таҳлили орқали аниқланади: 1. Иссиқлик сифими - кал/г град . 2. Иссиқлик ўтказиш коэффиенти - $\text{кал/см сек град ёки ккал/м час. град}$. 3. Ҳарорат ўтказиш коэффиенти - $\text{см}^2/\text{сек ёки м}^2/\text{соат}$. 4. Иссиқлик кенгайиш коэффиенти - $1/\text{град} \times 10^{-7}$. 5. Иссиққа чидамлилик - $^{\circ}\text{C}$. 6. Оловбардошлик - $^{\circ}\text{C}$. 7. Кристалланиш - $^{\circ}\text{C}$.

Моддаларнинг электр таҳлилига асосланган хоссалари: 1. Ҳажмий электр ўтказувчанлик - ом^{-1} , см^{-1} . 2. Юзали электр ўтказувчанлик - ом^{-1} . 3. Диэлектрик ўтказувчанлик. 4. Диэлектрик йўқотувчанлик. 5. Электр мустаҳкамлик - кв/см .

Модданинг оптик таҳлиliga асосланган хоссалари: 1. Нур ўтказувчанлик. 2. Нур ютувчанлик. 3. Нур қайтарувчанлик. 4. Нур синиши. 5. Дисперсия. 6. Нурнинг қўш синиши. 7. Оқлик.

Модданинг кимёвий турғунлиги таҳлиliga асосланган хосса-хусусиятлар: 1. Сувга барқарорлик. 2. Кислотага бардошлик. 3. Ишқорга турғунлилик. 4. Коррозиябардошлик.

Бирикмаларнинг технологик таҳлиliga асосланган хоссалари: 1. Намлик - % да. 2. Сув шимиш- % да. 3. Пластиклик - % да. 4. Киришиб кетиш - % да. Ҳавода киришиб кетиш. Олов таъсирида киришиб кетиш. 5. Ёпишқоқлик. 6. Юза тортилиши. 7. Қўлланиш қобилияти.

Такрорлаш учун саволлар

1. В 522400 — «Кимёвий технология» Олий таълим йўналишининг асосий соҳаларидан бири «Силикат ва зўргасуюлувчан материаллар кимёвий технологияси» соҳасининг моҳиятини тушунтириб беринг.

2. Физик-кимёвий таҳлил таърифини келтиринг ва унинг технологик жараёнларни бошқаришдаги ролини ёритиб беринг.

3. «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанининг вазифаси ва мазмуни қандай?

4. «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанида қандай асосий қоида ва тушунчалар мавжуд?

5. Физик-кимёвий таҳлилининг қандай асосий усуллари бор?

6. Нима учун илмий-тадқиқотлар олиб боришда бир нечта усулнинг бир вақтида қўлланилиши зарур?

7. Физик-механикавий, термик ва бошқа жараёнларни ўрганишда қўлланиладиган яна қандай усуллари биласиз?

8. Электромагнит нурларининг тури ва уларга таалуқли тўлқин узунликларини келтиринг.

9. Ёруғлик нурларининг тури ва уларга таалуқли тўлқин узунликларини λ ва мкм ўлчовларида беринг.

10. Физик-кимёвий таҳлил усуллари ривожлантиришда жаҳон, Марказий Осиё ва Ўзбекистон олимлари қандай ҳисса қўшишган?

11. Марказий Осиё олимларидан кимлар қимматбаҳо тошларнинг таҳлили устида иш олиб боришган ва юксак натижаларга эришган?

ИККИНЧИ БОБ

МИКРОСКОПИК ТАҲЛИЛ

6-§. Микроскопик текшириш усули аҳамияти ва ривож

Анорганик моддалар кимёси ва технологиясида кимёвий моддаларнинг хоссалари ва сифатини урганишда кенг қўлланиладиган қадимий усул микроскопиядир. Микроскопия илмий-текшириш ишлари олиб боришда микроскопни қўллаш ва микроскопик препаратлар ёрдамида жуда кичик, майда, фақат микроскоп билангина қўринадиган заррачаларнинг специфик хосса-хусусиятларини аниқлашга қаратилган усулдир. У аниқ кимёвий методлардан фойдаланиб, жуда оз миқдордаги моддаларни анализ қилиш имконини беради.

Микроскопия усули оптика қонунларига асосланган бўлиб, у ҳақидаги илк маълумотлар эраимиздан аввалги IV-II асрларда яшаган Аристотел, Евклид ва Птолемей асарларида учрайди. Катталаштирувчи шиша ёки лупани эса бу усулнинг энг бирламчи ва ўта содда асбоби деб қараш мумкин. Эраимизнинг XI асрида яшаган ва Европада Алхазен номи билан аталган араб олими Ибн Ал-Хайтан, XIII асрда тадқиқотлар олиб борган Роджер Бэкон, XVI аср бошида яшаган италиялик rassom Леонардо да Винчи фотометрия назарияси ва амалиётига асос солишди. Оптика асбобларини кашф этиш ва ясаш эса XVII аср бошларига тўғри келади. Жумладан, 1609 й. италиялик олим Галилео Галилей томонидан катталаштирувчи труба - дурбин, 1611 й. немис олими Иоганн Кеплер томонидан телескоп, 1638 й. У. Гаскойн томонидан оқуларли микрометр яратилди.

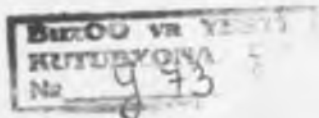
Майда объектларни кўрсатувчи маъносини англатувчи "микроскоп" термини ҳаётга 1646 й. немис олими А. Кирхер ва поляк астрономи И. Гавелия томонидан татбиқ этилди. Аммо микроскопия усулининг "отаси" сифатида бутун дунёда голландиялик А. Левенгук ва англиялик тадқиқотчи Р. Гук ҳисобланади. А. Левенгук ўз қўли билан ясаган микроскоп орқали инсоният тарихининг оламшумул ихтиросини яратади.

У сув томчиларида шу давргача маълум бўлмаган жонли модда-микроблар борлигини аниқлаб, янги фан “микробиология” га асос солди. Унинг тадқиқотлари француз олими Л.Пастор томонидан давом эттирилди ва натижада турли касалликларнинг пайдо бўлиши ва тарқалишида микроблар асосий сабабчи эканлиги исботлаб берилди. Гук эса узи яратган нурли микроскоп орқали ўсимлик ва ҳайвонларнинг ҳужайрали тузилишига эга эканлигини кашф этди. Умуман олганда, юз йилча давом этган бу даврда микроскопдан кенгроқ фойдаланилди.

XVIII аср бошларига келиб микроскоп орқали кристаллар дунёсининг тузилиши ўргана бошланди, натижада Ўрта Осиё (Ўзбекистон) халқларидан чиққан хоразмлик буюк олим, математик ва астроном Беруний (972-1048) нинг “Қимматбаҳо тошлар”, бухоролик Абу Али ибн Сино (980-1037) нинг “Тошлар ҳақидаги трактат” ва бошқа олимлар асарларида келтирилган минераллар тавсифи тасдиқ топди. Даниялик олим Эразма Бартолин 1669 й. ёруғлик нурини синдириш кўрсаткичи кристалларда иккита бўлиши мумкинлиги, француз муҳандиси Этьен Малюс 1808 й. нурнинг қутбланиши, англиялик физик Уильям Никол қутбланувчи призма, англиялик олим Дэвид Брюстер ўз номи билан аталувчи бурчакларга оид қонунни кашф этиб, микроскопия усули назарияси ва асбобларини такомиллаштиришга салмоқли ҳисса қўшдилар.

Даниялик олим Э.Бартолин томонидан нурнинг поляризацияга учраши кашфиёт этилганидан икки аср кейин, яъни 1850 йили англиялик оптик Г.Сорби нурли микроскопда поляризация нурни ишлатиш мумкинлигини аниқлади. Шу билан нурли микроскоп имкониятлари жуда кенгайди.

Микроскопик таҳлилнинг такомиллашиши кристаллографиянинг ривож топишига олиб келди. 1669 йили даниялик олим Н.Стенсен томонидан кристалларда тегишли бурчакларнинг доимийлиги, 1783 йили эса француз Рене Жюст Гайюи кристаллар тузилишининг умумий назарияси, 1813 йили англиялик кимёгар В.Волластон кристалл панжараси тушунчасини яратдилар. Бу тушунчанинг ривожланиши туфайли 1866 йили француз олими О.Бравэ кристаллар дунёсида 14 элементар ячейкаларнинг мавжудлигини аниқланди. И.Гессель тадқиқотлари туфайли 1831 йилда кристалларнинг 32 симметрияси, 1891 йили эса рус олими Е.С. Федоров ва немис математиги А.Шенфлис томонидан 230 хил симметриянинг фазовий группалари борлиги тасдиқланди.



7-§. Кристаллооптика усули

Табийй ва сунъий кимёвий бирикмалар, хом ашё, материал ва буюмлар, минерал ва композицияларнинг оптик курсаткичларини уларнинг кристалл шакллари, таркиби ва симметрия қонуниятларига боғлиқ ҳолда урганувчи фан соҳаси кристаллооптика деб аталади. Бу соҳа физика, кристаллография ва минералогия фанлари билан боғлиқдир.

Кристаллооптикада кристалл тузилишига эга булган силикатлар ва зурғасуюлувчан материаллардан нур тулқинларининг утиш ҳодисалари урганилади. Унда тадқиқотлар нур ва унинг турли шароитда тарқалишини кузатиш, тегишли хулоса чиқариш орқали олиб борилади.

Нур тулқинлари электромагнит тулқинларидан бирмунча қисқалиги билан фарқланади. Инсон узунлиги 400-760 ммк га тенг булган нур тулқинларининг кура олади. Электромагнит тулқинлари электр ($E-E_1$) ва магнит ($M-M_1$) тулқинларидан иборат. Бу тулқинлар бир-бирига ва шу билан бирга ёруғлик энергиясининг тарқалиш йўналишига перпендикулярдир. Мана шу ёруғлик энергияси тарқалалиган йўналиш нур деб аталади (1-расм). Кристаллооптика усулида нур тарқалишини кузатиш орқали олиб борилади.

Микроскопик таҳлилда нурнинг минераллардан утиши ва синиши ҳодисаси катта аҳамиятга эга. Булар орқали қуйидаги хусусиятлар аниқланади:

1. Нур синдирилиш ва синдирилиш курсаткичи- N_g , N_m ва N_p .

2. Нурнинг иккиланиб синдириш кучи — (N_g-N_p) ёки ΔN .

3. Нур поляризацияси — бир текис поляризацияланган нурларни ҳосил қилувчи ва микроскопик столчаси остидаги поляризатор орқали бажарилади.

4. Нур интерференцияси — интерференцион рангларнинг пайдо бўлиши.

5. Нисбий микдорни аниқлаш—окуляр сетка ва интеграцион столча орқали.

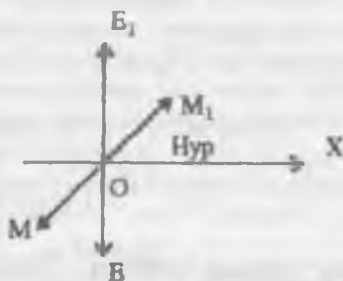
6. Кимёвий бирикма ва минераллар рельефи — Бекке чизиги.

7. Плеохроизм — модданинг ютиш (абсорбциялаш) қобилиятлари.

8. Минерал ўқлари — N_g ва N_p ўқлари.

9. Моддаларнинг узайиш белгиси — мусбат ва манфий узатиш.

10. Сўниш бурчаги — тўғри ва қия синиш ва бошқа хусусиятлар.

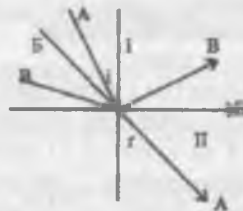


1-расм. Нур ва электромагнит тўлқинларининг йўналиши.

$E - E_1$ — электр тўлқинлари ва $M - M_1$ — магнит тўлқинлари



2-расм. А ва Б нурларининг камзич муҳитдан зич муҳитга ўтишидаги синиши. Бурчак $i > r$, $v_1 > v_2$ ва $n_1 < n_2$.



3-расм. А, Б ва В нурларининг зич муҳитдан камзич муҳитга ўтишидаги синиши ва қайтарилиши. Бурчак $i < r$, $v_1 < v_2$ ва $n_1 > n_2$.

8-§. Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар

1. Нур синдириш кўрсаткичи (n ёки N). Нур синдириш кўрсаткичи Снеллиус ва Ньютон текширишлари бўйича нур тушиш бурчаги синусининг нур синиш бурчаги синуси нисбатига айтилади. У биринчи муҳитдаги ёруғлик тезлигининг иккинчи муҳитдаги ёруғлик тезлиги нисбатига тенг.

$$n_{\text{абсолют}} = \sin i / \sin r = v_{\text{бушлиқ}} / v_{\text{муҳит}}$$

бунда: $n_{\text{абсолют}}$ - маълум сон бўлиб, у нур синдириш кўрсаткичи деб аталади; v_1 ва v_2 - тушиш ва синдирилиш муҳитларидаги нурнинг тезлиги.

Нисбий нур синдириш кўрсаткичи деб, икки шаффоф оптик муҳитда ёруғлик тарқалиш тезлигининг (ёки $\lambda=583,3$ нм, 15°C ва симоб устунининг 760 мм тенг бўлган тулқин узунлигидаги электромагнит тебраниш) нисбатига айгилади

Агар иккинчи муҳит сифатида ҳаво танланса, у ҳолда

$$n_{\text{абсолют}} = n_{\text{модда}} \times n_{\text{ҳаво}} = n_{\text{модда}} \times 1,0003$$

бунда, $n_{\text{ҳаво}} = v_{\text{бушлик}} / v_{\text{ҳаво}} = 1,000275 = 1,0003.$

2. Симметрия ҳақида тушунча. Симметрия элементлари (симметрия ўқлари, симметрия текислиги, симметрия маркази ёки инверсия).

Симметрик хусусият деганда биз мос тушиш, яъни кристаллнинг ўз-ўзига баъзи фазовий айлантиришда мос тушиши тушунилади.

а) симметрия ўқлари

б) акс тасвир

в) марказли симметрик тасвир.

Бу кўрсаткичлар бўйича ҳамма кристаллар етти (юқори - 1, ўрта -2-4 ва қуйи -5-7) сингонияга бўлинади:

1) кубик $a=b=c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Мисол: Алмаз —C. Сингонияси — куб, фазавий группаси — $Fd3m$, $z=8$, $a=3.567 \text{ \AA}$, $b=3.567 \text{ \AA}$, $c=3.567 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$.

Альмандин — $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$. Сингонияси — куб, фазавий группаси — $Ia3d$, $z=8$, $a=11.53 \text{ \AA}$, $b=11.53 \text{ \AA}$, $c=11.53 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

2) гексагонал $a=b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ ва $\gamma = 120^\circ$.

Мисол: Берилл — $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Сингонияси—гексагонал, фазавий группаси— $R6/mcc$, $z=2$, $a=9.20 \text{ \AA}$, $b=9.20 \text{ \AA}$, $c=9.22 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=120^\circ$;

3) тетрагонал $a=b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Мисол: Геленит— $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$. Сингонияси—тетрагонал, фазавий группаси— $P42_1m$, $z=2$, $a=7.738 \text{ \AA}$, $b=7.738 \text{ \AA}$, $c=5.045 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

4) тригонал ёки ромбоэдрик $a=b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$.

Мисол: Виллемит— Zn_2SiO_4 . Сингонияси—тригонал, фазавий группаси— $R\bar{3}$, $z=18$, $a=13.94 \text{ \AA}$, $b=13.94 \text{ \AA}$, $c=9.31 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=120^\circ$;

5) ромбик $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Мисол: Монтичеллит — CaMgSiO_4 . Сингонияси—ромбик, фазавий группаси— Pnma , $z=4$, $a=4.815 \text{ \AA}$, $b=11.08 \text{ \AA}$, $c=6.37 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

6) моноклин $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$ ва $\gamma \neq 90^\circ$.

Мисол: Диопсид— $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$. Сингонияси—моноклин, фазавий группаси— C2/c , $z=4$, $a=9.73 \text{ \AA}$, $b=8.91 \text{ \AA}$, $c=5.25 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=105.83^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

7) триклин $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.

Мисол: Анортит— $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Сингонияси—триклин, фазавий группаси— P1 , $z=4 \times 2$, $a=8.18 \text{ \AA}$, $b=12.88 \text{ \AA}$, $c=7.08 \times 2 \text{ \AA}$, $\alpha=93.165^\circ$, $\beta=115.85^\circ$ ва $\gamma=91.215^\circ$.

Улар ўз навбатида симметрия бўйича 32 классни, элементар трансляциялари ҳаракати бўйича 14 турли Бравэ панжарасини ва кристаллар классификацияси бўйича 230 Федоров группасини беради.

3. Кристалларнинг иккиланиб синдириш кучи. Кристалл сингониялари турига қараб ҳар турли булади:

1. Юқори кубик сингонияда - нурни иккиланиб синдириш кучи кузатилмайди.

2-4 - ўртача сингонияда бир ўқли, нурни иккиланиб синдириш кучи мавжуд. Улардан бири n_o ёки N_o деб белгиланади. У нур тарқалиши қонунларига бўйсунди ва ҳамма йуналишларида бир хил тезликка эга.

Иккинчи нур ўзининг нур синдириш кўрсаткичини ўзгартирадиган йуналишга эга бўлиб, n_e ёки N_e ҳарфлари билан белгиланади.

5-7. Қуйи сингонияда - N_g , N_m ва N_p мавжуд бўлиб, бунда $\Delta N = N_e - N_p$ бўлади.

4. Чўзиқ кристалларнинг сўниш тавсифи. Ёқилган анализаторлар билан ҳар 90° да қайтарилади.

Тўғри сўниш 5 та сингония - кубик, гексагонал, тетрагонал, тригонал, ромбик сингониялар учун ҳосилдир.

Тўғри ва эгри сўниш фақат 1 сингония - моноклинга тааллуқли.

Фақат эгри сўниш 1 сингония триклин кристалларига хос.

5. Узийиш белгиси. Кристаллар мусбат - агар кристаллнинг узунлиги буйича нур тебраниши ҳосил бўлиб, нур синдириш кўрсаткичи N_y катта бўлса; манфий - агар N_p кристалл узунлиги буйича катта бўлса.

Кристаллар формаси тўғри бўлмаган донсимон ёки ажралиш дарзи йўқ доначалар кўринишида бўлса, бу хусусиятни аниқлаб бўлмайди.

6. Кристаллнинг оптик белгиси. Бу кўрсаткичлар мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Бир ўқли мусбат кристалларда n_o % n_c , яъни бу ерда $n_o = n_p$

ва $n_c = n_y$ бўлади. Манфий белгили кристалларда эса $n_o = n_y$ ва $n_c = n_p$ бўлади.

7. Оптик ўқларнинг бурчак катталиги. Бу кўрсаткичлар 2V ёки 2E ҳолатида бўлади.

8. Габитус. Турли-туман минераллар габитуси, яъни ташқи кўриниши бир-биридан тузилишига кўра фарқланади:

кубик сингонияли кристаллар - изометрик ва квадрат кўринишида;

гексагонал сингонияли кристаллар - олтибурчак, думалоқ доначалар ва призматик кўринишида;

тетрагонал сингонияли кристаллар - квадрат, жадвал, думалоқ доначалар, саккизқиррали ва пластинкасимон кўринишида;

тригонал сингонияли кристаллар - учбурчак доначалар шаклида;

ромбик сингонияли кристаллар - ромба, брусок шаклида ва тўғри бурчакли кўринишида;

моноклин сингонияли кристаллар - тангачасимон, тўғри бурчакли, брусок шаклида, игнасимон ва толали кўринишида;

триклин сингонияли кристаллар - шакли аниқ бўлмаган доначалар кўринишида бўлади.

9. Кристалларнинг ўлчамлари. Кристалларнинг ўлчамлари ўта кичик ҳолатида бўлиши мумкин. Бу ҳолат кўпроқ поликристалларга тааллуқли. Агар кристаллар монокристалл ҳолатида бўлса, ўлчамлари катта бўлади.

10. Кристалларнинг ажралиш қобилиятлари. Ҳамма минераллар ҳам ажралиш қобилиятига эга эмас. Булганда ҳам аниқлиги, йўналишлари сони ва улар орасидаги бурчакларнинг катта-кичиклиги билан фарқ қилади. Шунинг учун минералларнинг бу хусусияти ҳам муҳим диагностик белгилардан бири ҳисобланади.

11. Қўшалоқликлар. Икки ёки ундан кўп бир хил кристалларнинг қонуний бирикишига қўшалоқлар дейилади. Оддий қўшалоқ икки индивиднинг бирикишидан иборат. Полисинтетик қўшалоқ кристалларнинг параллел текисликлари бўйлаб ўсишидан, панжаралик қўшалоқлик икки томон йўналишдаги полисинтетик қўшалоқларнинг бирикишидан, секторсимон қўшалоқли тўрт ёки олти қисмларга бўлинган айлана сектор қўшалоқликларидан ташкил топади.

12. Минераллар ранги ва плеохроизм. Баъзи-бир анизотроп минералларнинг спектр қисмларини ҳар хил кристаллографик йўналишлар бўйича ютиш қобилиятига плеохроизм деб аталади. Минералларда бу қобилиятнинг бор-йўқлиги поляризатор билан аниқланади. Плеохроизмга мансуб кристаллар ўз ранги ёки рангининг интенсивлигини нур тебранишлари таъсирида ўзгартиради. Рангнинг тўқлиги модданинг ютувчанлик қобилияти (абсорбция) ва кристалларнинг қалинлигига боғлиқ. Шунинг учун петрографик шлифларда (уларнинг қалинлиги ҳаммавақт 0,027-0,30 мм га тенг) бу ҳолат яхши сезилмайди. Иммерсион препаратларда эса улар қалинроқ ва шу туфайли сезилувчан бўлади.

9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари

Микроскопик таҳлилдан қуйидагиларни билиш мумкин:

- 1) кристалларнинг идентификацияси учун уларнинг оптик константаларини ўлчаш йўли билан ($N_g, N_p, \Delta N$ ва бошқалар);
- 2) кристалларнинг тузилиши, кристаллокимёвий хусусиятини дастлабки босқичда аниқлаш учун;
- 3) хом ашё материаллари ва уларни куйдириш асосидаги маҳсулотларнинг шакл ва ўлчамларини ўрганиш учун;
- 4) кристалларнинг ўсиш жараёни ва уларнинг бузилиши;
- 5) моддалардаги фазовий ўзгаришлар;
- 6) диффузия жараёни;
- 7) ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларидаги нуқсонлар ва маҳсулот сифатини ўзгариши (керамик материаллар ва клинкерни пишган — пишмаганлиги, гишт ҳамда бетонлар тузилмасининг етилган-етилмаганлиги) сабабларини аниқлаш учун;
- 8) фазалар миқдорини аниқлаш учун;
- 9) модданинг бир ёки кўп таркиблиги;
- 10) моддаларнинг акс тасвирлаш хусусияти;

5. Узайиш белгиси. Кристаллар мусбат - агар кристаллнинг узунлиги бўйича нур тебраниши ҳосил бўлиб, нур синдириш кўрсаткичи N_g катта бўлса; манфий - агар N_p кристалл узунлиги бўйича катта бўлса.

Кристаллар формаси тўғри бўлмаган донсимон ёки ажралиш дарзи йўқ доначалар кўринишида бўлса, бу хусусиятни аниқлаб бўлмайди.

6. Кристаллнинг оптик белгиси. Бу кўрсаткичлар мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Бир ўқли мусбат кристалларда $n_o \%$ n_c , яъни бу ерда $n_o = n_p$ ва $n_c = n_g$ бўлади. Манфий белгили кристалларда эса $n_o = n_g$ ва $n_c = n_p$ бўлади.

7. Оптик ўқларнинг бурчак катталиги. Бу кўрсаткичлар $2V$ ёки $2E$ ҳолатида бўлади.

8. Габитус. Турли-туман минераллар габитуси, яъни ташқи кўриниши бир-биридан тузилишига кўра фарқланади:

кубик сингонияли кристаллар - изометрик ва квадрат кўринишида;

гексагонал сингонияли кристаллар - олтибурчак, думалоқ доначалар ва призматик кўринишида;

тетрагонал сингонияли кристаллар - квадрат, жадвал, думалоқ доначалар, саккизқиррали ва пластинкасимон кўринишида;

тригонал сингонияли кристаллар - учбурчак доначалар шаклида;

ромбик сингонияли кристаллар - ромба, брусок шаклида ва тўғри бурчакли кўринишида;

моноклин сингонияли кристаллар - тангачасимон, тўғри бурчакли, брусок шаклида, игнасимон ва толали кўринишида;

триклин сингонияли кристаллар - шакли аниқ бўлмаган доначалар кўринишида бўлади.

9. Кристалларнинг ўлчамлари. Кристалларнинг ўлчамлари ўта кичик ҳолатида бўлиши мумкин. Бу ҳолат кўпроқ поликристалларга тааллуқли. Агар кристаллар монокристалл ҳолатида бўлса, ўлчамлари катта бўлади.

10. Кристалларнинг ажралиш қобилиятлари. Ҳамма минераллар ҳам ажралиш қобилиятига эга эмас. Бўлганда ҳам аниқлиги, йўналишлари сони ва улар орасидаги бурчакларнинг катта-кичиклиги билан фарқ қилади. Шунинг учун минералларнинг бу хусусияти ҳам муҳим диагностик белгилардан бири ҳисобланади.

11. Қўшалоқликлар. Икки ёки ундан кўп бир хил кристалларнинг қонуний бирикишига қўшалоқлар дейилади. Оддий қўшалоқ икки индивиднинг бирикишидан иборат. Полисинтетик қўшалоқ кристалларнинг параллел текисликлари бўйлаб ўсишидан, панжаралик қўшалоқлик икки томон йўналишдаги полисинтетик қўшалоқларнинг бирикишидан, секторсимон қўшалоқли тўрт ёки олти қисмларга бўлинган айлана сектор қўшалоқликларидан ташкил топади.

12. Минераллар ранги ва плеохроизм. Баъзи-бир анизотроп минералларнинг спектр қисмларини ҳар хил кристаллографик йўналишлар бўйича ютиш қобилиятига плеохроизм деб аталади. Минералларда бу қобилиятнинг бор-йўқлиги поляризатор билан аниқланади. Плеохроизмга мансуб кристаллар ўз ранги ёки рангининг интенсивлигини нур тебранишлари таъсирида ўзгартиради. Рангининг тўқлиги модданинг ютувчанлик қобилияти (абсорбция) ва кристалларнинг қалинлигига боғлиқ. Шунинг учун петрографик шлифларда (уларнинг қалинлиги ҳаммавақт 0,027-0,30 мм га тенг) бу ҳолат яхши сезилмайди. Иммерсион препаратларда эса улар қалинроқ ва шу туфайли сезилувчан бўлади.

9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари

Микроскопик таҳилдан қуйидагиларни билиш мумкин:

- 1) кристалларнинг идентификацияси учун уларнинг оптик константаларини ўлчаш йўли билан ($N_g, N_p, \Delta N$ ва бошқалар);
- 2) кристалларнинг тузилиши, кристаллокимёвий хусусиятини дастлабки босқичда аниқлаш учун;
- 3) хом ашё материаллари ва уларни куйдириш асосидаги маҳсулотларнинг шакл ва ўлчамларини ўрганиш учун;
- 4) кристалларнинг ўсиш жараёни ва уларнинг бузилиши;
- 5) моддалардаги фазовий ўзгаришлар;
- 6) диффузия жараёни;
- 7) ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларидаги нуқсонлар ва маҳсулот сифатини ўзгариши (керамик материаллар ва клинкерни пишган — пишмаганлиги, гишт ҳамда бетонлар тузилмасининг етилган-етилмаганлиги) сабабларини аниқлаш учун;
- 8) фазалар миқдорини аниқлаш учун;
- 9) модданинг бир ёки кўп таркиблиги;
- 10) моддаларнинг акс тасвирлаш хусусияти;

- 11) моддаларнинг кимёвий бардошлиги;
- 12) моддаларнинг механик мустаҳкамлиги;
- 13) модда ёки аралашманинг эриш ҳарорати;
- 14) фаза таркиби миқдорини аниқлаш учун;
- 15) минералларнинг ранг бериш хусусиятини аниқлаш учун.
- 16) минералларнинг ажралиш қобиляятларини ажралиш те-
кислиги орасидаги бурчаклар қиймати билан;
- 17) минерал ёки кимёвий модданинг узайиш белгиси ёки
асосий йўналишини топиш учун;
- 18) сўниш бурчаги $C:Ng$ ни аниқлаб олиш учун;
- 19) қўшалок — полисинтетик, панжарали ва секторсимон.

10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари

Микроскопик таҳлил усулининг афзалликларига қуйида-
гиларни кўрсатиш мумкин:

- 1) талқин этишнинг соддалиги;
- 2) олинган натижанинг тўлаллиги;
- 3) олинган натижанинг ишончилиги;
- 4) олинган натижанинг тезкорлиги (1-10 минут);
- 5) 0,3 мкм гача (ёруғлик микроскопларида) бўлган майда
заррачаларни фарқлаш имкони (ультрабинафша микроскопла-
рида 0,2 мкм гача);
- 6) микроскоп тузилишининг оддийлиги (соддалиги);
- 7) фотоматериал, пластинка ва плёнқалар ёрдамида визуал
кузатилаётган микротузилиш ҳолатининг документаллаштириш,
яъни фотографиясини олиш мумкинлиги;
- 8) такомиллаштирилган ион проекторли микроскопларда
ўлчами 0,1 мм дан то 10^{-10} м (1 Е) гача бўлган дефектларни
аниқтай олиши;
- 9) текширишни паст ва юқори ҳароратда, ультрабинафша ва
инфракизил нурлар иштирокида, ультратовуш таъсирида олиб
бориш мумкинлиги.

Микроскопик таҳлил усулининг камчиликлари сифатида
қуйидагиларни кўрсатиб ўтиши мумкин:

- 1) расшифровка қилишнинг соддалиги;
- 2) кўпгина микроскопларнинг етарли даражада моддаларни
катталаштира олмаслиги;
- 3) микроскопда ишловчининг толиқиш ва чарчаш туфайли
хоссаларни тўғри қабул қила олмаслиги.

4) иммерсион суюқликларни учиши ва ҳар куни уларнинг таъсирини назорат қилишни муҳимлиги;

5) ўлчаш ноаниқлигининг катталиги, $\pm 0,03$;

6) юқори даражали катталаштиришда юстировка операциясининг мураккаблиги;

7) нур синдириш кўрсаткичи яқин бўлган моддалар кимёвий таркибини аниқлаш қийинлиги.

II-§. Микроскопия усули аппаратлари

Микроскопик таҳлилнинг муваффақиятли амалга оширилиши қўлланиладиган аппаратларга кўп жиҳатдан боғлиқ. Тегишли аппаратларсиз илмий-тадқиқот иши, техника ва тиббиёт муаммоларини ҳал этиш мумкин эмас.

Микроскопик таҳлил аппаратларининг тури жуда кўп. Улар қаторига А. Левенгук ва Р.Гукларнинг шиша линзаларидан тортиб замонавий микроскопларгача киради.

Замонавий микроскоплар қаторига қуйидагилар киради:

1. Нурли микроскоплар. Уларнинг қаторига линзали телескоп - рефракторлардан тортиб икки нурли микроинтерферометрларгача киради. Ҳозирги кунда қўлланиладиган нурли микроскоп поляризацион нурни қўллашга асосланган.

2. Электрон микроскоплар. Уларда катод нурларидан фойдаланиш орқали катта ютуқларга эришилди. Улар қаторига 1931 йили немис олимлари М.Кноллем ва Э.Руск томонидан яратилган электрон микроскопларидан тортиб то ҳозирги замонавий интерференцион электрон микроскопларгача киради. Назарий жиҳатдан бундай микроскопларда $100 \text{ \AA}$ гача, амалий жиҳатдан эса $500\text{--}1000 \text{ \AA}$ бўлакчаларни кўриш мумкин.

3. Растро нурли ва электрон микроскоплар. Улар қаторига растро нурли микроскоп, массив объектларни тадқиқот қилишга мўлжалланган растро электрон микроскопи, кучланиши 150 кВ бўлган растро электрон микроскопи, катод-люминесцент объектларни текширувчи растро электрон микроскопи, телевизион тасвирли ультратовушли микроскоп ва бошқалар киради.

4. Рентген микроскопияси ва микрозонд таҳлили. Рентген проекцияли микроскоп, рентгенли топография, электрон-зондли рентген микроанализатори, ион-зондли масс-спектрал микроанализатор ва бошқалар бу гуруҳга киради.

5. Автоэлектрон микроскопияси. Автоэлектрон микроскоп - зондди анализатор тоза юзалар билан ишлашга мўлжалланган. Улар ёрдамида металл-плёнкали тизимлар ўрганилади.

6. Автоион микроскопияси. Паст ҳароратли автоион микроскопи - юқори тасвирга эга атом зонди жуда кичик бўлакчаларнинг микроскопик кўринишини фиксация қилишга мўлжалланган.

1617-1619 йилларда кашф этилган микроскоплар биологик, кимёвий ва бошқа текширишлар учун тааллуқли поляризацион микроскоплардир.

МП-2, МП-3, МП-4, МИН-4, МИН-5 ва МИН-8 турдаги поляризацион микроскоплар. Улар ёруғлик остида ишлаш учун мўлжалланган замонавий аппаратлар қаторига киради. Кичик ҳажмни катталаштиришда ёруғлик манбаи бўлиб оддий стол лампаси хизмат қилади. Ҳажмни жуда катталаштиришда эса ОИ-9 ва ОИ-19 каби сунъий ёритқичлар қўлланилади.

Одатда нур синдириш кўрсаткичи n ёки N ни ўлчашда сариқ нурлар, яъни D - натрий буғлари чизиғи (тўлқин узунлиги $\lambda = 5893 \text{ \AA}$) қўлланилади.

Объектив сифатида объектив ва окулярлар тўпламига кирган ва объектларни $17,5 \times$ дан то $1350 \times$ гача катталаштирувчи мосламалар қўлланилади.

Ҳозирги вақтда саноат корхоналари, илмий - текширув институтларида замонавий МИН-8 микроскопи ишлатилади (4- расм).

МИН- 8маркали полизацион микроскопнинг асосий деталлари қуйидагича:

1- микроскоп асоси - массив плитка. Унинг ичига конденсор линза ва буриш призмалари жойлаштирилган;

2-окуляр. $УХ$, $6Х$, $8Х$, $5Х$ ва $20Х$ марта катталаштиришга имкон беради;

3- тубус. У туттичнинг юқори қисмига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Тубус ўйиғига анализатор ёки бошқа компенсаторлар мосламаси ўрнатилган;

4- опак-иллюминатор ОП-12 ни ўрнатиш салазкаси. Бу ўз навбатида микроскопда қайтган нурлар ёрдамида ҳам ишлашга имкон беради;

5- қия монокуляр мослама. Предмет столчасини доимо горизонтал ҳолатда сақлаб объектни кузатиш учун хизмат қилади;



4-расм. МИН-8 русумли поляризацион микроскопнинг кўриниши.



5-расм. $\text{SrLaAl}_3\text{O}_7$ — микрофотографияси. МИМ-7 микроскопи пластинкасида олинган тасвир. 600 марта катталаштирилган.

6- цилиндр шаклидаги металл труба. Унда куриш учун катталаштириб берувчи система-окуляр ўрнатилган;

7- предмет столчаси. Унинг устига текширилаётган объект ўрнатилган бўлади. Предмет столчаси кронштейнга ўрнатилган бўлиб, катта тишли силжитиш механизми ёрдамида юқорига-пастга ҳаракатланади;

8- конденсор. У ўрнатилиши ёки олиб қўйилиши мумкин;

9- силжитиш механизми. Унинг ёрдамида предмет столчаси юқорига-пастга ҳаракатлантирилади;

10-ҳаракатлантирувчи дасталар. Улар микроскоп асосининг икки томонидаги механизмни ҳаракатлантирадilar;

11- опак-иллюминатор ОП-12. У тубуснинг пастки қисмида жойлашган;

12- микроскоп дастаги;

13- марказлаш винтлари. Унинг ёрдамида ёритиш тизимининг ҳолати ўзгартирилади;

14- линза ёритиш тизимидан ташқарига чиқарилган даста;

15- диск. У анализаторнинг устига интерференцион ёруғлик фильтри сифатида ўрнатилган;

16- объектив. У 3X, 8X, 20X, 40X, 60X ва 90X марта катталаштиришни таъминлайди.

МИН-8 микроскопи текшириладиган объектни бир ёки икки никол ёрдамида куриш имкониятини беради. Битта никол билан иш олиб борилганда анализатор оптик тизимидан чиқарилган бўлиб, ёруғлик нурлари бир-бирига параллел жойлашган бўлади.

Икки никол билан тадқиқот олиб борилганида нур параллел ёки учрашувчан бўлиши мумкин. Нурлар параллел бўлганида модданинг изотроп ёки анизотроплиги ҳамда нурнинг сўниш ҳолати аниқланади. Жумладан, сўниш туғри, уткир ва ўтмас бурчак остида ўтиши мумкин.

Учрашувчан ёруғлик нурлари таъсирида моддаларнинг неча ўқлилиги, уларнинг мусбат ёки манфийлиги каби параметрлари аниқланади, икки ўқли кристалларнинг ўқлари орасидаги бурчакни аниқлаш имконияти туғилади.

МИН-8 микроскопида монохроматик нур ҳосил қилиш мумкин.

Нур синдириш кўрсаткичи кўпинча иммерсион суюқлик ёрдамида аниқланади. У текшириладиган объект ва муҳит (суюқ ёки қаттиқ)нинг нур синдириш кўрсаткичини таққослашга асосланган.

МИН-8 каби поляризацион микроскоплар билан бир қаторда илмий-тадқиқот ишларини олиб боришда металлографик микроскоплар ҳам кенг қўлланилади.

МИМ-5, МИМ-6, МИМ-7, МИМ-ВМ микроскоплари. Илмий-тадқиқот лабораторияларида МИМ-5, МИМ-6, МИМ-7 турдаги (60X дан 660X гача катталаштиради) ва МИМ-ВМ (оддий кўришда 100X дан 1350X гача; фотографияда 45X дан 2000X гача катталаштиришга эришилади) металлографик микроскоплар кенг ишлатилади.

Бу турдаги микроскоплар шаффоф бўлмаган микропрепаратларни оддий ва поляризацион ёруғликда, ёруғлик майдони-

нинг тўғри ва ёнлама ёритиш шароитида текшириш ва расмлар олиш учун мўлжалланган. Бунинг учун кристалл ёки аморф моддалардан шлиф ва аншлифлар тайёрланади ва улар қайтган нурлар ёрдамида текширилади. Кузатилган манзара фотопластинка ёки фотоплёнкага махсус фотоаппаратлар ёрдамида туширилади.

Амалиётда стереоскопик поляризацион микроскоп МПС-1 ни қўллаш ҳам маълум. Бу турдаги микроскоплар ёруғ ва қоронғи майдон усулида оддий ва поляризацион ёруғликда текширилаётган объектни ҳажмий тасвирини олишга имкон беради. Бунинг учун шаффоф шлифлар, шаффоф бўлмаган шлифлар, аншлифлар, иммерсион препаратлар яроқлидир. Қўлланилувчи окулярлар - 6, 8 ва 12,5, объективлар- 0,6 дан 7 гача объектни катталаштиради.

Минералогик йўл микроскопи МПД-1 нинг тузилиши МИН-8 поляризацион микроскопига ўхшаш. Оғирлиги - 3,2 кг, катталаштириш даражаси 45X дан 900X гача. Дала ва йўл шароитларида илмий-тадқиқот ишларини муваффақиятли олиб бориш, текширилаётган объект устида бир фикрга тез келиш учун имкон беради.

Пульфрих, А66е, ИРФ-22, ИРФ-23 ва ИРФ-25 рефрактометрлари. Фанда Пульфрих, А66с, ИРФ-22, ИРФ-23 ва ИРФ-25 маркали рефрактометрларидан кенг фойдаланилади. Бу турдаги рефрактометрлар суюқликларнинг нур синдириш кўрсаткичи (ҳамда дисперсияси)ни ўлчашга хизмат қилади. А66е рефрактометрида 1,00-1,40 ва ИРФ-23 рефрактометрида 1,33-1,78 оралигидаги нур синдириш кўрсаткичига эга бўлган суюқликлар миқдори аниқланади.

Ушбу рефрактометрлар ёрдамида иммерсион суюқликлар эталонига тааллуқли суюқликлар кўрсаткичи ўзгарган ёки ўзгармаганлиги ҳам тасдиқланади. Уларнинг ўлчаш аниқлиги n бўйича 2×10^{-4} ва ўртача дисперсия бўйича $1,5 \times 10^{-4}$. n нинг λ га боғлиқлик ўзгариши дисперсияни беради. Кук (n_F) ва қизил (n_C) нурларидаги n нинг фарқи ўртача дисперсияни беради, яъни $n_F - n_C$.

Микроскоп ёрдамида ҳам тасвир, ҳам механик хосса-хусусиятларни аниқлаш мумкин. Бундай аппаратлардан бири микротвердомер ПМТ-3 дир. Олмос пирамида ва 200 граммгача юкламалари микроскопда микроқаттиқлик

$$H = 1.819 P/d^2 \text{ кг/мм}^2 \text{ ёки } H = 18188 P/d^2 \text{ МПа}$$

формулалари орқали топилади.

Бу ерда, Р-уткир олмос пирамидага қўйилган огирлик, кг
d-туширилган тасвир диагонали узунлиги, мм.

ПМТ-3 аппаратининг тузилиши ута содда бўлиб, у ўзининг компактлиги ва вазнининг енгиллиги билан ажралиб туради. Унда аниқланадиган микроқаттиқлик ўзига хос диагностик хусусиятдир

Кристалл моддаларидаги микроқаттиқлик билан Моос шкаласи бўйича аниқланадиган қаттиқлик орасидаги боғланиш қуйидагича:

3-жадвал

Минерал тури	Моос шкаласи қаттиқлиги	Микроқаттиқлик (Н, МПа)
Тальк	1	23.5
Гипс	2	353
Кальций	3	1069
Флюорит	4	1854
Апатит	5	5258
Ортоклаз	6	7799
Кварц	7	10987
Топаз	8	13999
Корунд	9	20209
Алмаз	10	98689

12-§. Микроскоплар учун мосламалар

1.Объектни ёритиш учун мосламалар. ОИ-9М типидagi ёритқич икки линзали коллектор ва лампочкадан ташкил топган. Лампа 127/220 в ли манбадан камайтирувчи трансформатор орқали ишлатилади. Бу турдаги ёритқич препаратни ўтувчи нурда ёритишга хизмат қилади.

ОИ-24 типидagi ёритқич препаратни ўтувчи нурда ёритиш ва тасвирини тушириш учун хизмат қилади. Унинг лампаси 12 в ва 100вт да, 127/220 в ли манбада камайтирувчи трансформатордан ишлайди.

ОИ-17 типидagi ёритқичлар препаратларни 400 ва 365 нм гача бўлган қўқ бинафша ва яқин ультрабинафша нурларида люминесценцияни қўзғатиш учун хизмат қилади. Ёруғлик манбаи сифатида СВД-120А типидagi симоб кварцли лампа ишлатилади. Бу лампа 220 в ли ўзгарувчан токда махсус пультадан қувват олади.

2.Объектни қўзатиш учун мосламалар. АУ-29 типидagi бинокуляр мослама - объектни бир вақтнинг ўзида иккала қўз билан қўришга мосланган. Бунда микроскопда ишловчининг толиқиши камайди ва шу билан бирга қўзатиладиган картинани

аниқроқ кўришга имкон беради. У МИН-8 ва МИД-1 микроскопларига ўрнатилади.

Бинокүляр мослама комплектига 7X, 10X ва 15X окулярлари киради.

АУ-14 типдаги демонстрация (намойиш) мосламаси объектни бир вақтнинг ўзида иккита кузатувчи кузатишига мосланган. Илмий-тадқиқот ишларида, ўқув жараёнида ва маслаҳат олишда ишлатилади.

МКС-3 ярим ўтказувчан столчаси термоэлектрик иситиш ва совитиш орқали олиб борилади. Унинг диапозони -10°C дан $+70^{\circ}\text{C}$ гача бўлиб, иситиш манбаи термобатареялардир.

3. Микрофотографиялар учун мосламалар. Бу мақсадларда стерескопик микроскоп учун МФН-5 ва оддий микроскоп учун МФН-12 мосламалари қўлланилади. Улар корпус ва 35 мм плёнка учун плёнкали камерадан ташкил топган бўлади.

4. Объектни монохроматик нур ёрдамида ёритишга мўлжалланган мосламалар. Бу мақсадда МПФ-1 типдаги монохроматор ишлатилади. Ёритиш диапозони 420-650 нм. Унинг ишчи булаклари: револьверли филтр ўрнатилган диск бўлиб, у 650, 610, 550 ва 450 нм да максимал ўтказиш учун хизмат қилади. Дискнинг олтинчи тешиги препаратта оқ нур туширишга имкон беради.

5. Микроскопларнинг катталаштириш даражасини таъминловчи мосламалар. Улар қаторига объектив (объектни катталаштирувчи линза ёки бир нечта линзалардан ташкил топган мураккаб оптик қурилма) ва окуляр (кўриш учун катталаштириб берувчи қурилма, у цилиндр шаклидаги металл трубага ўрна-тилган иккита линзадан ташкил топган) ларнинг тўплами киради. (4-жадвал):

4-жадвал

Объектнинг катталаштириш даражаси

Объектив	Окуляр ва катталаштириш						
	5 ^x	6 ^x	8 ^x	12 ^x	15 ^x	17 ^x	20 ^x
3 ^x	15	18	24	37.5	45	51	60
8 ^x	40	48	64	100	120	136	160
20 ^x	100	120	160	240	300	340	400
40 ^x	200	240	320	480	600	680	800
60 ^x	300	360	480	720	900	1020	1200
90 ^x	450	540	720	1080	1350	1530	1800

6. Проекциялаш мосламалари. Бу мақсадда РА-5 русумли мослама қўлланилади. У объективнинг микроскоп билан катталаштирилган тасвирини расмга олиш ва проекциялаш учун хизмат қилади. Аппарат билан қоронги хонада ишлаш зарур. Ёритқич сифатида эса ОП-24 типдаги ёритқичлар ишлатилади.

7. Иммерсион микрорефрактометр мосламаси. Бундай асбоб ёрдамида стандарт иммерсион суюқликларининг ва иммерсион препаратларидаги моддаларнинг ёруғлик нурини синдириш кўрсаткичлари аниқланади.

8. Моддаларнинг нисбий моқдорини аниқлаш мосламаси. Улар қаторига окуляр-сетка ва интеграцион столча киради.

13-§. Препаратларни тайёрлаш усуллари

Материал, буюм ва тажриба намунасини микроскопик текширишга қуруқ ёки ҳўл усулларда тайёрлаш ва тадқиқотлар ўтказиш учун асосан қўйида батафсил баён қилинган уч усулдан фойдаланилади.

1. Иммерсион препаратларни тайёрлаш. Бу усул энг қадимий ва энг осон усуллардан бири бўлиб, унда иммерсион препаратларни тайёрлаш қўйидаги соддалаштирилган схема бўйича тайёрланади:

Шишадан намуна турадиган булакча яшаш (узунлиги 6 см, эни 2 см) ва уни спиртланган пахта ёки дока ёрдамида тозалаш.



Микроскоп предмет столи юзасига тоза шиша булагини ўрнатиш ва иммерсион суюқликни суртиш (ёйиш).



Текшириляётган моддани майдалаш ва туйиш.



Майда туйилган модда (10-20мг)ни учи иммерсия суюқлиги билан ҳўлланган нина, пичоқ ёки сим ёрдамида шиша бўлагидagi суюқликка ўтказиш.



1,5x1,5 см² юзали предмет столидаги иммерсион суюқлигини ингичка шишадан ясалган шаффоф материал билан қоплаш.



Филтр коғоз ёрдамида предмет столи ва қопловчи ингичка шаффоф шиша орасидан чиққан ортиқча суюқликни тортиб олиш.



Тайёр иммерсион препаратни МИН-8 микроскопига ўрнатиш.



МИН-8 микроскопи ёрдамида турли хосса ва хусусиятларни аниқлаш, керак бўлса, тасвирини фотография усулида тушириш.

2. Шаффоф шлифлар тайёрлаш. Шаффоф шлиф тайёрлаш иммерсия усулида шлиф тайёрлашдан тубдан фарқ қилади. Иммерсия усулида суюқликни тез-тез алмаштириб туриш мумкин. Бу ерда эса шаффоф шлиф тайёрлаш анчагина мураккаб жараёндир. Уни қуйидаги тизим бўйича амалга оширилади:

Диаметри 300 мм ли шлифовка станогиди силликлантирувчи суюқлик иштирокида (боғловчи моддалар учун-спирт, керосин ва бензин) қалинлиги 3-4 мм гача бўлган намуна пластинкаларни тайёрлаш ва силлиқлаш.



Предмет столи (шиша) га канада ёки пихтов бальзами ёрдамида намунани ёпиштириш.



Намунанинг очиқ юзасини 150 мк қалинликкача шлифовкаш (силлиқлаш).



Намуна юзасини ювиш.



Намуна юзасини қуритиш.



Иситиш ва юзага бальзам томчиларини томизиш.



Ингичка шиша қоплама билан юзани беркитиш (ёпиш).



Шаффоф шлифни микроскопнинг предмет столчасига ўрнатиш.



Тегишли тадқиқотларни олиб бориш.

3. Силлиқланган (полировка қилинган) шлифларни тайёрлаш. Бундай шлифлар металлографик микроскоплари учун қуйидаги тартибда амалга оширилади:

Қаттиқ, мўрт бўлмаган текширилувчи жисм

Фовак ёки мўрт текширилувчи жисм.



Каиифол, канада бальзами ёки олтингугурт ёрдамида материални қотириш



ШПС-73, ШС-1000 станокларининг чўян дискларда шлифовка қилиш. Шлифовка вақтида кукун сифатида абразив

қуми SiO_2 , корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, карборунд SiC , наждак-тоғ жинси, пемза Fe_2O_3 , алмаз C кабилар ишлатилади. Одатда кукун сув билан аралашган (пульпа) ҳолда бўлади.



Сукно билан қопланган дисклар ёрдамида силлиқ қилиш. Дискнинг айланиш тезлиги минутига 400-500 марта. Силлиқловчи суспензия-хром оксиди Cr_2O_3 , крокус Fe_2O_3 , полирит(CeO_2 , TR_2O_3) ва чанглар ёрдамида тайёрланади.



Ювиш - H_2O



Кимёвий бирикмалар ёрдамида ўйиш. Масалан, CaO 2-3сек дистилланган сув билан; 3CaO SiO_2 2-3 соат $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ нинг $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ даги эритмаси билан ёки 3 секунд HF буғлари билан; 2CaO SiO_2 2-3 сек HNO_3 нинг 1%ли спиртли эритмаси билан.



Полировкаланган шлиф металлографик микроскопга урнатилади.



Металлографик микроскоплар ёрдамида тадқиқотлар олиб борилади.

14-§. Микрофотография намуналари

Микрофотография усули орқали тасвир ҳужжат мақомини олади. Шунинг учун магистрлик, номзодлик ва докторлик диссертация ишлари олиб боришда, солиштириш эталонлари ясашда ва корхона маҳсулотлари сифатини тасвир орқали белгилашда ишлатишда у бебаҳодир.

Барча микроскопларга фотоаппаратлар ўрнатиш мумкин. Тасвир қайтган ва ўтувчан нур асосида пайдо бўлиши ва олиниши мумкин. Қуйидаги 5-8-расмларда ўзига хос кристалларнинг микрофотолари берилган.

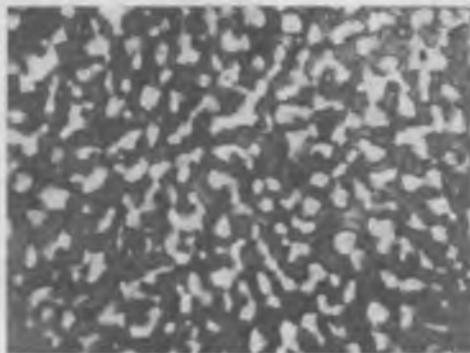
5-расмдаги фото стронций-лантан алюминати $\text{SrLaAl}_3\text{O}_7$ га тааллуқли. Шу минералга оид шихта электр ёйли печида эритилган бўлиб, у совитилаётган пайтда кристаллизацияга учраган. Микрофото металлографик микроскоп МИМ-7 да қайтган нурлар ёрдами ва 600 марта катталаштирилган ҳолда ҳосил қилинган ҳамда фотопластинкага туширилган. Аншлиф олдиндан махсус кимёвий эритма ёрдамида ишланган. Шу туфайли тетрагонал сингонияга эга бўлган мелилитсимон кристалл до-

наларининг кўриниши ва улчами ҳақида аниқ маълумотга эга бўлинди.

6-расмда SrSiO_3 — $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ эвтектик диаграмм ҳолатига оид фото келтирилган. Бу диаграмма 37,5 SrSiO_3 ҳолатида 1310°C ли эвтектика ҳосил қилади. Расмдаги оқ майдон диопсид минералига тааллуқли бўлиб, призма шаклидаги кристаллар SrSiO_3 қаттиқ қотишмасига тўғри келади. Фото олишга тайёрланган намуна 1450°C ли ҳароратда 5 соат ушланган. Эритувчи модда сифатида махсус аралашма (10мл H_2SiF_6 + 10 мл H_2O + 1 мг CoCl_2) ишлатилган. Аралашманинг таъсир этиш вақти - 10 сек. Катталаштириш 400 марта.

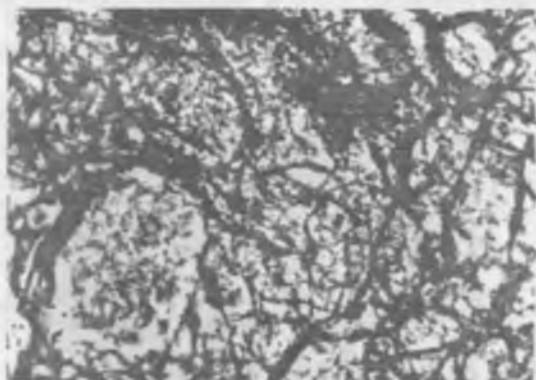


6-расм. “60 SrSiO_3 + 40 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ” ли шихта асосида олинган шишани 1450°C ли ҳароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган тасвир. 400 марта катталаштирилган.



7-расм. “60 SrSiO_3 + 40 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ” асосида олинган шишани 1150°C ли ҳароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган квазиэвтектикага оид тасвир. 600 марта катталаштирилган.

7-расмда " $60 \text{ SrSiO}_3 + 40 \text{ CaMgSi}_2\text{O}_6$ " таркибли шишани эв-тектика нуқтаси (1310°C) дан пастда, яъни 1150°C ли ҳароратда 5 соат ушлаш натижасида ҳосил бўлган квазиэвтектика кўриниши берилган. Қора майдон SrSiO_3 қаттиқ қотишмасига тегишли, оқ доналар эса диопсид минерати доначаларидир. Олтингургуртга қотирилган намуна юқорида таркиби келтирилган махсус модда ёрдамида 3-4 сек давомида ишланган.



8 - расм. $\text{CaTRGa}_3\text{O}_7$ га оид микрофотография. Аншлиф. 600 X



9-расм. Шаффоф катъит-исланд шпати кристалларининг кўриниши.

10-расм Камқиррали кристалларнинг шакллари: а-дендритлар; б-скелетлар; в-сферолитлар; г-ипсимон кристаллар.

Ўтган нурлар ва ёқилган анализатор ёрдамида аншлифдан олинган $\text{CaTRGa}_3\text{O}_7$ кристалларига оид фото 8-расмда берил-

ган. $\text{CaTRGa}_3\text{O}_7$ шихтаси 1250-1300°C ли ҳароратда қаттиқ фазали реакциялар усули бўйича пиширилган. Катталаштириш миқдори 600. Намуна махсус бирикма ёрдамсиз олинган. Кристалл дончаларининг чегаралари сув таъсирида пайдо бўлган. Умумлаштириб олинганда кристалларнинг шакли уларнинг турғун ҳолати ёки реал ҳолатига боғлиқ, шу жумладан, кристалларнинг ташқи қиёфаси ёки кристалларнинг ўсиши ташқи муҳитга ута боғлиқдир.

Кристалларнинг турғун ҳолати ўсаётган кристалл атрофида «хом ашё» нинг етарли даражада бўлиши билан боғлиқ. Бу ҳолда кристалларга хос бўлган қиррали полиэдрик шакл пайдо бўлади. Турғун кристалларнинг пайдо бўлиши 1878 йили У. Гиббс, 1885 йили П. Кюри ва 1901 йили Г.В. Вульф томонида ишлаб чиқилган қоидаларга амал қилади:

$$\sum S_i f_i = \min, V = \text{const},$$

бу ерда S_i — қирралар кристалл; i — қиррасининг майдони; f_i — бу қирранинг солиштирма ташқи энергияси; V — кристалл ҳажми.

Кристалларнинг реал шакли юқорида айtilган шартларга амал қилинмаган ҳолатда рўй беради. Унинг тузилиши фақат сингониясига боғлиқ бўлиб қолмай, шу билан бирга уларнинг тўйиниш даражаси, ҳарорати, ташқи муҳит таркиби ва бошқа параметрларга боғлиқ.

Юқорида қайд қилинганлардан ташқари кристалларга хос бўлган ташқи қиёфа фақат турғунли шароитда, яъни кристаллизация жараёни ўта секин амалга оширилганда рўй беради. 9-расмда шундай шароитда ўстирилган шаффоф кальцит-исланд шпати кристалларининг кўриниши келтирилган.

Кристаллар ўсиши турғун ҳолатидан реал ҳолатига ўтганда дендрит, скелет, сферолит ва ипли кристаллар ҳосил бўлади (10-расм). Бир қараганда бир-бирига ўхшаш тўйилган дендрит ва скелет шакллари тубдан фарқ қилади: скелетли кристаллар-монокристаллардир, дендритлар эса — поликристалл агрегатлардир.

15-§. Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди - кремний оксиди тизимидаги фазаларнинг оптик тавсифлари

Ҳар қандай ноорганик модда, шу жумладан, табиий ва сунъий силикат моддаларининг ўзига хос оптик константалари бўлади. Масалан, улар нур синдириш кўрсаткичи, сингонияси,

габитуси ва бошқа хусусиятлари билан бир-бирларидан фарқланади. Шунинг учун номаълум модданинг оптик хоссаларини аниқлаш ва уларни эталон ёки маълум моддалар курсаткичларига таққослаш асосида унинг қайси модданинг кристали эканлигини айтиш мумкин.

5-жадвал

Муҳим ва кўп тарқалган тупроқ минералларининг оптик хусусиятлари

№	Минералнинг номи	Нур синдириш курсаткичи			Габитус
		N_p	N_g	$N_g - N_p$	
1.	Каолинит (три- клин, $Z=2$) $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ $2H_2O$	1.553	1.560	0.007	Опти бурчак шаклида- ги пластинкалар
2.	Галлуазит $2[Al_2O_3$ $2 SiO_2$ $2H_2O] (4H_2O)$	1.526- 1.532	—	—	Майда доначалар
3.	Галлуазит $2[Al_2O_3$ $2 SiO_2 \cdot 2H_2O]$ $2H_2O$	1.548- 1.556	—	—	Майда доначалар
4.	Монтмориллонит (Ca, Mg) O $Al_2O_3 (4-5)SiO_2$ xH_2O	1.480- 1.590	1.516-1.630	0.036-0.040	Жуда майда доналар қирримсимон
5.	Нонтронит* $Fe(OH)Si_2O_5$ $2H_2O \cdot Fe_2O_3$ $4SiO_2 \cdot 5H_2O$	1.565- 1.600	1.600-1.640	0.035-0.040	Майда доначалар, чузилган пластинка майдончалари
6.	Иллит	1.45	1.57	0.12	Слюдасимон, яхши ри- вожланмаган гексаго- нал шаклдаги тангалар
7.	Монотермит 0,2 (K, Na, Mg, Ca)O- $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$ $2 H_2O$		$N_m =$ 1.55-1.57	—	Нозик тангасимон
8.	Пирофиллит (моноклин, $Z=4$) $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	1.552	1.600	0.008	Радиал-пластинкали, япроқсимон, донача- ларнинг тула агре- гатлари.
* Нонтронит: $m[Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2]p[(Fe, Al)_2(Si_2O_5)_2(OH)_2]nH_2O$					

Юқоридаги жадвалларда тупроқ минераллари, оксидлар ва бир муҳим тизим оид моддаларнинг оптик тавсифлари келтирилган.

Қуйидаги 6-жадвалда оксидлар кўрсаткичига оид маълумотлар берилган

6-жадвал

Баъзи оксидларининг оптик тавсифи

№	Оксиднинг номи	Таркиби	Нур синдириш кўрсаткичи		Ng-Np	Габитус
			Ng	Np		
1.	α -Кварц	α -SiO ₂	1.541	1.533	0.008	Бипирамидали
2.	α -Тридимит	α -SiO ₂	-	-	Кучсиз	-
3.	β -Кристобалит	β -SiO ₂	1.487	1.484	0.003	Октаэдрлар, доначалар, кушатоқтар
4.	α -Кристобалит	α -SiO ₂		1.466	-	Тангачалар, доналар
5.	γ -Глиназем	γ -Al ₂ O ₃		1.696	-	-
6.	β -Глиназем	β -Al ₂ O ₃	1.655	1.630	0.025	-
7.	α -Глиназем	α -Al ₂ O ₃	1.768	1.760	0.008	Устунсимон, пирамидасимон
8.	Магний оксиди	MgO		1.736	-	Думалоқ доначалар
9.	Кальций оксиди	CaO		1.837	-	Думалоқ доначалар
10.	Темир оксиди	Fe ₂ O ₃	2.95	2.77	0.18	-
11.	Литий оксиди	Li ₂ O		1.644	-	Донача ва кублар
12.	Мис оксиди	Cu ₂ O		2.705	-	Октаэдрлар
13.	Марганец оксиди	MnO		2.23	-	Октаэдрлар
14.	Никель оксиди	NiO		2.27	-	Октаэдрлар
15.	Стронций оксиди	SrO		1.870	-	Кублар
16.	Кадмий оксиди	CdO		2.49	-	Октаэдр ва кублар
17.	Барий оксиди	BaO		1.980	-	Кублар
18.	Бериллий оксиди	BeO	1.733	1.719	0.014	Призмалар
19.	Цинк оксиди	ZnO	2.029	2.013	0.016	Гексагонал кристаллар
20.	Қўргошнинг оксиди	PbO	2.665	2.535	0.130	Таблицалар

5-жадвалдан тупроқ минералларининг оптик кўрсаткичлари бир-бирига яқинлиги куришиб турибди. Тупроқ минералларидан оксидларга ўтадиган бўлса, хоссаларидаги фарқ сезиларлироқ даражада бўлади. Айниқса, SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO ва Fe₂O₃ орасидаги тафоввот ўта сезилувчандир (6-жадвал).

Силикатларнинг фазовий диаграмма ҳолатларини текширишда ҳам оптик кўрсаткичларга таяниш ижобий натижа беради. Айниқса, кремний - кислород, магний оксиди - кремнезем, кальций оксиди-кремнезем каби тизимларни таҳлил қилишда у қўл келади.

Қуйидаги 7-жадвалда CaO-SiO_2 тизимида оид маълумотлар берилган.

7-жадвал

CaO-SiO_2 системасининг кристаллик фазалари

Бирикма	Кристалл тизим	Габитус	Ажратиш қоби-ляти	n_g	n_p	$2V^\circ$	Оптик белги
Ca_3SiO_5 (алит)	Гексагонал	Оптибур-чакли пластинка ва донача лар	Аниқ эмас	1.723	1.717	0	(-)
$\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$	Гексагонал	Оптибур-чакли пластинка ва донача лар	-	-	-	-	-
$\alpha^1\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ (брелнгит)	Ромбик	-	-	-	-	-	-
$\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$	Ромбик (оливин гуридаги гузилма	Призмалар	(010) текис-лиги буйича аниқ	1.654	1.642	60	(+)
$\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ (метастабил, белит, фелит, ларит)	Моноклин	-	(010) ва (100) буйича аниқ	1.735	1.717	Катта	(+)
$\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ (ранкинит)	Моноклин	Призмалар	-	1.650	1.641	Катта	(+)
$\alpha\text{-CaSiO}_3$	Псевдогексагонал, триклин	Узун призма, доначалар	(001) буйича, баъзан (001) буйича қуша-лоқлар	1.654	1.610	0-8	(+)
$\beta\text{-CaSiO}_3$ (волластонит)	Триклин	Доскаси-мон инди видлар	(100) буйича аниқ	1.631	1.616	39	(-)

16-§ Диагностика мақсадларида фойдаланиладиган микроскопик кўрсаткичлар

В 5222400 – «Кимёвий технология» йўналишининг «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси» соҳаси хом

ашёлари, яримфабрикатлари, материаллари ва буюмларини бир-биридан ажратиб олишда микроскоп ва унинг ёрдамида аниқланидиган параметрларнинг роли жуда катта. Бундай мақсадларда оддий микроскопдан ҳам, электрон микроскопидан ҳам унумли фойдаланиш мумкин.

Диагностика мақсадларида фойдаланиладиган микроскопик кўрсаткичлар қаторига моддаларнинг нур синдириш кўрсаткичлари биринчи навбатда киради. Аморф таркибли қаттиқ модда ҳамда куб қисмига мойил бўлган кимёвий моддалар учун нур синдириш кўрсаткичи барча йўналишларда бир хил қийматга эга. Тузилиши бўйича гексагонал, тетрагонал ва ромбикли тузилмаларга тааллуқли моддаларда бундай қиймат икки турли бўлиб, улар N_g ва N_p кўрсаткичлари номи билан аталади. Тузилиши жиҳатидан ўта мураккаб бўлган моноклин, тригонал ва триклин тузилмали сунъий ҳамда табиий кристалл моддаларида бундай кўрсаткичлар сони учтага етади.

Диагностика кўрсаткичлари ичида кристалл моддаларига хос бўлган ΔN ва $2V$ ларнинг қийматлари гоҳида рақам ҳолатида, гоҳида шартли белгилар орқали берилган (8-жадвал).

8-жадвал

$N_g - N_p$ ва $2V$ лар қийматини нисбий аниқлаш шкаласи

Нурнинг иккиланиб сениш шкаласи		Оптик ўқларнинг бурчак катталиги шкаласи	
$N_g - N_p$ ни нисбий аниқлаш	$N_g - N_p$ нинг кузда тутилган қиймати	$2V$ нинг нисбий қиймати	$2V$ нинг кузда тутилган қиймати
Жуда кучсиз	0,002	Жуда кичик	10° (ёки 15°)
Кучсиз	0,006	Кучсиз	25°
Ўртача	0,014	Ўртачадан кичик	40°
Бироз кучсиз	0,023	Ўртача	50°
Кучли	0,032	Ўртачадан катта	60°
Жуда кучли	0,045	Катта	70° (ёки 75°)
Жуда-жуда кучли	> 0,050	Жуда катта	80° (ёки 85°)

$\alpha - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.537 1.524 $N_m = 1.530^*$	0.013	Моноклин сингонияли Полисинтетик қушалоқ кристаллар ҳоли да Икки ўқли, сўниш бурчаги 8рача. 1089°C да парчланади. 960°C да бошқа формага утади
$\beta - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{графа}} = 1.536$	Куч-сиз	Пластинка шакли кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), сўниш бурчаги 15р атрофида. $\rho_{\text{тадр}} = 2,58 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.528 1.513 $N_m = 1.520$	0.015	Ромбик сингонияли, $a=10.43$, $b=6.02$, $c=4.81 \text{ \AA}$, $Z=4$. Призма ва нина шакли кристаллар. 2V жуда катта, оптик белгиси (-), тўғри сўниш бурчагига эга, ажралиши-призма бўйича. $\rho_{\text{тадр}} = 2.500$ ва $\rho_{\text{хис}} = 2.685 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1089°C
$\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.508 1.497 $N_m = 1.505$	0.011	Ромбик сингонияли, $a=6.43$, $b=15.46$, $c=4.91 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, $Z=4$ Кристаллари пластинкалар ҳолида 2V = 50-55, оптик белгиси (-), узайиш белгиси (+), ажратиш қобилияти (100) ва (010) бўйича. $\rho_{\text{тадр}} = 2.47 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 874°C
$\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.515 1.500 $N_m = 1.510$	0.015	Моноклин сингонияли элементар панжара ўлчамлари, $a=12.26$, $b=4.80$, $c=8.07 \text{ \AA}$, $\beta=104^\circ 18'$, $Z=4$. Кристаллари ингичка псевдогексагональ пластинка шаклида, $\rho_{\text{тадр}} = 2.56$ ва $\rho_{\text{хис}} = 2.628 \text{ г/см}^3$.
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.529 1.524 $N_m = 1.526^*$	0.005	Ромбик сингонияли. Пластинка-симон кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тадр}} = 2.96$ ва $\rho_{\text{симон}} = 2.60 \text{ г/см}^3$, ажралиш дарзликлари-яққол. Эриш нуқтаси 1122°C
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2$)	1.502 1.496 $N_m = 1.499^*$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=4.90002$, $b=23.4001$, $c=15.4 \text{ \AA}$, $Z=4$ Моноклин сингонияга ҳос кристаллар. Икки ўқли, фазовий группаси $C_{2h}^4 - P2_1/c$, $\rho_{\text{тадр}} = 2,47$ ва $\rho_{\text{хис}} = 2,50 \text{ г/см}^3$. Инконгруэнт эриши 808o2°C

Жадист - $\text{Na}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.667 1.655 $N_m = 1.659$	0.012	Моноклин сингонияли, $a=9.45$, $b=8.57$, $c=5.25 \text{ \AA}$, $\beta=107^\circ 15.5'$, $Z=4\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$. Призматик кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V=70^\circ$; $cNg=34.5^\circ$. Ажралиши 87° ли бурчак остида. Каттикдиги 6-7, $\rho_{\text{тахр}}=3.3-3.5 \text{ г/см}^3$
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{BeO} \cdot 14\text{SiO}_2$	1.545 1.532 $N_m = 1.533$	0.013	Ромбик сингонияли, икки ўқли, мусбат, $2\alpha = 60^\circ$, $2V=38^\circ$, $\rho_{\text{тахр}}=2.55 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.580 1.575	0.005	Тетрагонал сингонияли, $a=8.511$, $c=4.807 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. 1080° да парчаланadi
Лейкофан - $\text{NaF BeO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.598 1.571 $N_m = 1.595$	0.027	Ромбик (псевдотетрагонал) сингонияли, $a=7.39$, $b=7.39$, $c=9.97 \text{ \AA}$. Кристаллари базаль табличка куринишида. Икки ўқли, манфий. $2V=39^\circ$. Каттикдиги 4, $\rho_{\text{тахр}}=2.96 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{тахр}}=1.665$	0.003	Моноклин сингонияли. Кристаллари планкасимон ва қушалоқ ҳолатда. Қийшиқ сўнади, $2V$ катта
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.654 1.641 $N_m = 1.646$	0.013	Моноклин сингонияли, $cNg=38^\circ$, икки ўқли мусбат, $2V$ катта
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.60	-	Куб сингонияли, $a=7.50 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тахр}}=2.79 \text{ г/см}^3$. Осон эрийди
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.599 1.596 $N_m = 1.597$	0.003	Паст категорияли сингонияга эга. Кристаллари тўғрибурчакли шаклда. Пластинкасимон ва қушалоқ кристаллар ҳам учрайди. Эриш нуқтаси 1284°C
Девитрит - $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$	1.579 1.564 $N_m = 1.570$	0.015	Ромбик сингонияли. Призматик кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V=75^\circ$, Ng кристалларнинг узунасига параллел. 1045°C да CaSiO_3 ва суоқликка айланади
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.571	-	Куб сингонияли. Кристалларнинг шакли-октаэдр. 1141°C да парчаланadi

$4\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2$	$N_{\text{спин}}=1.620$	0.002	Ромбик сингонияли Пинакоид ва призматик қирраларга эга тўғри бурчакли кристаллар ҳосил қилади. Икки ўқли, мусбат, 2V катта, 1125°C да инконгруэнт эрийди
Акмит, эгирин - $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.827 1.771 $N_m=1.810$	0.056	Моноклин сингонияли, $a:b:c=1.099:1.060:1$, $\beta=106^\circ 49'$. Кристаллари узайтирилган призма ҳолида. Икки ўқли, манфий, 2V=60°. Ажралиши – 87° ли бурчак остида Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{таб}}=3.584$ г/см ³ , $cNg=104^\circ$. Эриш нуқтаси = 990°C
$5\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	1.625 1.609	0.016	Гексагонал сингонияли, кристаллари призматик қиефада. Бир ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 838°C
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.654 1.641 $N_m=1.646$	0.013	Моноклин сингонияли, $cNg=38^\circ$, (+), 2V катта
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 6\text{SiO}_2$	1.546 1.540 $N_m=1.542$	0.006	Моноклин сингонияли, $cNg=24^\circ$, икки ўқли, (+), 2V катта.
$\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.510	.	Кубик сингонияли. 1248°C дан юқорида барқарор 687°C да Карнегиитга айланади.
Карнегиит – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.514 1.509 $N_m=1.514$	0.005	Триклин сингонияли метастабил фаза. Полисинтетик қўшалоклар ҳосил қилади, икки ўқли, (-), 2V=12-15°, $\rho_{\text{таб}}=2.51$ г/см ³ . Совитиш жараёни (227 °C ли ҳолати)да нефелингга айланади
Нефелин – $\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.537 1.533	0.004	Гексагонал сингонияли, $a=9.98$, $c=8.44 \text{ \AA}$. Кристаллари базал табиличка ва калта призма ҳолида. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (1010) ва (0001) бўйича, $\rho_{\text{таб}}=2.619$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1526°C
Альбит - $\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.534 1.527 $N_m=1.532$	0.007	Триклин сингонияли, $a=8.23$, $b=13.00$, $c=7.25 \text{ \AA}$, $\alpha=94^\circ 3'$, $\beta=116^\circ 20'$, $\gamma=88^\circ 9'$. Кристаллари – таблетка ва призма кўринишида, икки ўқли, (-), 2V=45-55°. Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Сўниш бурчаги 9-12° дан 26-37° гача. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{таб}}=2.61-2.62$ г/см ³

$\beta\text{-Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.539 1.528 $N_m = 1.533$	0.011	Икки ўқли, мусбат, $2V = 75-83^\circ$. Сўниш бурчаги $7-20^\circ$. $\rho_{\text{масса}} = 2.382 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси 760°C . Изотроп хусусиятга эга
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.558 1.552 $N_m = 1.555^*$	0.006	Триклин сингонияли. Эриш нуқтаси 1015°C . $N_{\text{мина}} = 1.519$
Лоренсенит- $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{TiO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$	2.02 1.91 $N_m = 2.01$	0.11	Ромбик сингонияли. $a = 8.66$, $b = 14.42$, $c = 5.18 \text{ \AA}$. Нинасимон кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V = 38-40^\circ$. $N_p = b$, $N_m = a$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тахр}} = 3.43 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{ZrO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.710 1.688 $N_m = 1.690^*$	0.022	Моноклин сингонияли. Узун-узун нинасимон кристаллар. Сўниш паст бурчак остида.
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{ZrO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.715 1.692	0.023	Гексагонал сингонияли. Ромбо-эдрик обликга эга, $\rho_{\text{тахр}} = 2.88 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1540°C
Фтор-эденит- $\text{Na}_2\text{O} \cdot 10\text{MgO} \cdot 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{SiO}_2 \cdot \text{SiF}_4$	1.624 1.605 $N_m = 1.617$	0.019	Моноклин сингонияли, $a = 9.85$, $b = 18.00$, $c = 5.28 \text{ \AA}$, $\beta = 104^\circ 50'$. Кристаллар нинасимон ва призма кўринишида. (-) $2V = 69^\circ$, $\rho_{\text{тахр}} = 3.077 \text{ г/см}^3$
Фтор-бор-эденит - $\text{Na}_2\text{O} \cdot 10\text{MgO} \cdot 4\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{SiO}_2 \cdot \text{SiF}_4$	1.605 1.588 $N_m = 1.598$	0.017	Моноклин сингонияли. $a = 9.81$, $b = 17.96$, $c = 5.27 \text{ \AA}$, $\beta = 104^\circ 27'$. Кристаллари нина кнефасида (-) $2V = 75^\circ$, $N_m = b$, $cNg = 12^\circ$, $\rho_{\text{тахр}} = 3.042 \text{ г/см}^3$
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.528 1.520 $N_m = 1.521$	0.008	Ромбик сингонияли. Донасимон кристаллар. Икки ўқли. Оптик белгиси (+), $2V = 35^\circ$. $\rho_{\text{тахр}} = 2.538$, $\rho_{\text{масса}} = 2.474 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 976°C
$\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.513 1.503 $N_m = 1.509$	0.010	Ромбик сингонияли, олти томонли пластинка, полисинтетик қўшалоклар. Оптик белгиси (-), $2Vp$ катта Эриш нуқтаси 1045°C
$\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.482 1.477 $N_m = 1.479$	0.005	Моноклин сингонияли. Жадваллар ва қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2Vp$ катта, қия сўниш, $\rho_{\text{тахр}} = 2.335$ ва $\rho_{\text{масса}} = 2.384 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 770°C . $N_{\text{мина}} = 1.495$.

$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.537 1.528 $N_m=1.536$	0.009	Ромбик сингонияли, $a=9.01$, $b=15.67$, $c=8.57 \text{ \AA}$. (-), $2V=40^\circ$. Кристаллари псевдогексагонал қушалоқ ҳолида. Ажралиши (001) ва (100) орқали $N_p=a$, $N_m=b$, $\rho_{тажр}=2.60 \text{ г/см}^3$. Эриш нүқтаси 1800°C . 1540°C да бошқа формага утади
Калиофилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 2	1.537 1.533	0.004	Метастабил гексагонал форма. $a=27.0$, $c=8.51 \text{ \AA}$. Кристаллари призмалар ҳолида. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр}=2.61$ г/см^3
Кальсилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.542 1.537	0.005	Гексагонал сингонияли, $a=5.17$, $c=8.67 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий, $\rho_{тажр}=2.59 \text{ г/см}^3$
Лейцит – $\alpha\text{-}K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.495	–	Куб сингонияли, $a=13.40 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 5.5-6, $\rho_{тажр}=2.47 \text{ г/см}^3$. Эриш нүқтаси 1686°C
$\beta\text{-}K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.509 1.508	0.001	Тетрагонал сингонияли, $a=12.92$, $c=13.70 \text{ \AA}$. Кристаллари қушалоқ бўлгани сабабли псевдокуб қиефасида
Fe-лейцит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.619	–	Куб сингонияли, $\rho_{тажр}=2.59 \text{ г/см}^3$.
К-акмит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{уртача}=1.800$	0.030	Моноклин сингонияли. Кристал- лар призма ҳуринишида. Икки ўқли, манфий
Санидин – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.525 1.520 $N_m=1.525$	0.005	Моноклин сингонияли юқори температурали форма (Ортоклаз), $a=8.4$, $b=12.9$, $c=7.1 \text{ \AA}$, $\beta=115^\circ35'$, $Z=4 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8$. Кристаллари таб- личкасимон. Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Икки ўқли, манфий, $2V$ жуда кичик. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр}=2.57 \text{ г/см}^3$
Адуляр – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.524 1.519 $N_m=1.523$	0.005	Моноклин сингонияли паст тем- пературали форма (Ортоклаз), $a=8.45$, $b=12.9$, $c=7.15 \text{ \AA}$, $\beta=116^\circ31'$, Икки ўқли, мусбат, $2V=50\text{--}70^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр}=2.57 \text{ г/см}^3$

Микроклин – $K_2O Al_2O_3 6SiO_2$	1.525 1.518 $N_m=1.522$	0.007	Триклин сингонияли ўта паст температурали форма, $a=8.44$, $b=13.00$, $c=7.21 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ 7'$, $\beta=115^\circ 50'$, $\gamma=89^\circ 55'$, $Z=4$ $KAlSi_3O_8$. Икки ўқли, манфий, $2V=83^\circ$ Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тахр}}=2.55 \text{ г/см}^3$. 1170°C да лейцит ҳосил қилиш билан парчаланади. Бутунлайин 1530°C да эрийди
$K_2O Fe_2O_3 6SiO_2$	1.609 1.601 $N_m=1.605^\circ$	0.008	Моноклин сингонияли. Кристаллари кўшалоқ ҳолда учрайди. Сўниш бурчаги (010)га нисбатан $7-8^\circ$, $N_m=b$, $\rho_{\text{тахр}}=2.712 \text{ г/см}^3$
$K_2O Al_2O_3 SiO_2$	1.540	-	Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдрли формага эга
Гисратит - $2KF SiF_4$	1.339	-	Кубик сингонияли. $a=8.18 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллари октаэдрлик шакли, $\rho_{\text{тахр}}=2.665 \text{ г/см}^3$
$K_2O CaO SiO_2$	1.605 1.600	0.005	Гексагонал сингонияли. Кристаллари гексагонал бипирамида шаклида. Бир ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1630°C
$4K_2O CaO 10SiO_2$	1.548 1.537	0.011	Гексагонал сингонияли. Кристаллари пластинка кўринишида. Бир ўқли, манфий
$\beta-K_2O 3CaO 6SiO_2$	1.570 1.560 $N_m=1.565^\circ$	0.010	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ва пластинка шаклида. Икки ўқли, манфий, 960°C да $K_2Ca_2Si_4O_{15}$ ва шишага ажралади
$K_2O 2CaO 6SiO_2$	1.590 1.575 $N_m=1.580^\circ$	0.015	Кристаллари қалин призма ҳолатида. Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта 1115° да $CaSiO_3$ ва шишага ажралади
$2K_2O CaO 6SiO_2$	1.543 1.535 $N_m=1.541$	0.008	Кристаллари паст категорияли сингонияга эга, призма ва пластинка габитусли, (-), $2V=60\pm 5^\circ$ Эриш нуқтаси 959°C
$2K_2O CaO 9SiO_2$	1.535 1.515 $N_m=1.526$	0.020	Паст категорияли сингонияга эга. Габитусли – призма ҳолатида. (-), $2V$ катта

$\alpha\text{-K}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$	1.590 1.575 $N_m=1.582$	0.015	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ҳолатида. Сўниши-тўғри, (+), 2V катта. 1115°C да парчала-нади
$2\text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдр шаклида. 1005° да парча-ланади
$\text{K}_2\text{O} \cdot 23\text{CaO} \cdot 12\text{SiO}_2$	1.703 1.695	0.008	Гексагонал сингонияли. Кристал-лари қўшалоқлар ҳолатида. Бир ўқли, мусбат
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.530 1.524	0.006	Гексагонал сингонияли, бир ўқ-ли, манфий. Эриш нўқтаси 1134°C
$\alpha\text{-K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2$	1.501	-	Куб сингонияли, $a=13.39 \text{ \AA}$. Кри-сталларнинг шакли — куб, октаэдр ва бошқа. Эриш нўқтаси 1089°C
$\beta\text{-K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2$	$N_{\text{муш}}=1.505$	0.002	Кристаллари тола кўринишда $\rho_{\text{таш}}=2.395$ ва $\rho_{\text{муш}}=2.38 \text{ г/см}^3$ $N_{\text{муш}}=1.498$
$\text{K}_2\text{O} \cdot 5\text{MgO} \cdot 12\text{SiO}_2$	1.550 1.543	0.007	Гексагонал сингонияли. Кристал-лари олтиқиррали табличка ҳола-тида. Ажралиш кўринмайди. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{муш}}=2.58 \text{ г/см}^3$, Эриш нўқтаси 1174°C
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{PbO} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.650 1.590 $N_m=1.612$	0.060	Кристаллари тўғри бурчакли пластинкалар ҳолатида. Сўниши-тўғри. Икки ўқли, мусбат, 2V=75°. $N_{\text{муш}}=1.606$ ва юмшаши 463°C
$\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.93 1.72	0.21	Гексагонал сингонияли. Габитуси-гексагонал пластиналар. Бир ўқли, манфий. Эриш нўқтаси 918°C. $N_{\text{муш}}=1.775$, юмшаши — 395°C
$\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{PbO} \cdot 8\text{SiO}_2$	1.790 1.690 0.01 0.01	0.10	Кристаллари-тола ва пластинка шаклида. Сўниши-тўғри
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.622	-	Кубик сингонияли. Кристаллар шакли — куб ва бошқалар
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.539 1.533 $N_m=1.535^*$	0.006	Моноклин сингонияли. Кристал-ларнинг эриш нўқтаси 1000-1020°C. $N_{\text{муш}}=1.513$
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.867 1.840	0.027	Гексагонал сингонияли, $a=11.1$, $c=9.05 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий

$2K_2O \cdot 3B_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.523	-	Куб сингонияли, $\rho_{\text{тажр}} = 2.53 \text{ г/см}^3$
$Rb_2O \cdot 2SiO_2$	1.513 1.507 $N_m = 1.510^\circ$	0.006	Нина ва призма кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тажр}} = 3.254 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1090°C
$Rb_2O \cdot 4SiO_2$	1.539 1.532	0.007	Гексагонал пластинкалар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{\text{тажр}} = 3.022 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 900°C
Рубидисвий лейцит - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.526$	Куч- сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.37$, $c = 13.73 \text{ \AA}$
$Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.530 1.526	0.004	Гексагонал сингонияли, бир ўқ-ли, манфий
Рубидисвий полевоы шпат - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.529 1.524 $N_m = 1.526^\circ$	0.005	Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий.
α - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{\text{уртача}} = 1.521$	Куч- сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.64$, $c = 13.33 \text{ \AA}$
β - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{\text{уртача}} = 1.481$	Куч- сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.20$, $c = 13.60 \text{ \AA}$
$Cs_2O \cdot 2SiO_2$	1.563 1.560 $N_m = 1.562^\circ$	0.003	Донасимон кристаллар. Икки ўқ-ли, оптик белгиси (-), $\rho_{\text{тажр}} = 3.852 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият.
$Cs_2O \cdot 4SiO_2$	1.579 1.573	0.006	Гексагонал пластинкалар. Оптик белгиси (-), сўниши - тўғри, $\rho_{\text{тажр}} = 3.452 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият
$Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.574	-	Кубик сингонияли
$Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.523	-	Кубик сингонияли, $a = 13.66 \text{ \AA}$
Бромеллит - BcO	1.733 1.719	0.014	Гексагонал сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V = 0^\circ$, ажралиш дарзликлари-базис бўйича, $\rho_{\text{тажр}} = 3.00 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2500°C

Фенакит – $2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.668 1.654	0.014	Тригонал сингонияли. Ромбоэдрлар, призмалар, (1010) бўйича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V=0^\circ$, ажралиш қобилиятлари (1120) бўйича, $\rho_{\text{таҳр}}=3,00$ г/см ³ . Инконгруэнт парчаланиши 1560°C ($2\text{BeO}+\text{SiO}_2$)
Берилл – $2\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.568 1.564 1.602 1.594	0.004- 0.008-	Гексагонал сингонияли, $a=9.21$ ва $c=9.17$ Å. Габитуси-призма ҳолида. Бир ўқли, манфий, $2E 10^\circ$ -гача боради. Қаттиқлиги 7.5-8.0, $\rho_{\text{таҳр}}=2.66-2.85$ г/см ³ . Эриш нуктаси 1420°C
Форстерит – $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1.668 1.636 $N_m=1.652^*$	0.032	Ромбик сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=85^\circ 6'$, ажралиши (001) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{таҳр}}=3,216$ г/см ³ . Эриш нуктаси 1890°C
Энстатит – $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1.658 1.650 $N_m=1.652$	0.008	Ромбик сингонияли, фазовий группаси Pbca , $a=18.230$, $b=8.814$ ва $c=5.178$ Å, волокноли агрегатлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=60^\circ$, ажралиши 90° ли (110) юзаси бўйича, $\rho_{\text{таҳр}}=3,175$ ва $\rho_{\text{мин}}=2.758$ г/см ³ . Инконгруэнт эриши 1557°C ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{суюқлик}$)
Клиноэнстатит– $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1.660 1.651 $N_m=1.654$	0.009	Моноклин сингонияли, фазовий группаси $\text{P2}_1/\text{c}$, $a=9.618$, $b=8.828$ ва $c=5.186$ Å, $\beta=108^\circ 30'$. Кристалл агрегатлар, (010) бўйича полисинтетик қўшалоклар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z\perp c=22^\circ$, $2V=53^\circ 30'$, ажралиши 88° ли (110) бўйича, $\rho_{\text{таҳр}}=3,19$ г/см ³
Протоэнстатит– $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Энстатитдан ± 0.002 га фарқ қилади	Куч- сиз	Ромбик сингонияли, фазовий группаси Pbcp , $a=9.25$, $b=8.74$, $c=5.32$ Å. Брус шаклли кристаллар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=70^\circ$, сўниши тўғри.

Клинохлор - $5\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.579 1.572 $N_m=1.575$	0.007	Моноклин сингонияли, $a=5.3$, $b=9.3$, $c=28.6 \text{ \AA}$, $\beta=96^\circ 50'$. Кри- сталли пластинка кўри-нишида. Икки ўқли, мусбат, $2V=0-40^\circ$, $N_m=b$, $N_p \perp (010)$. Қаттиқлиги 2- 2.5, $\rho_{\text{тахр}}=2.7 \text{ г/см}^3$
α - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - I	1.528 1.524	0.004	Урта категорияли сингонияга эга, $a=9.782 \text{ \AA}$, $c=9.365 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий
β - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - II	1.541 1.537	0.004	Гексагонал сингонияли, $a=9.792$, $c=9.349 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий.
α -Кордиерит - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - III	1.550 1.540 $N_m=1.545$	0.010	Ромбик сингонияли, $a=9.7$, $b=17.1$, $c=9.3 \text{ \AA}$. Призма кўринишидаги кристаллар. (-), $2V=70-100^\circ$
β -Кордиерит - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - IV	1.53- 1.52- 1.57 1.55 $N_m=1.525- 1.526$	0.010 0.020	Ромбик сингонияли. Қўшалоқ кристаллар. (-) $2V=40-105^\circ$. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тахр}}=2.57-2.66 \text{ г/см}^3$
Пироп - $3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.705	-	Кубик сингонияли, $a=11.44 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тахр}}=3.51 \text{ г/см}^3$
Салфирийн - $4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.711 1.705 $N_m=1.709$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=9.70$, $b=14.55$, $c=10.05 \text{ \AA}$, $\beta=111^\circ 27'$. (-) $2V=68^\circ 49'$ Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тахр}}=3.4-3.6 \text{ г/см}^3$
Хризолит - $\text{MgO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.792 1.748 $N_m=1.778$	0.044	Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий, $2V=69^\circ$
Fe- Клиноэзнстатит- $\text{MgO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.70 1.69 1.754 1.71 $N_m=1.69-1.71$	0.01 0.04	Моноклин сингонияли. Таркибига Са ҳам киради. (+), $2V=0-30^\circ$
Хризотил - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.555 1.542 $N_m=1.543$	0.013	Моноклин сингонияли, $a=14.66$, $b=9.24$, $c=5.33$, $\beta=93^\circ 16'$, $Z=1$ $\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{16}$. Кристаллари призма ва волокно ҳолатида. Икки ўқли, мусбат, $2V=30-35^\circ$, $N_m=b$, $cN_p=0^\circ$. Қаттиқлиги 2-2.5. $\rho_{\text{тахр}}=2.43 \text{ г/см}^3$

Сепиолит - $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.529 1.520 $N_{\text{м}}=1.529$	0.009	Моноклин сингонияли, $a=23.2$, $b=15.7$, $c=5.32 \text{ \AA}$, $\beta=90-93^\circ$. Кри- сталлари ингичка волокно шакли- да. Икки ўқли, манфий, $2V=0^\circ$, Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тахр}}=2 \text{ г/см}^3$
Серпентин, антигорит - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.565 1.558 $N_{\text{м}}=1.565$	0.007	Моноклин сингонияли, $a=5.3$, $b=9.25$, $c=13.52 \text{ \AA}$, $\beta=91^\circ 4'$, $Z=2$. Кристаллари пластинка ҳолида, ажралиши (001) бўйича. Икки ўқли, манфий, $2V$ ўртача. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тахр}}=2.62$ г/см^3
Вермикулит - $(\text{Mg, Fe})_3 [\text{Al, Si})_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.545 1.525 $N_{\text{м}}=1.545$	0.020	Моноклин сингонияли, $a=5.33$, $b=9.18$, $c=28.85 \text{ \AA}$, $\beta=93^\circ 15'$. Кри- сталлари пластинкалар ҳолида, (-), $2V=0-8^\circ$
Тальк - $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.575 1.540 $N_{\text{м}}=1.575$	0.035	Моноклин сингонияли, $a=5.27$, $b=9.13$, $c=18.88 \text{ \AA}$, $\beta=100^\circ 15'$, $Z=4$. (-), $2V=0-30^\circ$. Қаттиқлиги 1, $\rho_{\text{тахр}}=2.82 \text{ г/см}^3$
Алит - $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.723 1.717	0.006	Гексагонал сингонияли. Олтибур- чакли пластинкалар ва донсимон доналар. Оптик белгиси (-), $2V^\circ=0$, ажралиши аниқ эмас, $\rho_{\text{тахр}}=3.20$ г/см^3
$\alpha\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.707$	Куч- сим	Гексагонал сингонияли, $a=5.45$ ва $c=7.03 \text{ \AA}$. Олтибурчакли ва тўғри бўлмаган донсимон кристалар. 1500°ли ҳароратда $\rho_{\text{тахр}}=3.07 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 2130°C
Бредингит- $\alpha\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.725 1.712 $N_{\text{м}}=1.716$	0.013	Ромбик сингонияли, $a=6.76$, $b=5.45$, $c=9.28 \text{ \AA}$, (+), $2V=30^\circ$. 700° ли ҳароратда $\rho_{\text{тахр}}=3.31 \text{ г/см}^3$
Шенионит - $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.654 1.642 $N_{\text{м}}=1.645$	0.012	Ромбик сингонияли. $a=6.78$, $b=5.06$, $c=11.28 \text{ \AA}$. Призмалар Оптик белгиси (+), $2V=60^\circ$, ажра- лиши (010) бўйича, 20°ли ҳароратда $\rho_{\text{тахр}}=2.97 \text{ г/см}^3$

Белит (фелит, ларнит) - β - 2CaO SiO_2	1.730 1.707 $N_m=1.715$	0.023	Моноклин сингонияли, $a=5.49$, $b=6.77$, $c=9.29 \text{ \AA}$, $\beta=94^\circ 50'$, полисинтетик қушалоқлар. (+), $2V=$ катта, ажралиши (010) ва (100) буйича
Ранксит - $3\text{CaO } 2\text{SiO}_2$	1.650 1.641	0.009	Моноклин сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V^\circ$ катта
Псевдоволластонит - α - CaO SiO_2	1.654 1.610 $N_m=1.611$	0.044	Триклин сингонияли, $a=6.90$, $b=11.58$, $c=19.65 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ 48'$, $\gamma=90^\circ$, $Z=8$. Донсимон доналар ва узайтирилган призмалар, баъзида (001) буйича қушалоқлар. Оптик белгиси (+), $2V=0-8^\circ$, ажралиши- (001) буйича, $\rho_{\text{тахр}}=2.905 \text{ г/см}^3$, конгруэнт эриш нуқтаси 1544°C
Волластонит - β - CaO SiO_2	1.631 1.616 $N_m=1.628$	0.015	Триклин сингонияли, $a=7.88$, $b=7.27$, $c=7.03 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=95^\circ 16'$, $\gamma=103^\circ 22'$. Доскасмон индивидлар. Оптик белгиси (-), $2V=39^\circ$, ажралиши-(100) ва (001) буйича, $\rho_{\text{тахр}}=2.915 \text{ г/см}^3$
Параволластонит - γ - CaO SiO_2	1.631 1.614 $N_m=1.629$	0.017	Моноклин сингонияли, $a=15.33$, $b=7.28$, $c=7.07 \text{ \AA}$, $\beta=95^\circ 25'$. Каттиқлиги 4.5-5, $\rho_{\text{тахр}}=2.915 \text{ г/см}^3$
Окermanит - $2\text{CaO MgO } 2\text{SiO}_2$	1.639 1.632	0.007	Тетрагонал сингонияли, $a=7.840$, $c=5.015 \text{ \AA}$. Кристаллар калта призма кўринишида. Бир ўқли, мусбат. Каттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тахр}}=2.95 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1458°C
Геленит - $2\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ SiO}_2$	1.669 1.658	0.011	Тетрагонал сингонияли, $a=7.69$, $c=5.10 \text{ \AA}$. Кристаллар қисқа призма кўринишида. Бир ўқли, манфий. Каттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тахр}}=3.04 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1590°C
Ферроокерманит - $2\text{CaO FeO } 2\text{SiO}_2$	1.690 1.673	0.017	Тетрагонал сингонияли. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (001) буйича, $\rho_{\text{тахр}}=3.23 \text{ г/см}^3$

Ферригеленит - $2\text{CaO}(\text{Fe},\text{Ac})_2$ O_3SiO_2	1.666 1.661	0.005	Тетрагонал сингонияли. $a=7.54$, $c=4.855 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий Эриш нуқтаси 1285°C
Гардистонит - $2\text{CaO} \cdot \text{ZnO} \cdot$ 2SiO_2	1.671 1.662	0.009	Тетрагонал сингонияли. $a=7.83$, $c=4.99 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 3-4, $\rho_{\text{тахр}}=3.40 \text{ г/см}^3$. Бир ўқли, манфий
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 2SiO_2 - I	1.590 1.585	0.005	Гексагонал сингонияли, метастабил форма, $a=5.11$, $c=14.74 \text{ \AA}$, $Z=1$. Кристаллари пластинка кўринишида. Бир ўқли, мусбат, қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тахр}}=2.74 \text{ г/см}^3$
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 2SiO_2 - II	1.584 1.553 $N_m=1.580$	0.031	Ромбик сингонияли, метастабил форма, $a=8.224$, $b=8.606$, $c=4.836 \text{ \AA}$, $Z=2$. Икки ўқли, манфий, $2V=39^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тахр}}=2.70 \text{ г/см}^3$
Анортит - $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 2SiO_2	1.589 1.576 $N_m=1.583$	0.013	Триқлин сингонияли, $a=8.21$, $b=12.95$, $c=14.16 \text{ \AA}$, $\alpha=93^\circ 13'$, $\beta=115^\circ 56'$, $\gamma=91^\circ 12'$. Табличкаси- мон кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V=77^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тахр}}=2.765 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1550°C
$\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.635 1.605	0.030	Тетрагонал сингонияли, Бир ўқли, манфий. $\rho_{\text{тахр}}=3.04$ г/см^3
Диопсид - $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.695 1.666 $N_m=1.672$	0.029	Моноклин сингонияли, $a=9.750$, $b=8.926$, $c=5.252 \text{ \AA}$, $\beta=105^\circ 55'$, $Z=4$. Кристаллар призма ҳолида. Икки ўқли, (+), $2V=58^\circ$. Қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тахр}}=3.275 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1391°C
Геденбергит - $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.755 1.726 $N_m=1.732$	0.029	Моноклин сингонияли, $a=9.873$, $b=9.049$, $c=5.264 \text{ \AA}$, $\beta=104^\circ 14'$, $\rho_{\text{тахр}}=3.538 \text{ г/см}^3$
Иоганнеснит - $\text{CaO} \cdot \text{MnO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.738 1.710 $N_m=1.719$	0.028	Кристаллари призма ва волокно ҳолида. Призматик ажралиш $\rho_{\text{тахр}}=3.5$ ва $\rho_{\text{хис}}=3.6 \text{ г/см}^3$

Уваровит - $3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.86	-	Куб сингонияли, $a=12.05 \text{ \AA}$ Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{таб}}=3.78 \text{ г/см}^3$
Гроссулар - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.735	-	Куб сингонияли, $a=11.84 \text{ \AA}$ Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{таб}}=3.53 \text{ г/см}^3$
Андрадит - $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.895	-	Куб сингонияли, $a=12.04 \text{ \AA}$ Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{таб}}=3.83 \text{ г/см}^3$
$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.743 1.696 $N_{\text{м}}=1.734$	0.047	Ромбик сингонияли, $a:b:c=0.437:1:0.577$, (-), $2V=49^\circ$, $\rho_{\text{таб}}=3.33 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1208°C
Монтчеллит - $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1.653 1.639 $N_{\text{м}}=1.646$	0.014	Ромбик сингонияли, $a=4.815$, $b=11.08$, $c=6.37 \text{ \AA}$. Кристаллари призма ва донсимон. (+), $2V=85^\circ$, $\rho_{\text{таб}}=3.2 \text{ г/см}^3$, 1300°C да парчала- ланади
Глаукохронит - $\text{CaO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.736 1.685 $N_{\text{м}}=1.723$	0.051	Ромбик сингонияли, $a=4.91$, $b=11.12$, $c=6.49 \text{ \AA}$. Призмасимон кристаллар. (-), $2V=61^\circ$, $\rho_{\text{таб}}=3.48$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1355°C
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.685 1.675 $N_{\text{м}}=1.679$	0.010	Ромбик сингонияли, Кристаллари тола ҳолида. (+), $2V$ катта. 1335°C да парчаланади
Мервинит - $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.724 1.706 $N_{\text{м}}=1.712$	0.018	Моноклин сингонияли, $a=5.20$, $b=9.20$, $c=6.78 \text{ \AA}$. Полисинтетик қушалоқ кристаллар. (+), $2V=66^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{таб}}=3.15 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1598°C
Титанит, сфен- $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	2.092 1.950 $N_{\text{м}}=1.970$	0.142	Моноклин сингонияли, $a=6.55$, $b=8.70$, $c=7.43 \text{ \AA}$, $\beta=119^\circ 43'$, (+), $2V=23-35^\circ$. Қаттиқлиги 5-5.5, $\rho_{\text{таб}}=3.4-3.6 \text{ г/см}^3$
Гуттант - $2\text{CaO} \cdot \text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.672 1.664	0.008	Тетрагонал сингонияли, $a=7.48$, $c=5.044 \text{ \AA}$. Бир ўқли, мусбат. $\rho_{\text{таб}}=3.0336 \text{ г/см}^3$
Мелифанит - $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Be}$ $(\text{Si}, \text{Al})_2 (\text{O}, \text{F})_7$	1.612 1.593	0.019	Тетрагонал сингонияли, $a=10.58$, $c=9.88 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{таб}}=3.006 \text{ г/см}^3$

Яейкофанит – (Ca,Na) ₂ BcSiO ₂ (OH,F) ₇	1.598 1.571 N _m =1.595	0.027	Тетрагонал сингонияли, a=7.39, c=9.98 Å. Бир ўқли, манфий, 2V=39°, ρ _{таҳр} =2.96 г/см ³
Аминофит – Ca ₂ (Bc,Al)Si ₂ O ₇ (OH) H ₂ O	1.647 1.637	0.010	Тетрагонал сингонияли, a=13.8, c=9.8 Å. Бир ўқли, манфий, ρ _{таҳр} =2.94 г/см ³
Мелилит – (Ca _{0.7} Na _{0.2} K _{0.1}) ₂ (Mg _{0.5} Al _{0.5})Si ₂ O ₇	1.638 1.634	0.004	Тетрагонал сингонияли, a=7.789 c=5.018 Å. Бир ўқли, манфий, ρ _{таҳр} =2.95 г/см ³
2SrO SiO ₂	1.756 1.727 N _m =1.732	0.029	Моноклин сингонияли, (100) бұ- йича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), 2V=32.5°, ρ _{таҳр} =3.84 г/см ³
SrO	1.870		Куб сингонияли, a=5.15 Å. Куб шакли кристаллар, ρ _{таҳр} =4.75 г/см ³
SrO SiO ₂	1.637 1.599	0.038	Гексагонал сингонияли, (0001) бўйича пластинкалар ва қўшалок- лар. Оптик белгиси (+), 2V=0°, ρ _{таҳр} =3.65 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1578°C
2SrO Al ₂ O ₃ SiO ₂	1.665 1.660	0.005	Тетрагонал сингонияли, a=7.831, c=5.276 Å. Габитуси-призма, ρ _{таҳр} =3.80 ва ρ _{хис} =3.82 г/см ³
SrO-Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	1.586 1.574 N _m =1.582	0.012	Триқлин сингонияли, тола габитусга эга. Икки ўқли, манфий, 2V=70°, ρ _{таҳр} =3.12 г/см ³
2SrO·Ga ₂ O ₃ · SiO ₂	1.728 1.717	0.011	Тетрагонал сингонияли, a=7.92, c=5.33 Å, ρ _{таҳр} = 4.49 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1590°C
2SrO MgO 2SiO ₂	1.638 1.609	0.029	Тетрагонал сингонияли, a=8.06, c=5.19 Å, ρ _{таҳр} = 3.64 г/см ³ .
2SrO·ZnO·2SiO ₂	1.710 1.678	0.032	Тетрагонал сингонияли, a=8.04, c=5.20 Å, ρ _{таҳр} = 3.99 г/см ³ .
Sr ₄ La ₆ Si ₆ O ₂₄ F ₂	1.838 1.827	0.011	Гексагонал сингонияли, a=9.69, c=7.13 Å, ρ _{таҳр} = 5.03 ва ρ _{хис} =5.05 г/см ³ . Эриш нуқтаси 2063 K

$\text{Sr}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.843 1.829	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.59$, $c=7.07 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 5.26$ ва $\rho_{\text{хис}} = 5.29 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2023 К
$\text{Sr}_4\text{Sm}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.854 1.842	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.52$, $c=6.99 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 5.50$ ва $\rho_{\text{хис}} = 5.54 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2023 К
$\text{Sr}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.862 1.850	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.49$, $c=6.96 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 5.71$ ва $\rho_{\text{хис}} = 5.74 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2083 К
$\text{Sr}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.871 1.858	0.013	Гексагонал сингонияли, $a=9.42$, $c=6.92 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 5.90$ ва $\rho_{\text{хис}} = 5.95 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2083 К
$\text{Sr}_4\text{Er}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.892 1.880	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.30$, $c=6.78 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 6.15$ ва $\rho_{\text{хис}} = 6.17 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2103 К
$\text{Sr}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.773 1.759	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.46$, $c=6.89 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 4.40$ ва $\rho_{\text{хис}} = 4.42 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2048 К
BaO	1.980	-	Куб сингонияли, $a=5.53 \text{ \AA}$. Куб куринишли кристаллар. $\rho_{\text{тажр}} = 5.72 \text{ г/см}^3$
$2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.830 1.810 $N_m = 1.820^\circ$	0.020	Ромбик сингонияли. Донсимон доналар. $\rho_{\text{тажр}} = 5.21 \text{ г/см}^3$
$\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.678 1.673 $N_m = 1.674$	0.005	Ромбик сингонияли. Донсимон ва нинасимон агрегатлар. Оптик белгиси (+), $2V = 29^\circ$, ажралиши (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр}} = 4.40 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1604°C
$2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.645 1.620 $N_m = 1.625$	0.025	Ромбик сингонияли, $a=12.50$, $b=4.69$, $c=13.92 \text{ \AA}$, $\beta=93.3^\circ$, $Z=2$. Донсимон доналар, пластинкасимон қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V = 54^\circ$, ажралиши (010), (100) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр}} = 3.93 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1450°C
$\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.621 1.597 $N_m = 1.616$	0.027	Ромбик ёки триклин сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (-), $2V = 75^\circ$, ажралиши (010), (100) ва (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр}} = 3.73 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1420°C

$\alpha - \text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.571 1.567	0.004	Юқори ҳароратли гексагонал фаза, $a=5.25$, $c=7.84 \text{ \AA}$. Пластинкасимон кристаллар. Ажралиши (0001) бўйича, $\rho_{\text{такр}}=3.03 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1715°C
Цельзиан — $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.600 1.587 $N_m=1.593$	0.013	Паст ҳароратли моноклин фаза, $a=8.63$, $b=13.10$, $c=7.29 \text{ \AA}$, $\beta=116^\circ$. Қўшалоқ кристаллар, (+), $2V=80^\circ$, $\rho_{\text{такр}}=3.57 \text{ г/см}^3$
Парацельзиан — $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.587 1.570 $N_m=1.582$	0.017	Моноклин сингонияли, $a:b:c=0.947:1:0.895$, $\rho=90^\circ 10'$. Призма кўринишли кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V=50-53^\circ$, $\rho_{\text{такр}}=3.315 \text{ г/см}^3$
Бенитоит — $\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.804 1.757	0.047	Гексагонал сингонияли, $a=6.60$, $c=9.71 \text{ \AA}$. Кристаллари пирамида ва табличка кўринишида. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{такр}}=3.65 \text{ г/см}^3$
$2\text{BaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.710 1.650	0.060	Тетрагонал сингонияли, $a=8.32$, $c=5.52 \text{ \AA}$. $\rho_{\text{такр}}=3.80 \text{ г/см}^3$
$2\text{BaO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.722 1.698	0.024	Тетрагонал сингонияли, $a=8.40$, $c=5.68 \text{ \AA}$. $\rho_{\text{такр}}=4.02 \text{ г/см}^3$
$\text{Ba}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.873 1.866	0.007	Гексагонал сингонияли, $a=9.72$, $c=7.19 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}}=5.36$ ва $\rho_{\text{дик}}=5.36 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1923 K
$\text{Ba}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.848 1.826	0.022	Гексагонал сингонияли, $a=9.60$, $c=6.98 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}}=4.66$ ва $\rho_{\text{дик}}=4.68 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1973 K
$\text{Ba}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.881 1.870	0.011	Гексагонал сингонияли, $a=9.62$, $c=7.10 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}}=5.78$ ва $\rho_{\text{дик}}=5.79 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1963 K
$\text{Ba}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.892 1.878	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.58$, $c=6.97 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}}=5.98$ ва $\rho_{\text{дик}}=6.00 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1963 K

$\text{Ba}_4\text{La}_6\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{26}$	1.796 1.782	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.97$, $c=7.35 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}} = 5.12$ ва $\rho_{\text{теор}} = 5.16$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2023 К
$\text{Ba}_4\text{Nd}_6\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{26}$	1.848 1.829	0.019	Гексагонал сингонияли, $a=9.80$, $c=7.25 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{такр}} = 5.45$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2028 К
Цинкит - ZnO	2.029 2.013	0.016	Гексагонал сингонияли, $a=3.25$, $c=5.19 \text{ \AA}$, $Z=2$. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 4, $\rho_{\text{такр}} = 5.66$ г/см ³ . 1670°C да эрийди
Веллимит - $\alpha - 2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.715 1.695	0.020	Урта сингонияга таалуқли кристаллар. Бир ўқли, $2V=0^\circ$
$\beta - 2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.712 1.703 $N_{\text{м}}=1.700$	0.009	Ромбик сингонияли, $a=8.40$, $b=5.10$, $c=3.22 \text{ \AA}$. Икки ўқли, $2V=49^\circ$, $\rho_{\text{теор}} = 4.29$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1420°C
$\gamma - 2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.703 1.685 $N_{\text{м}}=1.700$	0.018	Икки ўқли кристаллар, $2V = -40^\circ$
$\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.623 1.616	0.007	Нинасимон кристаллар, $\rho_{\text{такр}} = 3.52$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1429°C
Гемиморфит - $\text{Zn}_4(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot$ H_2O	1.636 1.614 $N_{\text{м}}=1.617$	0.022	Ромбик сингонияли, $a=8.40$, $b=10.72$, $c=5.13 \text{ \AA}$. Икки ўқли, мусбат, $2V=46^\circ$. Қаттиқлиги 5, $\rho_{\text{такр}} = 3.45$ г/см ³
$\text{ZnSiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.395 1.382	0.013	Тригонал сингонияли, $c:a=0.517$. Призма кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{такр}} = 2.14$ г/см ³
CdO	2.49	-	Куб сингонияли, $a=4.70 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллар октаэдр ва куб кўринишида. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{такр}} = 8.15$ г/см ³
$\text{CdO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-	Эриш нуқтаси 1246 °C, $\rho_{\text{такр}} = 5.833$ г/см ³
$2\text{CdO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{теор}}=1.74$	Уртача	Оливинга ўхшаш структурали, $\rho_{\text{такр}}=4.928$ г/см ³ , эриш нуқтаси 1252°C

Паст температура- $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.665 1.630 1.680 1.650	0.035- 0.030	Гексагонал сингонияли, барқарор бўлмаган, бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 3.31 \text{ г/см}^3$
$\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.696	-	Куб сингонияли, $\rho_{\text{тажр}} = 3.47 \text{ г/см}^3$
Корунд $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.768 1.760	0.008	Гексагонал сингонияли, $a=4.76$, $c=13.00 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 9, $\rho_{\text{тажр}}=4 \text{ г/см}^3$. 2050°C да эрийди.
Кианит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.728 1.713 $N_m=1.722$	0.015	Триклин сингонияли, Фазовий группаси $P1$, $a=7.121$, $b=7.861$, $c=5.574 \text{ \AA}$, $\alpha=90.03^\circ$, $\beta=101.08^\circ$, $\gamma=105.95^\circ$, $V=294 \text{ \AA}^3$, $Z=4$, $2V=83^\circ$
Силлиманит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.678 1.658 $N_m=1.658$	0.020	Ромбик сингонияли. Фазовий группаси $R\bar{3}m$, $a=7.481 \pm 0.002$, $b=7.672 \pm 0.002$, $c=5.769 \pm 0.002 \text{ \AA}$, $V=331 \text{ \AA}^3$, $2V=25^\circ$, $\rho_{\text{тажр}}=3.255 \pm 0.015 \text{ г/см}^3$
Андалузит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.641 1.630 $N_m=1.639$	0.011	Ромбик сингонияли. Фазовий группаси $R\bar{3}m$, $a=7.797 \pm 0.002$, $b=7.898 \pm 0.002$, $c=5.551 \pm 0.002$, $V=341.8 \text{ \AA}^3$. $2V$ 83 дан 86° гача
Муллит- $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.654 1.642	0.012	Ромбик сингонияли. Фазовий группаси $R\bar{3}m$, $a=7.5794 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $b=7.6873$, $c=2.8878 \pm 0.0004 \text{ \AA}$, $V=168.26 \text{ \AA}^3$, $2V=45$ дан 50° гача, $\rho_{\text{тажр}}=3.0 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1910°C
Пирофиллит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.601 1.552 $N_m=1.558$	0.048	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.88$, $c=18.60 \text{ \AA}$, $\beta=99^\circ 55'$, $Z=8$. Призматик кристаллар. (-), $2V=53-60^\circ$. Қаттиқлиги 1-1.15, $\rho_{\text{тажр}}=2.84 \text{ г/см}^3$
Левсерьерит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.513 1.488 $N_m=1.513$	0.025	Паст категорияли сингонияга эга бўлган монтмориллонит гуруҳи вакили, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=15.25 \text{ \AA}$, Кристаллари юпқа пластинка ҳолида. (-), $2V=0-33^\circ$. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{\text{тажр}}=2.84 \text{ г/см}^3$

Топаз - $\text{Al}_2\text{SiO}_4\text{F}$ F, OH	1.618- 1.607- 1.638 1.629 $N_m = 1.610$ - 1.631	0.011- 0.009	Ромбик сингонияли, $a=4.61$, $b=8.78$, $c=8.38$ Å, Кристаллар призма кўринишида. Ажралиши (001) бўйича. Қаттиқлиги 8, $\rho_{\text{табр}}=3.50-3.57$ г/см ³
Кволин - γ - форма $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ $2\text{H}_2\text{O}$	1.566 1.561 $N_m = 1.565$	0.006	Моноклин сингонияли паст тем- пературали фаза, $a=5.14$, $b=8.93$, $c=7.37$ Å, $\alpha=91^\circ 48'$, $\beta=104^\circ 30'$, $\gamma=90^\circ$, $Z=2\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кри- сталлари псевдогексагонал чешуй- калар ҳолида (-), $2V=20-55^\circ$. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{табр}}=2.61$ г/см ³
Диксит - β - Al_2O_3 $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.566 1.560 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta=96^\circ 49'$, $Z=4\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллар тангчасимон кўринишида. (+), $2V=68-80^\circ$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{\text{табр}}=2.62$ г/см ³
Накрит - α - Al_2O_3 $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.563 1.557 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta=91^\circ 43'$, $Z=4$ $\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллар псев- догексагонал қиёфага эга. (-), $2V=40^\circ$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{\text{табр}}=2.5$ г/см ³
Монтморил- лонит- $(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2$ $[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \text{H}_2\text{O}$	$N_m = 1.516-1.526$	Куч- сиз	Моноклин сингонияли, $a=5.10$, $b=8.33$, $c=15.2$ Å. Кристаллари тангча ҳолида, улар (001) бўйича уланган.
Бейделлит- $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ $(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Кўрсаткичлар сув миқдорига кура ўзгарувчан	Куч- сиз	Моноклин сингонияли. Ромбга ўхшаш пластинкалар ҳолида Уланиш текислиги (001) бўйича. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{\text{табр}}=2.6$ г/см ³
Галлуазит (енделлит)- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ $4\text{H}_2\text{O}$	$N_{\text{уртм}}=1.547-$ 1.550	Куч- сиз.	Моноклин сингонияли, $a=5.20$, $b=8.92$, $c=10.25$ Å, $\beta=100^\circ$ Шаф- фор гелсимон масса, қамчи шакл- ли. Қаттиқлик 1-2, $\rho_{\text{табр}}=2.0-$ 2.2 г/см ³
Аллофан- Al_2O_3 $n\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$N=1.470-$ 1.510	-	Қаттиқ псевдо эритма. У нотекис ёки чиганоқсимон юзалар ҳосил қилувчи типек шишасимон масса. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{табр}}=1.85-1.89$ г/см ³
Sc_2O_3	1.990	-	Куб сингонияли, $\rho_{\text{табр}}=3.860$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2470 ± 50 °C

$\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.850 1.835	0.015	Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{таж}} = 3.490 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1950 °C
$\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.803 1.754 $N_m = 1.785$	0.049	Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{\text{таж}} = 3.390 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1850 °C
Y_2O_3	1.910	-	Куб сингонияли Кристаллари тўғри чиқиқли пластинка кўринишида.
$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.825 1.807 $N_m = 1.815^\circ$	0.018	Икки ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1980°C
$2\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.780 1.765	0.015	Гексагонал сингонияли, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1950°C
$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.747 1.737 $N_m = 1.742^\circ$	0.010	Моноклин сингонияли, икки ўқли, оптик мусбат, сўниши қия. $2V = 60^\circ$
$\text{La}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.875 1.855 $N_m = 1.865^\circ$	0.020	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{таж}} = 5.72 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1930°C
$2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.852 1.837	0.015	Гексагонал сингонияли, оптик манфий, $\rho_{\text{таж}} = 5.31$ ва $\rho_{\text{хис}} = 5.303$ г/см^3 Эриш нуқтаси 1975°C.
$\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.762 1.752	0.010	Оптик мусбат, $\rho_{\text{таж}} = 4.85 \text{ г/см}^3$. 1750°Cда инкон- груэнт парчаланани ($2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{сувоқлик}$)
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{групп}} = 1.880$	0.025	-
$2\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	$N_{\text{групп}} = 1.850$	0.020	Гексагонал сингонияли, $a = 11.36$ ва $c = 4.71 \text{ Å}$
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{групп}} = 1.770$	0.015	
$\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.888 1.871 $N_m = 1.883^\circ$	0.017	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{таж}} = 4.476 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1980°C

$2\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.854 1.835	0.019	Гексагонал сингонияли, бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 4.424 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси 1960°C
$\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.760 1.745 $N_{\text{м}} = 1.755^*$	0.015	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 5.242 \text{ г/см}^3$ 1750°C да парчаланиб эрийди.
$\text{Sm}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.885 1.863 $N_{\text{м}} = ?$	0.022	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 6.36 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси 1940°C
$2\text{Sm}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.860 1.840	0.020	Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 5.77 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси 1920°C
$\text{Sm}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.775 1.765 $N_{\text{м}} = ?$	0.010	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 5.20 \text{ г/см}^3$ 1775°C ли ҳароратда парчаланиб эрийди
$3\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.870 1.855	0.015	Тетрагонал сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий, ферромагнит
$2\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.860 1.840 $N_{\text{м}} = ?$	0.020	Ромбик сингонияли, икки ўқли кристаллар, оптик мусбат, конгруэнт эриши - 2000°C , ферромагнит
$3\text{EuO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.835 1.820	0.015	
$\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.805 1.775	0.030	Гексагонал сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1700°C
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.890 1.870 $N_{\text{м}} = ?$	0.020	Икки ўқли, оптик мусбат, туғри сўнади. Эриш нуқтаси $1980\text{о}30^\circ\text{C}$
$2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.865 1.845	0.020	Гексагонал сингонияли, бир ўқли, оптик манфий. Эриш нуқтаси $1970\text{о}30^\circ\text{C}$
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.775 1.763 $N_{\text{м}} = ?$	0.012	Икки ўқли, оптик мусбат, $1760\text{о}30^\circ\text{C}$ да $2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ ва суоқликка айланади.
$\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.865 1.847	0.018	Икки ўқли, оптик ўқлар орасидаги бурчак 88° . Эриш нуқтаси 1930°C

$2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.853 1.838	0.015	Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 1920°C
$\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.765 1.757	0.008	Икки ўқли, мусбат. 1720°C да $2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ ва суюқликка айланади
$\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.825 1.807	0.018	$\rho_{\text{тадр}} = 6.80 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1980°C
$2\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.800 1.780	0.020	$\rho_{\text{тадр}} = 6.22 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1900°C
$\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.768 1.740	-	$\rho_{\text{тадр}} = 6.10 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1800°C
$3\text{YbO} \cdot \text{SiO}_2$	1.815 1.805	0.010	-
$2\text{YbO} \cdot \text{SiO}_2$	1.800 1.780	0.020	-
$3\text{YbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.780 1.760	0.020	-
$\text{YbO} \cdot \text{SiO}_2$	1.770 1.745	0.025	-
$\text{Yb}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.827 1.807	0.020	Икки ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1950°C .
$2\text{Yb}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.800 1.782	0.018	Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 1920°C .
$\text{Yb}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.770 1.740	0.030	Икки ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1850°C .
Глёт – PbO	2.665 2.535	0.030	Квадрат сингонияли. Жадваллар, пластинкалар. Оптик белгиси (-), $2V = 0^\circ$. Эриши – 886°C
$\alpha - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	2.380 2.310 $N_m = 2.34$	0.070	Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V = 40^\circ$. Эриш температураси 725°C
$\beta - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{призм}} = 2.340$	Куч-сиз	$720-155^\circ\text{C}$ ли ораликда барқарор. Кристаллар призма ва донсимон кўринишда
$\gamma - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	β -формага ухшаш	Куч-сиз	155°C ли ҳароратдан пастда барқарор. Курсатгичлари β -фаза кабидир
$2\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	2.180 2.130 $N_m = 2.150$	0.050	Ромбик сингонияли. Призмалар. (-), $2V = 80^\circ$, сўниши-тўғри. Эриш нуқтаси 723°C
$\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{призм}} = 1.950$	Куч-сиз	Призмалар. Оптик белгиси (-), $2V = 60^\circ$ Эриш нуқтаси 764°C

Барисилит - $3\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртча}} = 2.040$	0.005	Призмалар, жадваллар. Бир ўқли, Оптик белгиси (-), $2V = 0^\circ$
Аламоит - $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	1.968 1.947 $N_m = 1.961$	0.023	Моноклин сингонияли, $a:b:c = 1.375:1:0.924$, $\beta = 95^\circ 50'$ Воллоклоли кристаллар. (-), $2V = 65^\circ$ Каттиқлиги 4.5, $\rho_{\text{таж}} = 6.49 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 764°C
Казоит - $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)_2 \cdot \text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.967 1.890 $N_m = 1.900$	0.077	Моноклин сингонияли, $a = 13.28$, $b = 7.01$, $c = 6.71 \text{ Å}$, $\beta = 103^\circ 42'$. Кристаллар майда призмалар ҳолида (+), $2V = 42^\circ 58'$. Каттиқлиги 4-5, $\rho_{\text{таж}} = 6.46 \text{ г/см}^3$
Бадделит - ZrO_2	2.200 2.130 $N_m = 2.190$	0.070	Моноклин сингонияли. $a = 5.22$, $b = 7.27$, $c = 5.59 \text{ Å}$, $\beta = 99^\circ 7'$. Жадвал-симон кристаллар. Ажралиши (001) бўйича. (-), $2V = 30^\circ$. $\rho_{\text{таж}} = 5.6 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2715°C
Циркон - $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.968 1.923 2.015 1.960	0.045 0.055	Квадрат сингонияли, $a = 6.61$, $c = 5.89 \text{ Å}$. Призмалар, пирамидалар, қушалоқлар. Ажралиши - призма бўйлаб, қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{таж}} = 4.7 \text{ г/см}^3$
$\text{HfO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.950 1.940	0.010	Тетрагонал симметрияли, $a = 6.60$ ва $c = 5.97 \text{ Å}$. $\rho_{\text{таж}} = 3.27 \text{ г/см}^3$
Гуттонит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.9300 1.9000 0.005 0.003 $N_m = ?$	0.030	Моноклин сингонияли стабил форма, $a = 6.80$, $b = 6.96$ ва $c = 6.54 \text{ Å}$, $\rho_{\text{таж}} = 7.2000 \text{ г/см}^3$. 1975°C да ThO_2 ва суюқликка парчаланadi
Торит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.8850 1.8270 0.003 0.003	0.058	Тетрагонал сингонияли метастабил форма, $a = 7.03$, $c = 6.25 \text{ Å}$. $\rho_{\text{таж}} = 6.630 \text{ г/см}^3$
$\alpha - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	-
$\beta - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	1030°C да β -формадан α -формага ўтади.
$2\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	1120°C да $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ва суюқликка айланadi.
$3\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	-

α - SiC	2.689- 2.647- 2.693 2.649	0.042- 0.043	Гексагонал сингонияли. Ингичка базал пластинкалар. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 9.5, $\rho_{\text{тахр}} = 3.2 \text{ г/см}^3$. 3400°C да эримай диссоциацияга учрайди.
β - SiC	2.63	-	Куб сингонияли, $a=4.349 \text{ \AA}$, $Z=4$, $\rho_{\text{тахр}} = 3.216 \text{ г/см}^3$.
Кремний моно- оксиди — SiO	2.00	-	Куб сингонияли, $a=7.135 \text{ \AA}$. Кристаллари бир турли пластинкалар ҳолида учрайди, $\rho_{\text{тахр}} = 2.146 \text{ г/см}^3$.
α -кристобалит- SiO ₂	1.486	-	Куб сингонияли юқори температурали фаза. Кристалларининг формаси-октаэдр ва куб. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тахр}} = 2.27\text{-}2.35 \text{ г/см}^3$. 1710°C да эрийди
β -кристобалит- SiO ₂	1.487 1.484	0.003	Тетрагонал сингонияли, паст температурали. Подисинтетик қўшалоқлар. Бир ўқли, манфий
α -Тридимит- SiO ₂	-	-	Гексагонал сингонияли, 117°C дан юқорида барқарор, $c : a = 1.653$
β -Тридимит- SiO ₂	1.473 1.469 $N_{\text{H}} = 1.469$	0.004	Ромбик сингонияли, 117°C дан пастда барқарор, $a = 9.88$, $b = 17.1$, $c = 16.3 \text{ \AA}$, $Z=64$. 870-1470°C ли оралиқдан ташқарида полиморфизмга учрайди. (+), $2V = 35^\circ$. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тахр}} = 2.27 \text{ г/см}^3$.
α -Кварц- SiO ₂	1.540 1.533	0.007	Гексагонал сингонияли, $a = 5.01$, $c = 5.47 \text{ \AA}$, $Z=3$. 870-573°C оралиғида барқарор.
β -Кварц- SiO ₂	1.553 1.544	0.009	Тригонал сингонияли, $a = 4.903$, $c = 5.393 \text{ \AA}$, $Z=3$. Қисқа призматик кристаллар, 573-20°C да оралиғида барқарор. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тахр}} = 2.65 \text{ г/см}^3$
Китит-SiO ₂	1.522 1.513	0.009	Тетрагонал сингонияли, $a = 7.46$, $c = 8.59 \text{ \AA}$, $Z=12$. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тахр}} = 2.50 \text{ г/см}^3$. 1100°C гача барқарор

Коусит-SiO ₂	1.604 1.599 N _м =1.593	0.014	Моноклин сингонияли, $a = 7.23$, $b = 12.52$, $c = 7.23 \text{ \AA}$, $\beta = 120^\circ$, $Z = 17$. Қаттиқлиги 8, $\rho_{\text{тажр}} = 3.01 \text{ г/см}^3$, (+), $2V = 54^\circ$
Лешательерит-SiO ₂	1.459	-	Аморф шаффоф модда
Халцедон-SiO ₂	1.537 1.530	0.007	Квари структурасига ўқшаш, қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр}} = 2.55-2.63 \text{ г/см}^3$
P ₂ O ₅ - I	1.624 1.599	0.025	Тетрагонал сингонияли стабил фаза. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.89 \text{ г/см}^3$
P ₂ O ₅ - II	1.589 1.545 N _м =1.578	0.044	Ромбик сингонияли метастабил фаза. Икки ўқли, манфий, $2V = 65^\circ$
P ₂ O ₅ - III	1.471 1.469	0.002	Гексагонал сингонияли метастабил фаза. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.28-2.32 \text{ г/см}^3$
Cr ₂ O ₃	N _{уртача} =2.5		Гексагонал сингонияли, $a = 4.95$, $c = 13.57 \text{ \AA}$, Кристаллари призма ва табличка ҳолида. Бир ўқли, мус- бат, $\rho_{\text{тажр}} = 5.2 \text{ г/см}^3$
2CrO-SiO ₂	2.03 1.93 N _м =1.94	0.10	Паст категорияли сингонияга мансуб, икки ўқли, $\rho_{\text{тажр}} = 4.0 \text{ г/см}^3$
Cr ₂ O ₃ 3SiO ₂	1.9050 1.7900 0.05 0.05	0.115	Ромбик сингонияли, икки ўқли, тўғри сўнади. Эриш нуқтаси 1995°C
Коффинит - UO ₂ -SiO ₂	N _{уртача} = ~1.83) 1.88	Урта- ча	Тетрагональ сингонияли, $a = 6.9810$ 0.004, $c = 6.25000 005 \text{ \AA}$. Иссиқлик- дан кенгайиш коэффициентини 80-10 ⁻⁷ га тенг
Теофраит - 2MnO SiO ₂	1.820 1.780 N _м =1.805	0.040	Ромбик сингонияли, $a = 4.86$, $b = 10.62$, $c = 6.22 \text{ \AA}$. Икки ўқли, манфий, $2V = 50^\circ$. Қаттиқлиги 4.2. Конгруэнт эриш нуқтаси 1345°
Родонит - MnO SiO ₂			1291°C да инконгруэнт эриш туфайли тридимит ва суоқликка айланади

Манганозит - MnO	2.230	-	Куб сингонияли, $a = 4.45 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллари октаэдрик қиёфада, ажралиши куб бўйича. Қаттиқлиги 5.5, $\rho_{\text{таър}} = 5.36 \text{ г/см}^3$
Мп-кордирит - $2MnO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$	1.558 1.537 $N_m = 1.558$	0.021	Кристаллари инасимон. Икки ўқли, манфий, $2V$ кичик. Эриш температураси 1200°C
Спессартин - $2MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1.800	-	Куб сингонияли, $a = 11.59 \text{ \AA}$. Додскаэдрик кристаллар. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{таър}} = 4.18 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1200°C $N_{\text{-----}} = 1.655$
Пикротефрит - $2(Mn, Mg)O \cdot SiO_2$	1.740 1.710 $N_m = 1.727$	0.030	Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, $2V = 85^\circ$
$MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.626 1.605 $N_m = ?$	0.021	Триглон сингонияли, икки ўқли, манфий, сўниш бурчаги 43°
$MnF_2 \cdot SiF_4 \cdot 6H_2O$	1.374 1.357	0.017	Триглон сингонияли, $c/a = 0.504$. Призматик кристаллар. Ажралиши (1120) бўйича. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{таър}} = 1.86 \text{ г/см}^3$
Фаялит - $2FeO \cdot SiO_2$	1.875 1.824 $N_m = 1.864$	0.051	Ромбик сингонияли, $a = 4.80$, $b=10.59$, $c = 6.16 \text{ \AA}$. (100) бўйича жадваллар. Ажралиши (010) бўйича яққол ва (100) бўйича сзилар-сзилмас, $2V = 57^\circ$, оптик ориентир $x=b$, $\rho_{\text{таър}} = 4.32 \text{ г/см}^3$
Вюстит - FeO	2.32	-	Куб сингонияли, $a = 4.30 \text{ \AA}$. $Z=4$. $\rho_{\text{таър}} = 5.5 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси 1380°C
Гематит - $\alpha - Fe_2O_3$	3.010 2.780	0.230	Гексагонал сингонияли, $a = 5.04$, $c = 13.75 \text{ \AA}$. Габитуси-ромбоэдр ва пластинка. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{таър}} = 5.2 \text{ г/см}^3$ 1350°C да эрийди
Клиноферросилит - $FeO \cdot SiO_2 - I$	- -	-	Фазавий группаси $P2_1/c$, $a = 9.708500.0008$, $b=9.087200.0011$, $c = 5.228400.0006 \text{ \AA}$, $\beta=108.4320.0004^\circ$, $V=437.600.1 \text{ \AA}^3$, $Z=8$
Ортоферросилит - $FeO \cdot SiO_2 - II$	- -	-	Фазавий группаси $Pbca$. $a=18.4310.0004$, $b=9.08000.002$, $c = 5.2380.0001 \text{ \AA}$, $V=876.600.5 \text{ \AA}^3$, $Z=16$

Ферросилит - $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ - III	-	-	Элементар панжара ўлчамлари: $a = 6.57$, $b = 7.51$, $c = 22.68$ Å, $\alpha = 115.3^\circ$, $\beta = 80.5^\circ$, $\gamma = 95.5^\circ$
Fe-кордирит - $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	1.574 1.551 $N_m = 1.564$	0.023	Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, 2V катта
Альмондин - $3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.830	-	Куб сингонияли, $a = 11.53$ Å Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр}} = 4.32$ г/см ³
Джиллеспит - $\text{FeO} \cdot \text{BaO} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.621 1.619	0.002	Тригонал сингонияли, $a = 7.495$, $c = 16.05$ Å, $Z = 4$ Бир ўқли, ман- фий. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{тажр}} = 3.4$ г/см ³
Антофиллит - $7(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.597 1.584 $N_m = 1.590$	0.013	Ромбик сингонияли, $a = 18.52$, $b = 18.04$, $c = 5.27$ Å. Призма шакл- ли кристаллар. Икки ўқли, мусбат, 2V-катта
$7(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.665 1.640 $N_m = 1.647$	0.025	Моноклин сингонияли, $a = 19.4$, $b = 17.8$, $c = 17.8$ Å. Икки ўқли, мусбат, 2V = 95°
Миннесотаит - $3\text{FeO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.618 1.586 $N_m = 1.618$	0.032	Моноклин сингонияли, $a = 5.4$, $b = 9.4$, $c = 19.1$ Å. Пластинкаси- мон кристаллар. Икки ўқли, ман- фий, 2V = 5°. Қаттиқлиги 2.5, $\rho_{\text{тажр}} = 3 - 3.1$ г/см ³
Нонтронит - $\text{Fe}(\text{OH})\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.640 1.617 $N_m = 1.637$	0.023	Моноклин сингонияли, $a = 5.23$, $b = 9.11$, $c = 15.25$ Å. Юпка пла- стинкасимон кристаллар, (-), 2V = 40°, $\rho_{\text{тажр}} = 2.6$ г/см ³
$\text{FeF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.384 1.364	0.020	Тригонал сингонияли, $c/a = 0.503$. Бир ўқли, мусбат
Кобальтовый оливин - Фаялит - $2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$	1.940 1.890	0.050	Ромбик сингонияли, сүниши- тўғри, $\rho_{\text{тажр}} = 4.677$ г/см ³ на $\rho_{\text{хис}} =$ 4.74 г/см ³ 2V-уртача. Элементар панжара ўлчамлари: $a = 5.99$, $b = 4.77$, $c = 10.27$ Å
Шпинел - $2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-	Шпинел структурали, $a =$ 8.140 ± 0.005 Å на $\rho_{\text{хис}} = 5.17$ г/см ³
$\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$ - I	-	-	Ромбик пироксен структурали кристаллар
$2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$ - II	-	-	Моноклин пироксен структурали кристаллар

Кобальтовый монтичеллит – $\text{CdO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.748 1.698 $N_m=1.738$	0.050	Паст категорияли сингонияга эга, $a = 6.39$, $b = 4.81$, $c = 11.06$ Å Бипирамидал – призматик кристаллар, $2V=53^\circ$, $\rho_{\text{тажр}} = 3.69$ г/см ³
$\text{CoF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.387 1.381	0.006	Тригонал сингонияли, $a:c = 0.522$. Призматик ва ромбоэдр кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.09$ г/см ³
Никельсвий оливин – $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{I}$	2.019 1.976 $N_m=1.987$	0.043	Ромбик сингонияли, фазавий группаси $R\bar{3}m$, оливин структурали, $a=4.724$, $b=10.105$ ва $c=5.928$ Å, $Z=4$, оптик мусбат, узайиши мусбат, сўниши-тўғри, $2V=97^\circ$ ча, $\rho_{\text{тажр}} = 4.72$ г/см ³
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{II}$	- -	-	Шпинел структурали, $a = 8.044$ Å, $\rho_{\text{тажр}} = 5.34$ г/см ³
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{I}$	1.661 1.653 $N_m=1.656$	0.008	Моноклин сингонияли, $a=7.75$, $b=9.02$ ва $c=5.35$ Å, $\beta = 91^\circ 39'$
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{II}$	1.665 1.655 $N_m=1.661$	0.010	Ромбик сингонияли, $a=8.66$, $b=17.74$ ва $c=4.99$ Å
Гарньерит – $(\text{Ni}, \text{Mg})_6(\text{OH})_6$ $\text{Si}_4\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.630 1.622 $N_m=1.630$	0.008	Моноклин сингонияли, (+), $2V = 0-10^\circ$
Бунзенит – NiO	2.270	-	Куб сингонияли, $a=4.18$ Å, $Z=4$. Кристаллари октаэдрик қисфада. Қаттиқлиги 3.5, $\rho_{\text{тажр}} = 6.8$ г/см ³
$\text{NiF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.406 1.391	0.015	Тригонал сингонияли, $a:c = 0.514$. Кристаллари узайтирилган призмалар қўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.13$ г/см ³
Шеселит – CaWO_4	1.936 1.920	0.016	Тетрагонал сингонияли, $a=5.25$, $c=11.36$ Å, $Z=4$, Кристаллари пирамида ва жадвал қўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 6.10$ г/см ³ . Эриш нуқтаси - 1570 °С.
Повеллит – CaMoO_4	1.984 1.974	0.010	Тетрагонал сингонияли, $a=5.24$, $c=11.46$ Å, $Z=4$, Кристаллари пирамида ва пластинка қўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 4.20$ г/см ³

Стронцийли повеллит — SrMoO_4	1.926	1.921	0.005	Тетрагонал сингонияли, $c:a=1.574$, $Z=4$. Кристаллари пирамида кўринишида. Бир ўқли, мушбат. $\rho_{\text{таъ}} = 4.15 \text{ г/см}^3$
Вульфенит — PbMoO_4	2.405	2.283	0.122	Тетрагонал сингонияли, $a=5.41$, $c=12.1$, $Z=4$. Кристаллари пирамида ва жадвал кўринишида. Бир ўқли, манфий. $\rho_{\text{таъ}} = 6.75 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси — 1065°C .
Штольцит — PbWO_4	2.27	2.19	0.08	Тетрагонал сингонияли, $a=5.46$, $c=12.05$, $Z=4$. Кристаллари пирамида кўринишида. Бир ўқли, манфий. $\rho_{\text{таъ}} = 7.9-8.3 \text{ г/см}^3$.
Гюбнерит — MnWO_4	2.283	2.150	0.133	Моноклин сингонияли, $a=4.85$, $b=5.77$, $c=4.98$, $\beta=90^\circ 53'$. Кристаллари призма кўринишида. Икки ўқли, мушбат. $\rho_{\text{таъ}} = 7.10 \text{ г/см}^3$

Такрорлаш учун саволлар

1. Микроскоп термини нимани англатади?
2. Кристаллар дунёсини ўрганишда микроскопнинг ўрни қандай бўлган?
3. Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар — нур синдириш кўрсаткичи ва бошқалар қандай изоҳланади?
4. Қаттиқ моддаларнинг асосий хусусиятлари — симметрия ўқлари, симметрия текислиги, симметрия маркази, кристалларнинг иккиланиб синуш кучи, чўзиқ кристалларнинг сўниши, узайиш белгиси, кристалларнинг оптик белгиси ва бурчак катталиги, габитус, кристалл ўлчами, ажралиш қобилиятлари, қўшалокликлари, ранг ва плеохроизм ҳақида тушунча беринг.
5. Минераллар, хом ашёлар, ярим маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотларнинг оптик хусусиятлари қандай асбоблар ёрдамида аниқланади?
6. Кристаллооптика усулида табиий ва сунъий кимёвий бирикмалар, хом ашё, материал ва буюмлар, минерал ва композицияларнинг оптик кўрсаткичлари қандай қонунларга бўйсунди ва аниқланади?
7. Микроскопнинг қандай турларини санаб бера оласиз?
8. Микроскоплар учун қандай мосламалар мавжуд?
9. МИН-8 маркали поляризацон микроскопининг асосий деталлари номини айтиб беринг.

10. Микроскопларнинг катталаштириш даражаси қандай аниқланади?

11. Шлифларнинг қандай турлари бор?

12. Микроскопия препаратларини тайёрлаш усулини келтиринг.

13. Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди — кремний оксиди тизимидаги фазаларнинг оптик характистикалари фарқи қандай?

14. Корхона шароитида маҳсулотлар сифатини назорат қилишда микроскопия усулидан фойдаланиш мумкинми?

15. Усулдан фойдаланишнинг имкониятларига оид маълумотларни келтиринг.

16. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари ҳақида қандай фикрдасиз?

УЧИНЧИ БОБ

ИНФРАҚИЗИЛ СПЕКТРОСКОПИК ТАҲЛИЛ

17-§. Инфрақизил нурларининг табиати

ИҚ нурланиш биринчи марта 1800 йилда инглиз олими Уильям Гершель томонидан очилган. У термометрни қуёш спектри бўйлаб ҳаракат қилдирганда 0.86 мкм дан юқориқроқда симоб столбининг юқорилаб кетганлигини аниқлаган. Бу ҳодиса рўй берган макон инфрақизил нурланишнинг пастки чегараси эди холос. «Инфрақизил» термини Стокс томонидан 1852 йили киритилган «ультрабинафша» терминидан фарқи равишда Беккерель томонидан 1869 йили киритилади.

1834 йили Меллона томонидан утказилган тадқиқотлар натижасида инфрақизил нурларининг қайтарилиш ва синиш табиати ёруғлик нурларининг табиатига ўхшаш эканлиги тасдиқланди. Бундан биров кейинроқ Ампер ва Кноблаух томонидан янги кашф этилган нурларининг тарқалиши, қайтарилиши, поляризация ҳамда интерференцияси худди ёруғлик нурларидек кечиши, аммо улардан тўлқин узунлигининг катталиги билан фарқланиши исботланди.

Инфрақизил нурланиш спектрининг юқори чегарасига етиб бориш узоқ давом этган тадқиқотлар натижасида рўй берди. Бунинг учун жуда кўп нурланиш манбаалари текширилди, турли материаллардан ясалган призмалар урганилди. Натижада бу рақам 350 мкм атрофида бўлиб, у радиотўлқинлари билан чегарадош эканлиги тасдиқ топди.

Молекуляр спектроскопия спектрал таҳлил усуллари туркумига кирали. Спектрал таҳлилда моддаларнинг кимёвий таркиби ва тузилиши атом ва молекулаларни нур ўтказиш ва қайтариш спектрларини текшириш орқали олиб борилади.

Моддаларнинг квант тузилиши назарияси, атом ва молекула ҳолатини ўзгариши, электромагнит энергия ютилиши ва нурланиши уларда фақат дискрет улушларда содир бўлиши мумкинлигини кўрсатади. Бунга модданинг атом ва молекулаларини

мураккаб тузилмали энергия даражаси мос келади. Энергия квантлар ҳолатида ютилади ва нурланади. Бу ҳолат $h\nu$ га тенг. Бу формуладаги h - универсал константа, яъни Планк доимийлиги бўлиб, у $6,6 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек га тенг. ν эса нурланиш майдони частотасидир (ИҚС макони $\nu=4 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{11}$ Гц). Атом ядроларининг ҳолатини ўзгаришида бу $h\nu$ катта қийматга эга бўлиши зарур. $h\nu$ энергияси электрон қобилларни ўзгаришида кичик ва молекулаларнинг ҳолатини ўзгаришида - жуда кичик катталиikka эга бўлиши керак. Майдон частотаси ν ҳам турлича бўлади: биринчи ҳолда у γ -нурланиш ($0,00001-10^{-4}$ мк), иккинчи ҳолда - рентген ($0,01-0,00001$ мк), ультрабинафша ($0,01-0,40$ мк), кўринадиган ($0,40-0,76$ мк) нурланиш ва ниҳоят охириги ҳолда ИҚ маконидаги нурланиш ($0,76-1000$ мк).

Маълумки, электромагнит майдон билан муҳитнинг ўзаро таъсири нурланиш тулқин узунликларида кучли тарзда ўзгаради. Масалан, ультрабинафша нурланиш фотохимёвий таъсирга, рентген ва γ -нурланиш- катта сингиш (кириб кетиш) хусусиятига эга. ИҚ нурланиш фақат молекула ёки молекуладаги атомларнинг алоҳида гуруҳлари билан мулоқотда бўлади, ҳамда моддадаги кучсиз боғланган ёки “озод” ташувчи зарядлар билан ўзаро таъсирлашади.

Юқоридагиларга асосланган ҳолда ИҚС усули асосида турли органик ва ноорганик гуруҳларнинг (қаттиқ бўлак ёки жисм) хоссаларини аниқлаш, нур ютилиши ёки қайтиши полосаларининг аниқ хусусиятини бериш устида ишлар қизиб кетди. Одатий полосалар гуруҳларнинг энергетик ўзгаришида тебранма ёки айланма даража орасидаги энергия ҳамда электронларнинг кузатилган ҳолатидаги валент ўзгаришига боғлиқлиги аниқланди.

Органик бирикмаларнинг тузилишини ИҚС усулида текшириш бундан 70 йил аввал нур қайтариш спектрларини олиш ва ўрганиш билан бошланган. Кварц $8,5$ мк да 80% атрофида ИҚ радиация қайтаришини Никольс топган. Асримиз бошида Кобленц турли хил силикатлар тури ИҚ спектрларига эга эканлигини аниқлаган. Силикатларнинг нур қайтариш спектрлари бўйича Шефер, Матосси (1930-1938 й.), нур ютиш спектрлари бўйича Тарт (1950-60 й.), Флоринская (1960-1970 й.), Лазарев (1960-1970 й.) ва бошқалар (Колесова В.А., Шевяков А.М., Плюснина И.И., Солнцева Л.С.) систематик ишлар олиб боришган.

ИҚ нурланиш табиати кўринадиган ва радио нурланишлар табиатига ўхшашдир.

ИҚ нурланиш- бу 0,76 дан 1000 мк гача тўлқин узунлигида- ги (ёки тўлқин сонлари $13160-10 \text{ см}^{-1}$) электромагнит нурланиш бўлиб - ёруғлик спектрлари (0,40 - 0,76 мк) ва радиотўлқинлар [$\lambda > 1 \text{ см}^{-1}$ (1000мк)] ораллигидаги нурланишдир. Ҳозирги вақтда силикатларни ўрганишда кўпинча ИҚ нурланишнинг 2дан 25-40мк гача бўлган маконлари қўлланилади.

Нормал ИҚ нур оқими силлиқланган, ясси модда юзасига тушганда:

а) ундан қайтади;

б) модда заррачаларида ютилади ва ёйилади;

в) нур ўтказилади.

ИҚ нурларини қайтариш спектрлари қуйидаги формула орқали топилади:

$$I_p = \rho \cdot I_0.$$

бу ерда, I_p - қайтган нурлар оқими;

ρ - модданинг нур қайтариш коэффициентини;

I_0 - модда юзасига тушаётган нормал нур оқими.

ИҚ нурларнинг ўтқизиш спектрлари қуйидагича топилади:

$$I = (1 - \rho^2) I_0 \cdot e^{-kt}.$$

бу ерда, k - модданинг нур ютиш коэффициентини;

t - нур ютаётган қаватнинг қалинлиги.

Нур қайтиш ва ўтқизиш спектрларининг қиймати қуйидагиларга боғлиқ:

1) нур ютиш коэффициентини k , нур қайтариш коэффициентини ρ ва модданинг нур синдириш кўрсаткичи n га;

2) кристалл панжара сингонияларига;

3) тузилмаларнинг массалар ва ион радиусларига, бунда масса қанча кўп бўлса, бир сингония кристаллари нур ютишининг асосий полосалари шунча кўп узун тўлқинли макон тарафига силжийди;

4) панжарадаги изоморф қўшилмалар ва бошқа факторларга.

18-§. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари

ИҚ маконида нур ютилиши, асосан ИҚ нурланиши таъсирида модда молекулалари ёки ионларининг айланма ва тебранма ҳаракат ўзгариши, баъзан уларнинг электрон қобиллари деформацияга учраши билан изоҳланади. Энг кўп ИҚ нурининг ютиши кристалл панжара ва унинг компонентлари (молекула,

ионлар)нинг тебраниш частоталарига амалий жиҳатдан мос келади. Бу тебранишларнинг ҳолати ва частоталари модданинг табиатига, молекулалари (ионлари) жойлашишига, улар орасидаги масофа ва бошқаларга боғлиқ.

Модда ҳолатига тебраниш частоталарининг боғлиқлигини умумий қурилишда қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\nu = 1/2\pi c \quad \gamma/k,$$

бу ерда, ν - тебраниш частотаси;

k - келтирилган мураккаб анионнинг атом массаси;

γ - кучланиш доимийлиги. XO_4 тетраэдр учун $1,86 \times 10^5 / R \cdot d_1$ га тенг бунда, R - ион радиуси;

d_1 - XO_4 тетраэдрга кирувчи, X атоми учун одатий ва берилган атомни элементлар даврий жадвали ўрнига боғлиқ константа;

C - модданинг константаси.

Валент боғлар бўйича содир бўладиган тебранишлар валент тебранишлари, уларга перпендикуляр бўлганлари эса деформацион тебранишлар дейилади.

ИҚ нурларни ютиш спектрлари ёрдамида тузилишни ўрганиш ва текшириш усулларидан келиб чиққан ҳолда (препарат тайёрлаш, текшириш учун аппарат танлаш) қаттиқ моддалар икки синфга бўлинади:

1) Бир тартибли мураккаб бўлмаган гуруҳ компонентлари (ионлари, молекулалари) орасидаги масофа ва энергияга боғлиқ бўлган кристалл модданинг ИҚ нурларни ютиш спектрлари.

Кристалл модда умумий равишда бир молекулани намоён этади. Бундай моддаларда фақат оддий панжараларнинг бошқаларга нисбатан тебраниши базис ячейкаларининг айланиши панжаранинг бузилишига олиб келади. Бундай панжара тебранишларини ҳисоблаш мураккаб, бунда куп сонли ионларнинг боғлиқлигини ҳисобга олиш лозим. Бир қанча соддалаштиришлардан мумкин бўлган тебранишлар сони ёки нур ютиш полосаларини аниқлаш мумкин. Бундай кристалллар таркибига нисбатан оғир ионлар киради, шунинг учун уларнинг тебраниш частоталари узун тулқинли спектрларда (12-15 мк дан катта ёки $800-700 \text{ см}^{-1}$ дан кичик) намоён бўлади.

Моддаларнинг аморфлик ҳолатининг уларнинг ИҚ спектрларга таъсири старлича ўрганилмаган. Аморфизацияда ютилиш полосалари кенгайиб, уларнинг нозик тузилмаси йўқолиши мумкин.

Ҳозирги кунда бирорта маълум кристалл тузилма ёки аморф модданинг ҳамма тебранишларини аниқлаш (модданинг барча ютиш полосалари ҳолати) ва аксинча, маълум бўлган ИҚ нурларини ютиши спектрлари орқали ионларнинг кристалл панжараларида жойлашишини олдиндан айтишнинг имконияти йўқ ва моддаларнинг тузилишидаги баъзи ҳолатларнигина ИҚ нур ютиш спектрларини ўрганиш орқали аниқлаш мумкин.

Масалан, кубик сингонияга эга кристаллар (Шефер, Маттосси, 1935 й.) ўзининг биттадан тебраниш частотасига эга. Улар массасининг тебранувчи атомлари массаси қанча кўп бўлса, бу полоса шунча узун тулқинли маконда сурилган бўлади:

$\text{MgO } \lambda = 14,2 \text{ мк (704 см}^{-1}\text{)}$ $\text{KCl} = 63 \text{ мк (159 см}^{-1}\text{)}$

$\text{CaO } \lambda = 22 \text{ мк (455 см}^{-1}\text{)}$ $\text{NaCl} = 52 \text{ мк (192 см}^{-1}\text{)}$

Кубик сингонияга эга бўлган кристалларнинг бир қанчасида битта ўрнига иккита максимумли нур ютиш полосалари мавжуд (масалан, NaCl учун иккинчи нур ютилиш $\lambda=39$ мк га мос келади (Лекопт, 1958 й.). Бу фақат шартли равишда Борннинг кристаллодинамик назариясининг тахмини бўйича - панжаранинг қўшимча тебранишлари, қўшни элементар ячейкаларнинг атомлари эквивалент ҳолатда қарши фазада тебраниши орқали тушунтирилади. Бундай тебранишлар сони катта бўлиши мумкин. Масалан, юқори панжарали кварц учун назарий жиҳатдан 189 тебраниш бўлиши мумкинлигини кўриш мумкин.

ZnO ва BeO (гексагонал сингонияда) типдаги оксидлар мураккаб нур ютиш спектрига эга. Бундай кристалларнинг элементар ячейкасида 4 атом мавжуд ва шахсий тебранишлар сони $3 \times 4 - 6 = 6$ ни ташкил этади, улардан Брестер бўйича фақат 2 таси актив, Тольксдарф бўйича эса учтаси: $\text{BeO} = 8,2 \text{ мк (1222 см}^{-1}\text{); } 10,7 \text{ мк (935 см}^{-1}\text{)}$ ва $14 \text{ мк (713 см}^{-1}\text{); ZnO} = 15,2 \text{ мк (658 см}^{-1}\text{); } 22 \text{ мк (455 см}^{-1}\text{)}$ ва $28 \text{ мк (357 см}^{-1}\text{)}$.

2) Ички кучларининг боғланиши гуруппаларо боғланишга нисбатан кучли бўлган, ўзининг тузилмасида мураккаб гуруҳга (ионлар, молекулалар) эга бўлган кристалл моддаларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари.

Агар панжарада анион ва катионлар комплекси ёки гуруҳ атомлари ўзаро мустаҳкам боғланган бўлса, интерпретация ва тебранишлар ҳисоби ёки уларга мос келувчи нур ютиш полосаларини аниқлаш ва модданинг тузилишини ИҚ спектрлар орқали ўрганиш жуда осон бўлади. Бу гуруҳларни (масалан,

[SiO₄]⁴⁻) етарли даражада изолировка қилинган ва уларни катта бўлмаган атомлар сонидан ташкил топган молекула деб қараши мумкин.

Мураккаб гуруҳдан ташкил топган моддаларнинг тебранишини:

а) ички тебраниш, яъни комплекс гуруҳ атомларининг ички тебраниши;

б) ташқи тебраниш, яъни бошқа гуруҳ ёки атомларга нисбатан комплекс гуруҳ тебранишига киритиш мумкин.

Кристалларнинг айрим булакларини ажратиш ва уларнинг тебранишини тажриба билан кўриш исботлайдики: агар гуруҳни ташкил этувчи элементларнинг атом оғирлиги қўшни гуруҳ элементларининг атом оғирлигидан маълум равишда фарқ қилса.

Бундай ҳолларда гуруҳ учун барча шахсий тебраниш ва уларни симметрияга таъсирларини назарий жиҳатдан ҳисоблаш мумкин. Полосалар кўриниши, ҳолати ва сони бўйича умумий ҳолда қайси гуруҳ бирикма таркиби (кристалл панжара)га кириши ва унинг тузилиши ёки кристалл панжара таъсиридаги унинг деформациясини аниқлаш мумкин. Гуруҳ тузилиши (деформацияси) кўпроқ ундаги атомларнинг сони ва жойлашишига боғлиқ. Бундан ташқари, баъзан қаттиқ моддаларда гуруҳлар, бошқа ион ёки нейтрал зарралар орасидаги ўзаро таъсир билан комплекс гуруҳ тузилишида (унинг симметрияси ва баъзи боғларда тебраниш частотаси ўзгаради) комплекс гуруҳ тузилишида ўз аксини топади.

Шунга жавобан 2 - синф қаттиқ моддалар тузилишининг аҳамиятига қўра, амалий жиҳатдан ИҚ нур ютиш спектрлари ўртасидаги боғланиши қуйидагича белгиланади:

1) нур ютиш полосасининг сони гуруҳ симметрияси ва атомлари сонига боғлиқ;

2) Гуруҳларнинг нур ютиш полосалари ва уларнинг силжишлари ҳамда бошқа гуруҳлар (ёки катионлар ва нейтрал зарралар) ва бир хил гуруҳларнинг ўзаро жойлашишига боғлиқ.

Гуруҳларнинг маълум даражада қонуний жойлашиши масаласига келсак, масалан, бир турли сингония кристаллари учун, текширилаётган мураккаб гуруҳнинг нур ютиш полосаси ҳолати қўшни гуруҳ улчамлари ва массаси билан аниқланади. Бу ҳолат модданинг инденфикацияси ёки модда синфини (масалан, кислота, альдегидларнинг тузи, катионлар ва бошқалар) аниқлаш учун асос бўлиб хизмат қилади.

Баъзи минераллар (доломит, людвигит, гранат, хлорит) учун ИҚ нур ютиш полосаси изоморф гуруҳлар ҳолатига тўғри пропорционал равишда силжиши топилган (Архипенко, 1963 й.; Александров, 1965 й.; Ковалев ва бошқалар, 1965 й.). Бу шуни билдирадики, изоморф гуруҳ (ион) текшириладиган гуруҳ нур ютиш полосасини силжишини юзага келтиради. Минералнинг механик қўшилмалари эса текшириладиган модданинг нур ютиш полосаси ҳолатида ўзгаришлар содир этмайди. Қўринишидан нур ютиш спектри бўйича моддадаги компонентларнинг шаклини чиқиши ва полосанинг силжиш катталиги бўйича изоморф қўшимчалар сонини аниқлаш имконини беради.

Модданинг кристаллелигини ИҚ нур ютиш спектрларига таъсири, баъзи гуруҳларнинг нур ютиш полосаларини сони ва парчаланиши билан ифодаланади, чунки парчаланиш тавсифи кристалл панжара тури билан аниқланади. Аморф моддаларда парчаланиш полосаси кузатилмайди.

Кристалл ва аморф моддаларда гуруҳ (ион, нейтрал заррача)нинг ўзгариши (изоморфлилиги)ни текшириладиган гуруҳнинг нур ютиш полосасини бироз силжишига олиб келади. Бунда кўпинча ҳар бир полосанинг парчаланиш ҳолати сақланади. Баъзан полосанинг интенсивлик нисбати ўзгаради.

XU_4 гуруҳ (SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} ва бошқалар) тўғри тетраэдрда намоён бўлса, иккита тебраниш частотасига эга ва агар тетраэдр қайишганроқ бўлса, тўртта тебранишга эга. Чунки мос келувчи нур ютиш полосалари бу ҳолда парчаланаяди. Берилган намунадан нур ютиш полосаларининг сони ва қўриниши бўйича гуруҳ тузилиши ҳақида хулоса қилиш мумкин.

Тетраэдрларнинг деформацияга учраши ва унинг натижасида инфрақизил нурларни ютиш чизиқлари ўзгариши мумкинлигини биринчи мартаба Брестер қайд этган. Модда таркибига кирган элементнинг атом огирлиги, радиуси, атомлар орасидаги масофа ва кимёвий боғланиш тури — ионли, ковалентли, металл, водородли ва ҳоказога қараб ютилиш чизиқларининг қиймати ва ҳолати ўзгаради. Шунинг учун инфрақизил нурларини ютиш даражаси, полосалар сони ва қўринишига қараб қайси гуруҳ ёки модда устида гап кетаётганлиги ҳақида фикр юритиш мумкин.

Масалан, ютилиш полосалари тааллуқли: силикатлар ва SiO_4 га- 1100-900, 830-740 ва 500-400 cm^{-1} ; боратлар, BO_3 ва BO_4 ларига- 1300-1150, 1050-900 ва 780-660 cm^{-1} ; фосфатлар ва

PO_4 га—1100-1000, 830-780 ва 650-500 см^{-1} ; арсенатлар ва AsO_4 га — 900-780, 550-400 ва 350 см^{-1} ; сульфатлар ва SO_4 га—1250-1000, 650-610 ва 450 см^{-1} ; карбонатлар ва CO_3 га—1450-1410, 880-860 ва 740-680 см^{-1} ; нитратлар ва NO_3 га—1380-1350 ва 840-815 см^{-1} ; вольфраматлар ва WO_4 га- 930-810, 450-400 ва 320 см^{-1} ; молибдатлар ва MoO_4 га — 950-810, 450-400 ва 320 см^{-1} ; вана-датлар ва VO_4 га — 1150-730, 480-450 ва 350 см^{-1} .

19-§. Кальцит минералининг инфрақизил спектрлари ҳақида

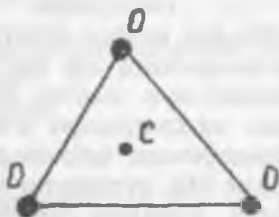
Кальцит минерали CaCO_3 табиатда кўп тарқалган табиий минераллар туркумига киради. У богловчи ва шиша маҳсулотлари ишлаб чиқаришда кенг қўлланиладиган хом ашё бўлиб хизмат қилади.

Сувсиз карбонатлар, шу жумладан, кальцит минералининг инфрақизил спектрларини ўрганиш 1950-1963 йиллар давомида Адлер, Келлер ва Керр томонидан амалга оширилган. Кальцит — доломит аралашмасидан минералларни ажратиб олиш методикаси Хант ва Тернер томонидан 1962 йили ҳал этилди. Турли карбонат минераллари миқдорини уларнинг аралашмаси спектрларидан аниқлашга Честер томонидан 1967 йили уриниб кўрилди.

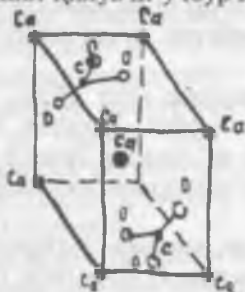
Табиий ва синтетик карбонатлар ИҚ спектрини текшириш 1952-1971 йиллар ичида Миллер, Вайт, Анжино, Ле Наво, Харитонов ва бошқалар томонидан систематик равишда олиб борилди. Натижада карбонат минераллари спектрларининг асосий частоталари аниқланди:

Модда	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4
Кальцит- CaCO_3	-	879	1429-1492	706
Арагонит- CaCO_3	1080	866-852	1492-1504	706
Магнезит- MgCO_3	1096	886-851	1460	735
Доломит- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	-	880-857	1460	727-697
Стронцианит- SrCO_3	1070	841-871	1461	702
Родохрозит- MnCO_3	-	848-871	1430	727
Смитсонит- ZnCO_3	-	859-858	1428	743
Ватерит- BaCO_3	1060	837-840	1435	687
Церусит- PbCO_3	1051	839	1397	678-668

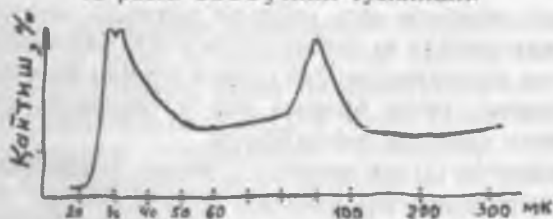
Қуйида CaCO_3 минералининг ИҚ спектрлари батафсилроқ куриб чиқилади. CaCO_3 - кальцит: У CO_3^{2-} группасидан ташкил топган ва С атомлари ясси бир хил томонли учбурчак марказини ҳосил қилади. Бу ерда тўртта шахсий тебраниш, ҳар бирига мос келувчи ўзининг нур ютиш полосаси бўлиши мумкин. Углероднинг координацион сони 6 га тенг. Қуйида учбурчак ёки пирамида (11-расм), кальцит тузилиши (12-расм), унинг ИҚ нурларини қайтариш (13-расм) ва ютиш (14-расм) спектрлари берилган.



11-расм. Кальцитни ташкил қилувчи учбурчак ёки пирамида.



12-расм. CaCO_3 нинг тузилиши.



13-расм. Кальцитнинг нур қайтариш спектри.



14-расм. Кальцит минералининг ИҚ нурларини ютиш спектрлари.

Кальцитининг ИҚ нур ютиши спектрларида ва CO_3^{2-} мураккаб анионида атомларининг ҳар бир нур ютишга мос келувчи шахсий тебранишлари шартли кўрсатилган (14-расм). Юқори нур ютилиш максимумлари ички тебраниш CO_3^{2-} комплекс анион атомларининг тебраниши билан аниқланади. 14-расмда келтирилган ИҚ нурларини ютиш спектрида 4 та полоса мавжуд бўлиб, қуйидаги тебранишларни англатади: 1-тебраниш (7 мк области)- икки атом О бир-биридан узоқлашади, учинчи атом О ва марказий С ҳаракатини олдинги икки атомга нисбатан перпендикуляр йўналиши бўйича бажаради.

Агар CO_3^{2-} учбурчаги ясси бўлса, унга фақат битта нур ютиш полосаси мос келади. Нотўғри пирамида ёки ҳар хил томонли учбурчақда бу полоса ўрнига қиймати яқин бўлган (шахсий частотанинг парчаланиши содир бўлади) иккита полоса пайдо бўлади.

2-тебраниш (10 мк макон)- учбурчақ марказидаги атом С ҳаракат қилмайди, лекин О атомлари (учбурчақ чўққисидаги) марказ билан чўққи орасидаги чизикда тебраниш ҳосил қилади.

Бундай тебраниш ясси учбурчақ ҳолатида электрик моменти ўзгартирмайди ва шунинг учун у ИҚ майдонида ноактив, нур ютиши кузатилмайди ёки полоса ўта кам интенсив бўлади. Агар учбурчақ тўғри бўлмаса ёки у пирамида кўринишида бўлса, ютиш полосаси пайдо бўлади.

3- тебраниш (11 мк макон)- С атоми тебраниши учбурчақ юзасига перпендикуляр йўналиш бўйича бўлади, О атомлари учбурчақ юзасининг баъзи бир бурчаклари бўйича қарама-қарши равишда содир бўлади.

Нур ютилиши ҳар қандай ҳолат (ясси учбурчақ, томонлари ҳар хил учбурчақ ёки пирамида) да содир бўлади.

4-тебраниш (13,5 мк макон)- иккита O^- атомлари бир-биридан узоқлашади, учинчи O^- атоми бу вақтда учбурчак юза-сида аниқ траектория бўйлаб ҳаракат қилади.

Агар CO_3^{2-} томонлари бир хил учбурчак бўлса, битта нур ютиш полосаси бўлади, агар томонлари ҳар хил учбурчак ёки пирамида бўлса, бунда тебраниш иккита мос келмайдиган, қийматлари жиҳатидан эса бир-бирига яқин бўлади.

20-§. Таҳлил имкониятлари

Инфрақизил спектроскопик таҳлилдан қуйидагиларни тек-ширишда фойдаланилади:

- а) кимёвий бирикмалар;
- б) минераллар;
- в) тупроқлар;
- г) қурилиш материаллари;
- д) керамик хом ашёлар ва бошқалар.

Текширишдан кузатилган мақсад:

1) Бирикма, минерални диагностика қилиш учун (сони, парчаланиши ва полосаларининг ҳолати бўйича).

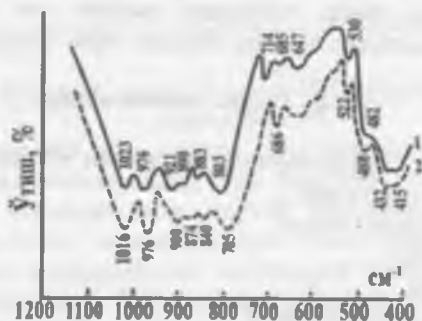
Бу ҳолатни расшифровка қилишнинг икки моменти бор: а) иккинчи минерал номаълум, спектрлар бўйича биз уни геле-нитларга ҳослигини ва унинг Me_2^{2+} Me_2^{3+} $Me^{4+}O_7$ кўринишидаги формулага эга дейишимиз мумкин; б)синтетик $Sr_2Al_2SiO_7$ оксидларидан синтез қилинган ва хоссалари бўйича у геленитга мос келади (15-расм).

2) Ярим миқдорий кимёвий таркибни аниқлаш учун: Маса-лан, айтийлик 4-чи намуна таркиби номаълум, лекин 3-чи на-муна таркибини билган ҳолда ёзамиз: $Ca_{16} TR_8 Al_8 Si_{16} O_{72}$ (16-расм).

3) Кристалл ёки аморф моддаларнинг кристалланиш дара-жасини аниқлаш учун. 17-расмда 15-чи спектр $LaMgAlSiO_6$ моддасига тегишли бўлиб, унинг поликристалларидан иборат, 1-чи спектр $CaMgSi_2O_6$ га тааллуқли бўлиб, унинг шишасимон ҳолатда эканлигини тасдиқлайди. Намуналар $1550^\circ C$ ли ҳароратда 1 соат давомида синтез қилинган ва тез тобланган.

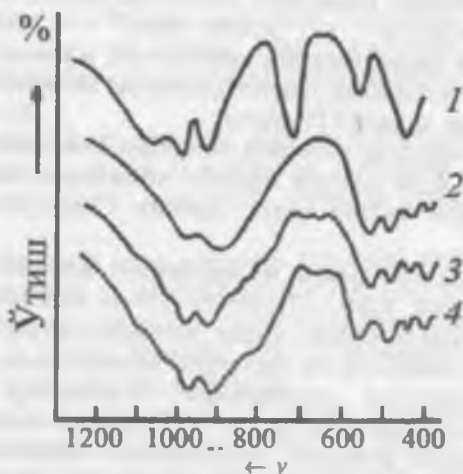
4) Моддадаги мураккаб гуруҳларнинг таҳлили (18 ва 19-расмлар), масалан, SiO_4 , AlO_4 , AlO_6 , MgO_4 , MgO_6 ва бошқа анионлар (нур ютиш полосаси ҳолати ва миқдори бўйича аниқланади).

5) Моддаларнинг қиздириш ва бошқа турли реакцияларда ўзгариш жараёнини (янги модда пайдо бўлиши, фазалар аралашмаси, оралиқ маҳсулотлар, диссоциация ва бошқалар) ўрганиш.



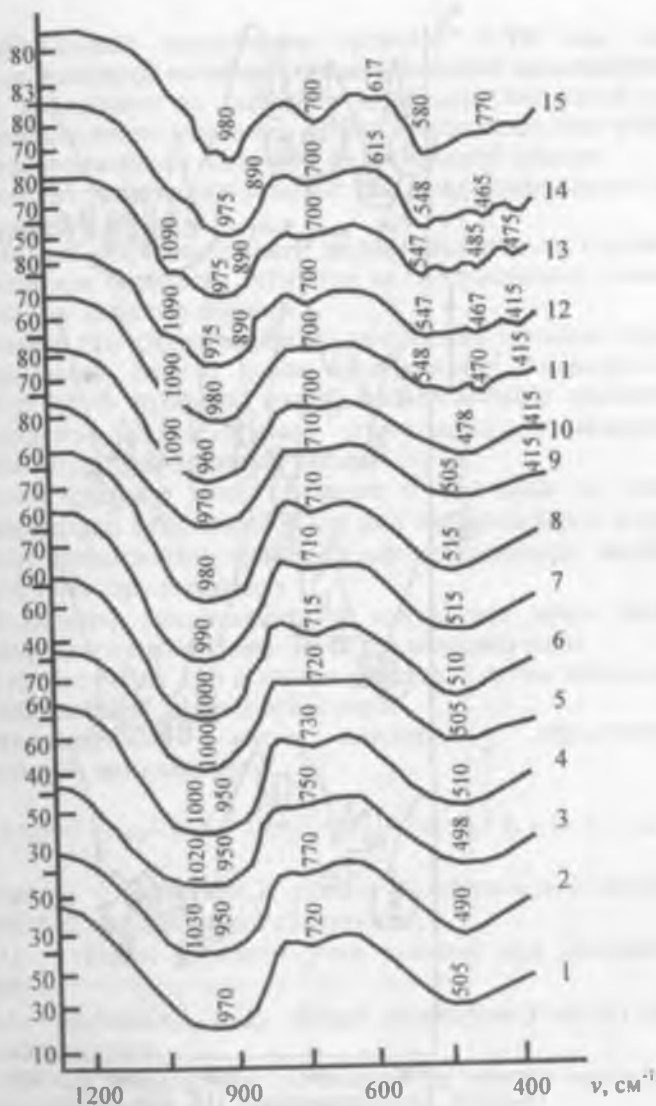
15-расм. Синтетик мелилитларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

1- $\text{Ca}_2\text{SiAl}_2\text{O}_7$; 2- $\text{Sr}_2\text{SiAl}_2\text{O}_7$.

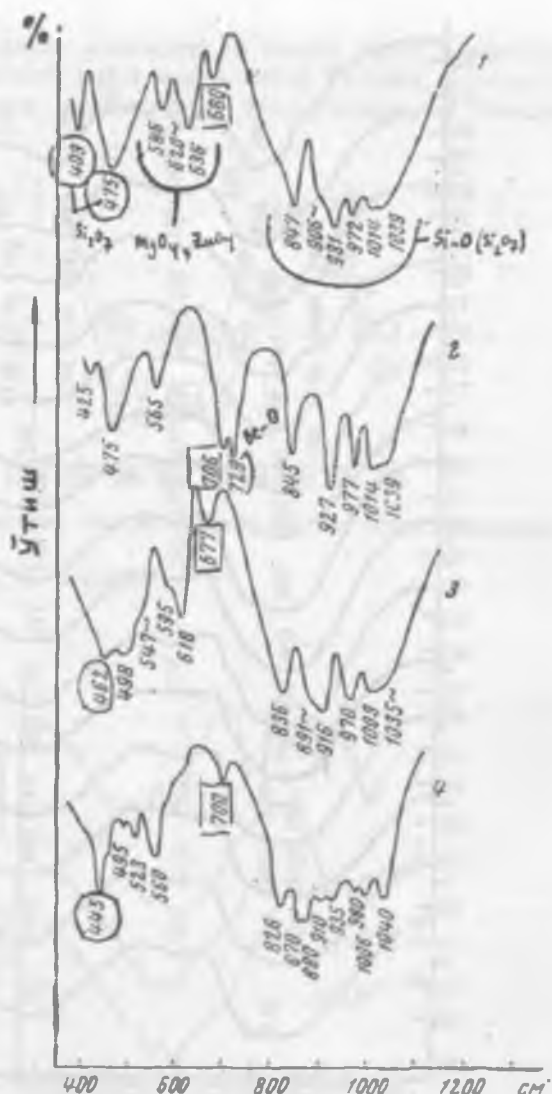


16-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

1- CaSiO_3 ; 2- $\text{La}_{9/34}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$; 3- $\text{Ca}_{16}\text{La}_8\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{72}$;
4- $\text{Ca}_{16}\text{Nd}_8\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{72}$.



17-расм. $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 - \text{LaMgAlSiO}_6$ тизимидаги синтез қилинган моддаларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари.



18-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиши спектрлари:

- 1-окерманит $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$;
- 2-бериллийли окерманит $\text{Ca}_2\text{BeSi}_2\text{O}_7$;
- 3-рухли окерманит $\text{Ca}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$;
- 4-қўрғошинли окерманит $\text{Pb}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$.

6) Қўшимчалар таркибини ўрганиш: 1-5% дан кам бўлмаганда изоморф, механик (қўшимчаларнинг изоморфлиги ҳолатини аралашishi ва дастлабки модданинг интенсив нур ютиш полосаларининг силжиши ва бир вақтда баъзи бир полосалар интенсивлигининг ўзгариши билан намоён бўлади).

7) Минерал тузилмадаги сувнинг ёки намликнинг шакли ва турини аниқлаш учун.

8) Тузилманинг тартиблилиги ва тартибсизлиги (тартибсизлик ҳолатида полосалар чузилган ва интенсивлиги пасайган бўлади) ни аниқлаш мумкин.

9) Фазалар ёки қўшимчаларнинг миқдорини аниқлаш (жуда ҳам аниқ эмас). Бундай ҳолда қўшимчанинг изоморфлиги (аниқлик о 0,5 % атрофида) ҳолати полосаларининг силжиши одатда кирувчи элементларнинг (группанинг) изоморфлик миқдорига тўғри пропорционал бўлади.

Механик қўшилма ҳолда (аниқлик о 1%) икки ва ундан ортиқ минераллар аралашмаси - ҳар бир минерални нур ютиш полосалари интенсивлиги аралашма минералларининг нисбий миқдорига тўғри пропорционал.

10) Полиморф ўзгаришларни ва нуқталарни ҳамда Кюри нуқталарини (сегнетоэлектрик- BaTiO_3) аниқлаш учун.

11) Кристалл фаза ёки шишани (масалан, оптик шишалар) бир тартиблилигини назорат этиш учун.

12) Моддаларнинг нур синдириш кўрсаткичи- (дисперсия)ни аниқлаш учун;

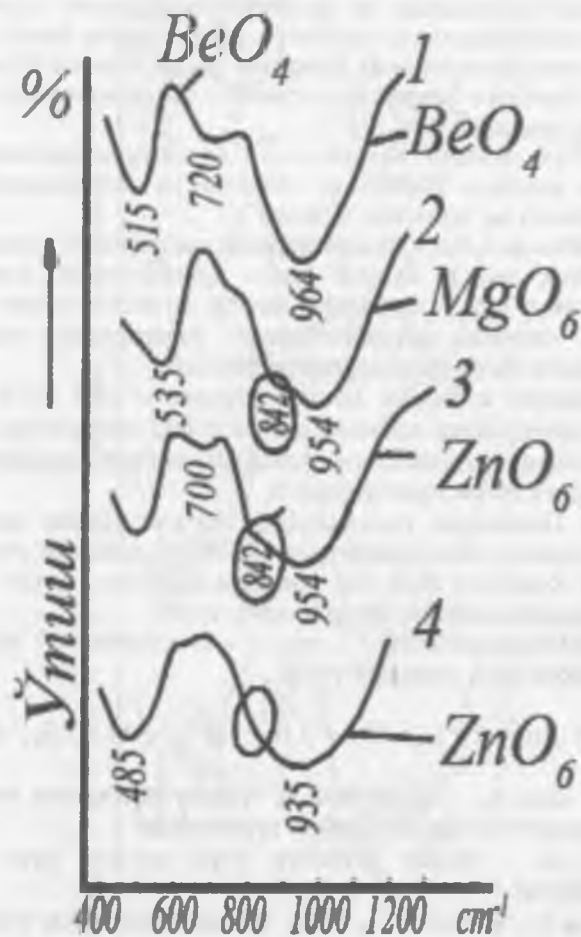
$$n_1^2 - 1 / n_1^2 + 2 = (n_2^2 - 1) \lambda_1^2 / (n_2^2 + 2) \lambda_2^2 / \ln J_1 / J_0 / \ln J_2 / J_0.$$

бу ерда n_1 - модданинг λ_1 тўлқин узунлигига мос келувчи қидирилатган нур синдириш кўрсаткичи;

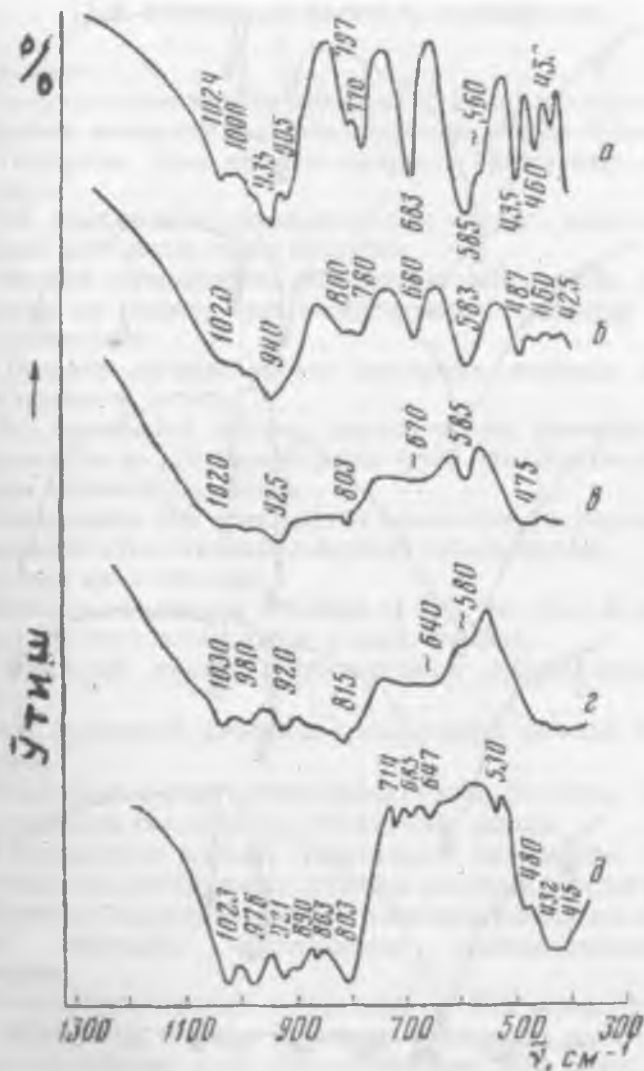
$n_2 - \lambda_2$ - тўлқин узунлиги учун маълум нур синдириш кўрсаткичи;

J_1 ва J_2 - моддадан λ_1 ва λ_2 тўлқин узунлигида ўтаётган нур- ланиш интенсивлиги.

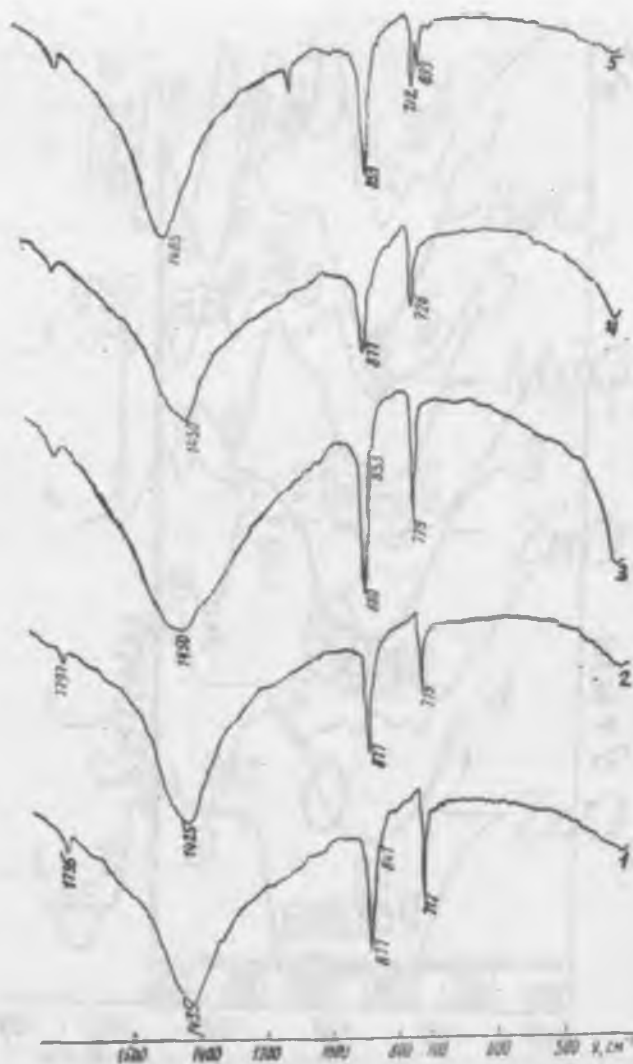
13) Ионлар, атомларнинг ўлчамлари ва ионлар орасидаги бурчакларни аниқлаш учун, $\% \text{SiOSi}$.



19-расм. Шишаларнинг ИҚ нур ютиши спектрлари:
 1-бериллийли окерманит;
 2-окерманит;
 3-гардистонит;
 4-қўғошинли гардистонит.



20-расм. ИҚ нур ютиш спектрлари: а) $Y_2SiBe_2O_7$; б) $Ca_{0.5}Y_{1.5}SiAl_{0.5}Be_{1.5}O_7$; в) $CaYSiAlBeO_7$; г) $Ca_{1.5}Y_{0.5}SiAl_{1.5}Be_{0.5}O_7$; д) $CaSiAl_2O_7$ (намуналар KBr аралашмаси билан пресс-лаб тайёрланган).



21-расм. Карбонатларнинг инфрақизил нур ютиш спектрлари: 1-кальцит, 2-кобальтли шпат, 3-доломит, 4-анкерит ва 5-арагонит.

21-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари

Афзаллиги:

1. Текширув учун жуда оз миқдорда (1-10 мг) модда олиш.
2. Қатлам қалинлиги бир неча микрондан иборат бўлиши.
3. Текширув учун олинган намунада йўқотишлар содир бўлмайди.
4. ИК нурланишдан текширилаётган моддада кимёвий ва физикавий ўзгаришлар содир бўлмайди.
5. Маълум группалардаги атомларнинг жойлашиши, фазавий ҳолати ва умуман жуда нозик тузилма таҳлилини олиб бориш имконияти.
6. Тажриба натижаларининг автоматик равишда фотоқоғозга тушириш.
7. Тез парчаланиб кетувчи, ўзгарилишнинг кичиклигидан кристаллооптик ва рентгенографияда тутиб бўлмайдиган баъзи номаълум кристалларни топиш.
8. Моддаларни ИҚ спектрининг ҳамма тулқин узунлигида нур синдириш кўрсаткичини аниқлашга имкон беради;

Усулнинг камчиликлари:

1. Жуда оз миқдордаги қўшимча (1-5 % дан кам) ва баъзи жуда ҳам кам группировкаларни намоён этмайди;
2. Микдорий анализ натижаларининг юқори даражада эмаслиги.
3. ИҚ нурларини қайтариш спектрларини олишни бироз қийинлиги.
4. Решетканинг ички тебранишлари билан анионлар тебраниши ўртасидаги боғлиқликни кўрсата била олиши.
5. Кристаллнинг майдон кучланишини ифодаловчи коэффициентлар тупламини етарли даражада ишончли эмаслиги.
6. Қиймати жиҳатидан яқин ва изоморф ўзгарувчан атомларнинг тебраниш частоталарини идентификациясидаги қийинчилик.
7. Моддаларни механик майдалашда ва КВг билан таблеткалар пресслашда тузилма ўзгариши эҳтимолдан ҳоли эмас. Яна текширилаётган модда кристалларининг КВг билан арашиб кетиши.
8. Қуқуннинг баъзи қисмларида нурланишнинг ҳар хил ўтириши натижасида нур қайтариш ва ютилишида ноаниқ эффектларнинг пайдо бўлиши.

22-§. Инфрақизил спектроскопия усули аппаратлари

Инфрақизил макони, юқорида қайд этилганидек спектрнинг бир қисми бўлиб, унинг тўлқин узунлиги қизил рангли ёруғлик спектри (750 ммк) тўлқин узунлигидан катта. Инфрақизил спектрининг юқори чегараси тахминан 350 мк атрофида жойлашган. Буни тадқиқ қилиш учун спектрал усуллар, жумладан, иссиқлик чиқишини қайд этиш усуллари қўлланилиши даркор.

Бу усулда қўлланадиган жиҳозлар спектрометр ёки спектрофотометр деб аталади. Ушбу приборлар ёрдамида нур чиқиш интенсивлиги ўлчанади ва улар детекторли қурилмага фокусировка қилинади. Диспергирлашган элементнинг турига қараб улар уч асосий синфларга ажралади: призмали, дифракционли ва комбинировкалашган призма-дифракционли. Приборлар тузилишида фарқлар бўлишига қарамасдан, уларнинг ҳаммаси автоколлимацион типга тааълуқли. Ута перспективли, аммо кам тарқалган аппаратлар турига интерференцион спектрал жиҳозлар киради.

Микроскопик таҳлил орқали моддаларнинг фазовий таркиби ва тузилиши ҳақида маълумот олишимиз мумкин. Лекин бу усул орқали атомлар орасидаги кимёвий мулоқот, радикал ва группалар тузилишига оид натижаларни олиб бўлмаслиги ҳақида юқорида сўз юритган эдик.

Группа ёки радикалларга оид маълумотлар, катионларнинг анионлар билан берадиган валент тебранишларини аниқлашда инфрақизил спектроскопик таҳлил яхши натижа беради. Инфрақизил нурларни ютиш ва қайтариш спектрлари билан қаттиқ модда таркибидаги комплекс группалар ва радикаллар тузилиши орасида назарий боғлиқлик бор. Шу боғлиқлик текшириладиган модда билан эталон инфрақизил спектрларини солиштириш ва бошқа усуллар орқали амалга ошади.

Агар ИҚ спектрларини ўрганиш нур қайтариш спектрларидан бошланган бўлса, 1933 йилларда Пфунд ва Барнес ишларидан кейин кристалл моддаларнинг нур ютишини кукунларнинг юпқа қаватларини қўллаб ИҚ спектрларини олиш бошланган. Бу янгилик ўрганиладиган моддаларни монокристалл ва тупроқли силикатлар ҳисобига кўпайтириш имконини берди.

Аморф модда ва шиша тузилма ИҚ спектрларида текшириш Флоринская номи билан (Ленинград, Вавилов номи Давлат оптика институти) ҳамда юқори ҳароратли ИҚ спектро-

скопияни ривожланиши А.М. Шевяков (Ленсовет номли технология институти, Ленинград) номи билан боғлиқ. ИҚ спектроскопияни амалий ривожланишига Россиялик олимлардан яна Г.Б.Бокий, А.А. Лебедев, А.Г. Власов, В.А. Колесова, И.И. Плюснина каби фан намоёндалари ҳам катта ҳисса қўшишган.

Номлари юқорида қайд этилган чет эл олимлари инфрақизил спектроскопия усулининг амалий асосларини ишлаб чиқишга ҳам катта ҳисса қўшган. Янги силикат ва зўргасуюлувчан материалларни бу усул билан тадқиқот қилишда Ўзбекистонлик олимлар - Н.А.Сирожиддинов, Б.И.Нудельман, Т.А.Отақўзиев, С.С. Қосимова, А.А.Исмамов ва бошқаларнинг ҳам хизматлари жуда катта.

Текшириш учун ускуналар. ИҚ нурларини ўтказиш, нур қайтарилиши ва нур ютиши спектрлари 0,76) 25 мк тўлқинлари оралиғида махсус ИҚ спектрофотометрларда олинади.

Ҳозирги кунда ИҚС-12 (бир каналли, бир нурли), ИҚС-14 ва ИҚС-21 (икки каналли) жиҳозлари мавжуд.

Чет эл жиҳозларидан: UR лар, айниқса, UR-20 (Германия) моделига оид Бекман спектрометрлари қўлланилади. Бу аппаратларининг ютуғи: 1) ёпиқ система; 2) частоталарни тез беради.

Мавжуд жиҳозларнинг ҳаммаси маълум текшириш диапазонида, кўпинча 1-2 мк ($10000-5000\text{ см}^{-1}$) дан 25-40 мк ($400-250\text{ см}^{-1}$) гача ва 50 мк дан 300 мк ва ундан каттароқ (200 см^{-1} ундан кичик)ларда ишлашга мослаштирилган.

Турли фирмаларнинг жиҳозлари бир-биридан ИҚ спектрларини аниқ тарзда бериши, ишининг стабиллиги, спектр олишдаги автоматик жараёнлари билан фарқ қилади. Турли жиҳозларда олинган ИҚ спектрларни фақат фотометр таркиби бир хил бўлса ёки жиҳозий ҳатолар таъсири ҳисобга олинган бўлсагина таққослаш мумкин.

23-§. ИҚ спектрометрларининг соддалаштирилган схемаси

Қуйида ИҚС-14 инфрақизил спектрометрининг соддалаштирилган схемаси келтирилган (22-расм).

ИҚС-14 типдаги икки нурли спектрофотометрнинг конструкцияси қуйидаги асосий қисмлардан ташкил топган:

1) ИҚ нурланиш манбаи (076) 1000 мк ли тўлқин узунлигидаги нурлар). Манбадаги Глобар стержени ёки Нернст штифти

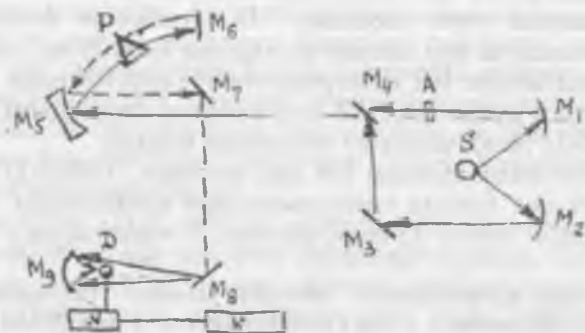
орқали нур ҳосил қилинади ва у фокусловчи кўзгу орқали узатилади.

2) Монохроматор. У бир қанча кўзгулардан иборат. Улардан муҳими Литровнинг айланма кўзгусидир.

3) Нур энергиясини қабул қилувчи мослама, яъни иссиқликни сезувчан элемент, термопаралар ёки балометрлар.

4) Қабул қилувчидан келаётган электрик сигнални кучайтиргич.

5) Ёруғлик частотасига боғлиқ ҳолда (абсцисса) ўтказувчанлик қийматини (ордината) қоғозга ёзиб олувчи мослама.



22-расм. ИҚ-спектрометрининг соддалаштирилган схемаси:

S-нурланиш манбаи; M_1 , M_2 , M_3 , M_7 , M_8 — қайтарувчи кўзгу; M_4 —секторли айланма кўзгуси; M_5 — коллиматор кўзгу; M_6 - Литров кўзгуси; M_9 — конденсатор; P — призма; D — нур энергиясини қабул қилувчи мослама; N — кучайтиргич; K — ёзиб олувчи мослама; A — намуна.

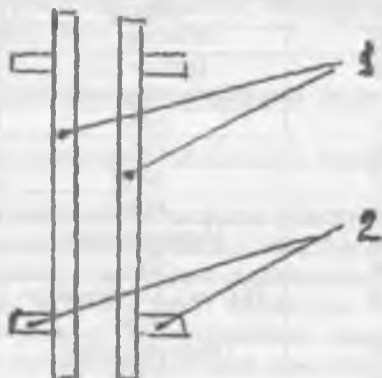
Қуйида биз юқорида номи қайд этилган деталларнинг баъзи бирлари устида батафсилроқ тўхтаймиз.

I. ИҚ нурланиш манбаи. Уни генератор деб аташимиз мумкин. Авваллари лампочкалардан, ҳозир эса карборунд SiC дан (сони 2 та) қилинади. Улар 1500pC да тўла нурланишни беради. Ток қуввати амперларда оператор томонидан берилади.

II. Спектрометр призмаси. Одатда призма кўринишида қўлланилади: шиша $\Phi-1 = 2,8$ мк гача; кварц $\text{SiO}_2 = 3,5$ мк гача; $\text{CaF}_2 = 2,4-7,7$ мк гача; ош тузи $\text{NaCl} = 2-15,4$ мк гача;

$KBr = 9-26$ мк гача; $CsI = 10-50$ мк гача. Улар ИҚ нурланиш учун курсатилган интервалда шаффофдир.

III. Нур энергиясини қабул қилувчилар. Балометр (грекча нурланишни ўлчовчи) Лангле томонида 1881 йилда амалиётга киритилган. Унда ютилган нурланиш металл симни қиздиради ва ҳосил бўлган қаршиликлар ўзгариши регистрация қилинади.



23-расм. Микрокюветнинг тузилиши:

1. Металл рамалари (намуна уларнинг орасига қўйилади);
2. Пластмассали қисқич.

Термоэлемент (Рубенс, 1898 й.) - нурланишдан ҳосил бўлган иссиқлик туфайли термо э.д.с. регистрация қилади.

Фотоқаршилик - фотоэлектрик. Бу ерда атомнинг нур ютуши туфайли ундан валент электронлари ажралади, улар нур ўтказишда иштирок этувчи электронлар миқдорини оширади. Масалан, совимайдиган ФМ, БКМ, ФТ, ГОИ ва бошқа типдаги қабул қилувчилар.

Призмали инфрақизил спектрометрларни частота ва тўлқин узунлиги бўйича градуировка қилиш ўта муҳим масала. У бир қанча усуллар орқали амалга оширилиши мумкин. Энг қулайи спектрометрни дифракцион спектрометр орқали аниқланган эталон спектрлар ёрдамида текшириш.

Текширишда ишлатиладиган биринчи гуруҳга оид моддалар қаторига 2600 см^{-1} областида қўлланиладиган симоб ҳамда хлорид кислотаси ва 2000 см^{-1} маконда қўлланиладиган CO_2 киради. Иккинчи гуруҳда натрий хлоридидан ясалган призмаларни

2000-660 см⁻¹ оралигида градуировка қилиш учун сув буг, аммиак ва CO₂ лардан фойдаланилади.

Инфрақизил спектрометрларининг турли призмаларини градуировка қилишда қўлланиладиган моддалар, спектрнинг тегишли маконлари ва призма материаллари қуйида келтирилган (10-жадвал):

10-жадвал

Спектр макони, см ⁻¹	Модда	Призма материали
4500-4120	CH ₄	шиша, LiF
3900-3560	H ₂ O ва CO ₂ (атмосферали)	шиша, LiF
3510-3170	NH ₃	LiF ва CaF ₂
3170-2880	CH ₄	LiF ва CaF ₂
3060-2725	HCl	LiF ва CaF ₂
2675-2410	HBr	LiF ва CaF ₂
2400-2220	Интерполяция	LiF ва CaF ₂
2220-2040	CO ₂	LiF ва CaF ₂
1990-1360	H ₂ O ва CO ₂ (атмосферали)	LiF ва CaF ₂
1385-1250	Интерполяция	NaCl
1360-1250	CH ₄	CaF ₂
1230-720	NH ₃	NaCl
740-420	CH ₃ OH	NaCl, KBr
720-650	CO ₂ (атмосферали)	KBr
720-280	H ₂ O ва CO ₂ (атмосферали)	KBr, CsJ

Номлари юқори келтирилган моддаларнинг спектрларини ёзиб олиш орқали градуировкали график координатлари қурилади. Икки каналли спектрометрлар учун график чизилади, ИР-10 аппарати учун эса тегишли тузатиш киритилади.

ИҚС-14 прибори икки канал усули бўйича ишлайди ва нур ўтказиш катталигини фоиз ҳисобида ёзиб беради.

ИҚС-12 прибори бир канал усули бўйича ишлайди, шунинг учун бу ерда икки карра иш бажарилади, яъни намуна спектри алоҳида ва манба спектри намунасиз ҳолатида олинади. Кейин улар бир-бири билан таққосланади.

ИҚС аппаратларини текшириш эталон бўйича - полистирал ёрдамида аниқланади, бунда приёмник барабанидаги айланишлар сони 0 дан 20 гача ва уларга мос келувчи частота (тўғри чизиқли боғлиқлик) киритилади.

Аппарат мосламалари. ИҚ спектрометрлар мосламаларига қуйидагилар киради:

1. Термостат кюветлар - юқори ва паст ҳароратлар учун улар ИҚ спектрофотометрнинг манбаидан микрообъектга кеслаётган ёруғликни фокусировка қилиб беради.

2. Катта босим учун кюветлар.

3. Моддага электромагнит майдони, деформация ва бошқа таъсирларни текшириш учун мослама.

24-§. Препаратларни тайёрлаш усули

Монокристалл ва поликристалл (кукун) лардан намуналар турлича тайёрланади.

1. Монокристалл моддасидан кесилган пластинка шаклидаги препарат. Ясси, параллел силлиқланган, ИҚ нур ютиш спектрлари учун мўлжалланган намунанинг қалинлиги 2 мм дан то бир неча микронгача, купинча қават қалинлиги 20-30 мк гача бўлади. Пластинка улчами ишлатилаётган жиҳозга боғлиқ бўлиб, 35x10 мм дан 5x5 мм гача бўлиши мумкин.

Жуда кичик ўлчамларда эса махсус микрокювет мосламаси зарур бўлади (23-расм).

Селен кўзгусининг нур қайтаришдан олинган ИҚ нурланиш икки ўзаро перпендикуляр йўналиш бўйича монокристалл орқали ўтказилади. Бу нур қайтариш эгриликлари бўйича гуруҳ атомларининг фазовий жойлашгани ҳақида билиш мумкин. Агар поляризован нур юзасида дипол ётган бўлса, нур ютилиш катта бўлади. Шундай қилиб у ёки бу функционал группаларнинг мавжудлиги аниқланади.

2. Кукундан тайёрланадиган препаратлар. Тайёрлашнинг икки усули мавжуд: Биринчи усул - 1см² юзада 0,1-2 мг миқдорда NaCl, KCl, KBr каби ИҚ маконларида шаффоф бўлган подложкага намуна кукуни қотирилади ёки чўкмага тушурилади. Масалан, хаволи муҳитда қуйиш: 2-3 г материал агат ҳавончаларда яхшилаб туйилади, сўнгра пробиркага сепиш учун солинади. Йирик заррачалар цилиндр тагига чўкгач, тузли дискка жойлаштирилади ва сепилади. Бунда юза бир хил қаватли пудралар билан қопланиб қолади.

Плёнка қалинлигини қуйидагича топилади:

$$t = \frac{m}{\rho} (\text{см}).$$

бу ерда, m - кукуннинг массаси, г;
 a - дискнинг юзаси, см^2 ;
 ρ - модданинг зичлиги, г/см^3 .

Иккинчи усул - суяқ ёки қаттиқ кукун аралашмасини мос келувчи тулдирувчилар иштирокида тайёрлаш. Бу усул ҳам уз навбатида икки йўл билан амалга оширилади:

а) изопропил спирти иштирокида идиш тагига кукунни ўтқазиш, сўнгра қуруқ кукунли плёнка ҳосил булгунча бугла-тиш йўли билан қуриштиш. Одатда, 2 г кукунга 100 мл спирт қушилади. Жараён охирида ҳосил бўлган плёнка қалинлиги 0,2-0,3 мг/см^2 бўлади.

қ) намунани вазелин ёки ишқор-галлоид бирикмалар (KCl , NaCl , KBr) билан аралаштириш. Кукун ҳолатида пластинкалар диск кўринишида ёки тўғри бурчак шаклида прессланиб оли-нади. Кўпинча аралашмада 0,1; 0,33; 1 ёки 3%-текшириляётган модда бўлади. Бу усулда намуна тайёрлаш тизими қуйидагича бўлади:

500 мг KBr + 2 мг модда



4500-7000 кг/см^2 босим + 70) 80 °C ли
 10^{-1} - 10^{-2} атм. вакуумда пресслаш



0,5) 0,7 мм қалинликда, 30 мм узунликда ва 5) 10 мм
 энликдаги пластинка.

Ҳўл ҳолатида намуна тайёрлаш учун қюветадан фойдалани-лади:

Нурланиш манбаидан келаётган радиация текшириляётган намунадан ўтади (намуна мастаҳкамланган, ундан нур қисман қайтади ва унда қисман ютилади) ва монохроматор (Литров кўзгуси) га тушади, кейин орқага термоэлемент майдонига қайтади. ИҚ нурларининг иссиқлиги натижасида термоэле-ментда э.д.с. ҳосил бўлади. У кучайтиргичда кучайтирилган ва махсус ёзув қурилмаси ёрдамида спектр ҳолатига келтирилади ва ёзилади.

25-§. ИҚ спектрларни ёзиб олиш

Амалиётда икки турли спектрларни ёзиб олиш ва расшиф-ровка қилиш кенг тарқалган (11 ва 12- жадваллар, 24- ва 25- расмлар). Улардан бири ИҚ нур ўтиш ва нур ютиш спектри

бўлса, иккинчиси ИҚ нур қайтиш спектридир. Икки турли спектрларни жамлаш ва таққослаш орқали уларда фоиз миқдори аниқланади.

1. Қанча фоиз нур утади ва ютилади;

2. Қанча фоиз нур қайтади.

В.А. Флоринская маълумотлари бўйича, 50 фоиз $\text{Na}_2\text{O} + 50\% \text{SiO}_2$ дан ташкил топган ва 620°C да кристалланган шишада:

1) 13,2 мк да

ўтказади - 70 %,

қайтарали - 7 %,

ютилади - 23%.

2) 11,2 мк да

ўтказади - 55%,

қайтарали - 25%,

ютилади - 20%.

3) 10,2 мк да

ўтказади - 33 %,

қайтарали - 42 %.

Кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги полоса экстремумларининг ҳолати

II-жадвал

Текширилаётган намуна	Тўлқин узунлиги, мк
Қайтиш спектрлари	
Кварц, ўққа I	8,50; 8,95; 12,54; 14,54; 18,2; 20,7-20,8
Кварц, ўққа II	12,55; 12,85; 14,5; 18,9-19,00; 20,1
Кристобалит	8,30; 9,10; 12,60; 16,15-16,20; 19,8-19,9

Геркус фирмасининг кварц шишаси	8,95; 12,7-12,9; 20,9-21,0
Ўтиш спектрлари	
α-Кварц	8,63; 9,15; 12,55; 12,85; 14,40-14,45; 19,2 -19,3; 21,4-21,6
α-Кристобалит	8,35; 9,12; 12,60; 16,10; 20,3
α-Тридимит	9,05; 12,70; 17,6; 20,8-21,0
Геркус фирмасининг кварц шишаси	9,05-9,15; 12,50; 21,3

**Поликристалл ва рангли кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги
полоса экстремумларининг ҳолати**

12-жадвал

Текширилаётган намуна	Тулқин узунлиги, мк
Қайтиш спектрлари	
Яшма	8,50; 8,77; 9,12; 9,60; 12,55; 12,85; 14,5; 15,55; 17,0; 19,0; 21,0-21,4
Тридимит	8,65-8,70; 8,95; 12,70-12,75; 18,5-18,6; 20,5-20,6
Опал	8,25; 9,05; 12,62; 16,15-16,20; 19,7
Утиш спектрлари	
Яшма	8,65; 9,1; 12,55; 12,85; 13,1; 13,25; 13,45; 13,8; 14,40-14,45; 15,1; 15,45; 16,45; 16,8-17,0; 19,3; 21,4-21,7
Қора кристалл квари	8,65; 9,2; 12,55; 12,85; 14,45; 19,3; 21,4-21,7
Опал	9,05; 12,62; 20,8-21,1

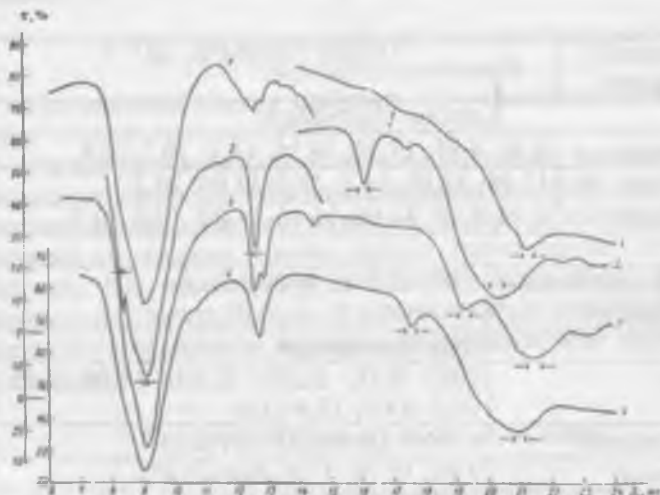
ютилади ~ 25%.

4) 7,8 мк да

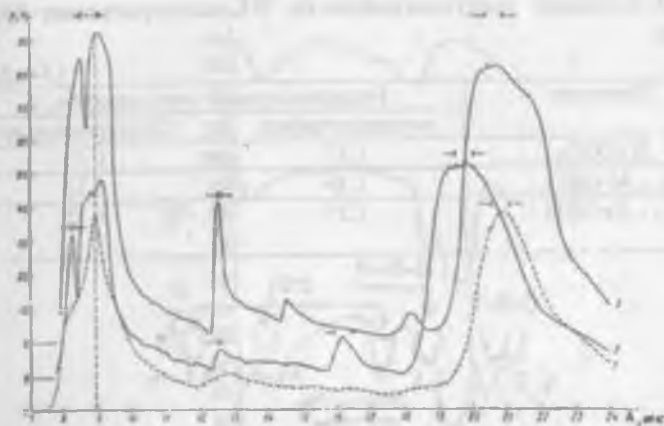
ўтказилади - 70 % ,

қайтаради - 0 % ,

ютилади ~ 30%.



24-расм. ИҚ нурларини ўтказиш (ютиш) спектрлари: 1 – кварц
шиша (кукун қавати); 2 - α-кристобалит; 3 - α-квари; 4 - α-тридимит.



25-расм. ИҚ нурларини қайтариш спектрлари: 1-кварц шиша; 2- α-кристобалит; 3 - α-кварц (оптик ўқиға перпендикуляр кесилган).

26-§. Муҳим фазаларнинг ИҚ спектрлари

Силикат структурали моддаларда ИҚ спектри атом, молекула ва гуруҳларнинг координациясига ўта боғлиқ бўлади. Буни куйидаги гуруҳлар, улар берадиган полосалар ва полосаларнинг экстремумлари мисолида кўришимиз мумкин.

I Кремний-Si асосидаги группалар учун:

- 1) SiO_4 - тарқоқ тетраэдрлари учун - 10) 12,5 мк;
- 2) SiO_3 - занжирли боғланганлар учун - 9) 11,5 мк;
- 3) Si_6O_{18} - ҳалқасимон группалар учун - 8,5) 11 мк;
- 4) SiO_2 - лентали группалар учун - 9,5) 10,5 мк;
- 5) SiO_2 - қатлами учун - 9) 10,5 мк;
- 6) SiO_2 - тетраэдрлар сеткаси учун - 9,6) 10 мк.

II. Алюминий - Al асосидаги группалар учун:

- 1) AlO_6 - октаэдри полосалари - 16-20 мк;
- 2) AlO_4 - тетраэдрлари полосалари - 11-13 мк.

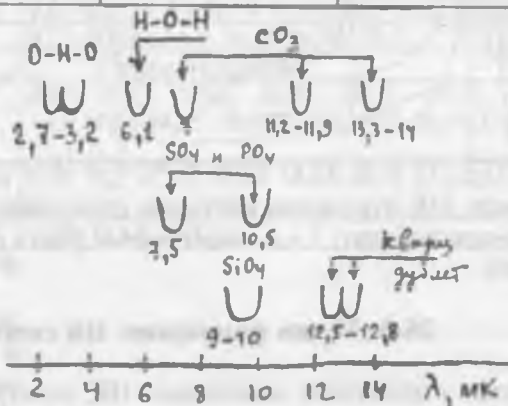
Шундай қилиб, амалий жиҳатдан олинган спектрларни маълум модданинг одатий полосаларига таққослаш бўйича тадқиқ қилинади. Полосаларнинг ҳолати атом гуруҳлари, ионлари ва гуруҳларидаги боғланишларга боғлиқ ҳолда узгаради.

ИҚ спектрлари ёрдамида ион ва ионли гуруҳларнинг параметрларини ҳам аниқлаш мумкин (13-жадвал).

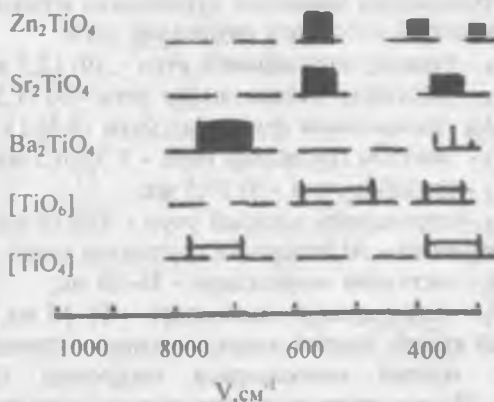
ОН-ионининг рентгенография ва ИҚ спектроскопия буйича улчами

13-жадвал

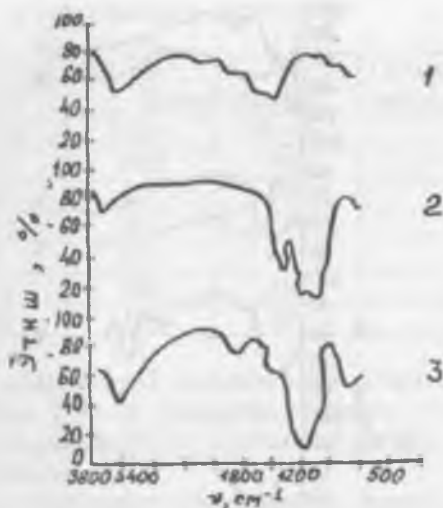
Бирикма	Гидрооксиднинг ион радиуси, А	
	рентгенографик	Спектроскопик
$B(OH)_3$	1,15	1,12
$\gamma - Al(OH)_3$	1,16	1,22
$\gamma - FeOOH$	1,35	1,33



26-расм. Баъзи бир группаларга хос ИҚ-полосалари.

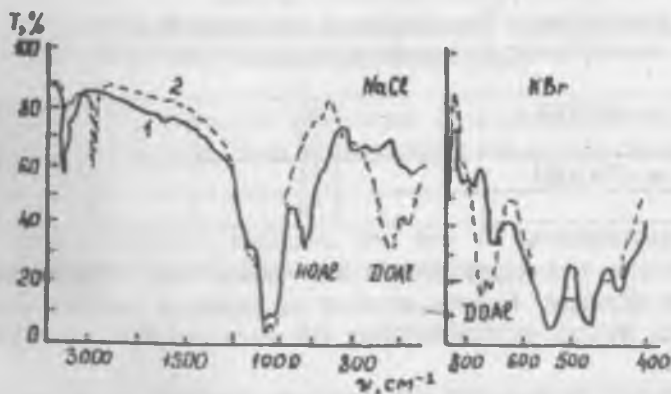


27-расм. Ортитанатлар ИҚ спектрлари (Zn - ва Sr ли бирикма-ларда — титан октаэдриқ координацияда) ва (Ba-ли бирикмада титан тетраэдриқ координацияда).

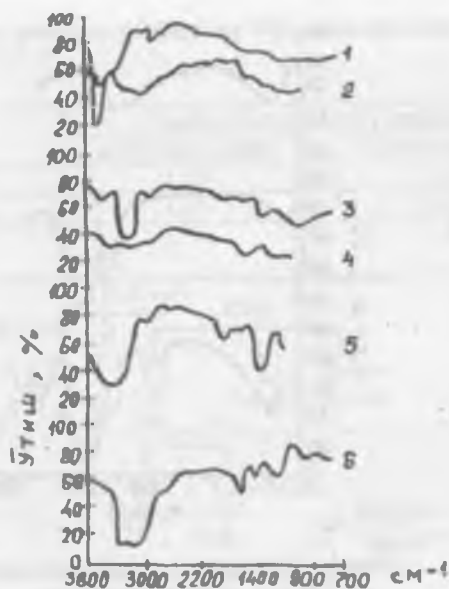


28-расм. Кальций гидросиликатининг ИҚ нур ютиш спектрлари.

1) гидролит; 2) ксонотлит; 3) тоберморит.



29-расм. I — Каолинит (1) ва дейтерокаолинит (2) нинг ИҚ спектрлари. II — Гидроксилнинг деформацияли тебраниш полосалари.



30-расм. Кальций гидроалюминати ва гидросульфоалюминатларининг ИҚ нурларини ютиш спектрлари:

1-2 — кальций гидроалюминати C_3AH_6 ;

3-4 — кальций гидроалюминати $C_4A_3H_3$;

5 — кальцийнинг бир сульфатли гидросульфоалминати;

6 — кальцийнинг уч сульфатли гидросульфоалюминати.

α - $AlOOH$	1,45	1,47
	1,55	1,57
α - $FeOOH$	1,51	1,53
	1,59	1,63

Кейинги пайтларда титанатлар устида ҳам тадқиқотлар ўтказиш қўпайди. Қўйида октаэдр ва тетраэдр координацияларга эга бўлган титанатларнинг ИҚ спектрлари келтирилади (27-расм).

Қўйидаги 14-жадвалда пирогуруҳлар учун хос бўлган маълумотлар келтирилган.

Пиросиликат ва пирогерманат частоталари

14-жадвал

Частоталар, см ⁻¹				Симметриянинг тебраниш тип
Экспериментал		Ҳисоб буйича		
Si ₂ O ₇	Ge ₂ O ₇	Si ₂ O ₇	Ge ₂ O ₇	
1015	905	1010	900	A _{2u}
915	745	925	740	E _u
770	715	760	710	A _{2u}
570	475	540	480	E _u
480	395	420	360	A _{2u}
425	320	380	320	E _u

Боғловчи моддалар ишлаб чиқариш технологиясида кальций силикатлари муҳим уринни эгаллайди. Шунинг учун кальций гидросиликатиининг инфрақизил нурларини ютиш спектрлари келтирилади (28-расм).

Керамика ва оловбардош маҳсулотлар ишлаб чиқаришда тупроқлар, шу жумладан, каолинит ва каолинитсимон моддалар куплаб ишлатилади. Юқоридаги 29-расмда уларга оид ИҚ спектрлар келтирилган.

Охирги мисол сифатида 30-расмда кальцийнинг гидроалюминатлар ва гидросульфалюминатларига оид ИҚ нурларини ютиш спектрлари берилди.

27-§. Инфрақизил спектроскопик таҳлилига оид диагностик маълумотлар

Куйидаги 15-жадвалда диагностик мақсадларда фойдаланиш учун хизмат қилувчи баъзи моддаларнинг ИҚ-ютиш полосалари келтирилган.

Баъзи кремнийли бирикма, хом ашё ва аралашмаларга оид инфрақизил спектрлардаги ютиш полосалари

15 - жадвал

Модданинг номи, формуласи ва маълумот манбаи	Ютиш области					
	ν, см ⁻¹	l	ν, см ⁻¹	l	ν, см ⁻¹	l
Аморф кварц — SiO ₂ [18]	468 —	Ки. —	700 —	Кз. —	804 1098	У Ж. ки.

α - Кварц — SiO ₂ [18]	468 523 -	Ки У. -	695 784 -	У. Ки -	794 1095 1168	Ки Ж.ки. Ки
Тридимит — SiO ₂ [18]	420 478 568	Кз Ки Кз	620 695 798	Кз Кз. У.	830 940 1105	Кз Кз Ж.ки.
Кристобалит — SiO ₂ [18]	417 495	Кз Ки	620 755	У. У.	1105 1200	Ж.ки. Ки.
Коэсит — SiO ₂ [18]	435 468 561 600	Ки Кз У. У.	683 794 804 1036	У. Кз Кз Ки	1077 1158 1218 -	Ж.ки. Ки Ки -
СТИШОВИТ — SiO ₂ [18]	560 628	Ки Ки.	672 730	Ки Ки	885 949	Кз Ки.
Силлиманит — α - Al ₂ O ₃ SiO ₂ [16]	1200 1180 960 913 888 820 -	Ки Ки. Ки Ки Ки. Ки. -	751 692 635 581 543 534 -	У. Ки. У. Ки У. У. -	508 491 440 374 346 335 322	Ки У Ки Кз Кз Кз Кз
Мулит — 3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ [16]	1178 1145 915 845	Ки Кз. Ки. Ки.	750 620 585 550	У. Ж.кз. Кз Ж.кз.	510 435 - -	Ж.кз. Ж.кз. - -
Эгирин — Акмит Na ₂ O·FeO·2SiO ₂ [16]	467 507 545 560	Ки. Ки. Ки. Ки.	639 725 864 897	У. Кз Ки Ки	950 1004 1059 -	Ж.кз. Ж.кз. Ж.кз. -
Геденбергит — CaO·FeO·2SiO ₂ [16]	466 492 518 624	Ж.кз. Ж.кз. Ж.кз. У.	663 860 912 -	У. Ж.кз. Ж.кз. -	959 1056 1089 -	Ж.кз. Ж.кз. Ж.кз. -
Диопсид — CaO·MgO·2SiO ₂ [34]	435 485 515 635	Ж.кз. Ки. Ки. У.	675 790 870 920	У. Ж.кз. Ки Ки	970 985 1080 1100	Ки. Ки. Ж.ки У.
Диопсид — CaO·FeO·2SiO ₂ — таркибли ши- ша[34]	505 -	Ки. -	780 -	Кз -	950 1020	Ж.ки. Ж.ки
Геленит — 2CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ [29]	415 450 482 530 -	Ки. Ки У. Кз -	647 675 714 803 -	Кз. Кз Кз Ки -	850 875 921 976 1023	Ки Ки Ки Ки Ки
Стронциевый геленит — 2SrO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ [29]	415 480 522 625	Ки. У Кз Кз.	686 785 840 880	Кз. Ки. Ки Ки	900 976 1016 -	Ки. Ки Ки -

β-Волластонит — CaO·SiO ₂ [16]	1087	Ж.ки	925	Ж.кз.	566	У
	1056	Ж.кз.	904	Ж.кз.	508	У.
	1019	Ж.кз.	650	У.	471	Кз.
	964	Ж.кз.	642	У.	452	Ж.кз.
Бустамит — CaO·MnO·2SiO ₂ [16]	1086	Ки	872	Ж.кз.	560	У.
	1062	Ж.кз.	850	У.	525	У.
	979	Ж.кз.	803	У.	510	Кз
	951	Ж.кз.	660	У.	465	Ж.кз.
	911	Ж.кз.	619	У.	450	Ж.кз.
Родонит — CaO 4MnO 5SiO ₂ [16]	1080	Ки	900	Ж.кз.	559	У
	1063	Ж.кз.	720	У	532	У.
	1023	Ж.кз.	690	Кз	514	У.
	998	Ки	661	У	492	Ж.кз.
	951	Ж.кз.	638	У.	458	Ж.кз.
	916	Ж.кз.	577	У.	-	-
Тремолит — 2CaO 5MgO 8SiO ₂ H ₂ O [16]	1107	Ж.кз.	920	Ж.кз.	530	Ж.кз.
	1074	Ки.	758	У.	510	Ж.кз.
	1048	Ки	730	Кз	466	Ж.кз.
	1020	Ки	687	У	451	Ж.кз.
	998	Ж.кз.	662	Кз.	-	-
	952	Ж.кз.	645	Ки	-	-
Актинолит — 2CaO 5(Mg,Fe)O 8SiO ₂ H ₂ O [16]	1094	Ж.кз.	914	Ж.кз.	646	Кз
	1052	Ки	755	У	540	Ки
	1037	Ки	727	Кз.	507	Ж.кз.
	1012	Ки.	682	У.	466	Ж.кз.
	985	Ж.кз.	658	Кз.	453	Ж.кз.
	948	Ж.кз.	-	-	-	-
Алгофиллит — 7(Mg,Fe)O 8SiO ₂ H ₂ O [16]	1097	Ж.кз.	903	Ки	662	У.
	1059	Ки.	781	У.	553	Ки.
	1047	Ки.	756	Кз.	532	Ки.
	1016	Ж.кз.	755	Ж.кз.	494	Ж.кз.
	976	Ж.кз.	710	У	448	Ж.кз.
	917	Ки.	688	У	-	-
Тальк — 3MgO 4SiO ₂ H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	1706	Ж.кз.	539	У
	4200	Ж.кз.	1045	Ж.кз.	500	Кз.
	3670	Кз	1018	Ж.кз.	467	Ж.ки.
	1919	Ж.кз.	783	Ж.кз.	452	Ж.ки.
	1866	Ж.кз.	690	У.	447	Ж.кз.
	1818	Ж.кз.	670	Ки.	426	У.
	1770	Ж.кз.	-	-	-	-
Сапонит — Mg ₃ (Al _{0.33} Si _{3.66}) O ₁₀ (OH) ₂ Na _{0.33} ·H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	809	Ж.ки.	534	У
	3697	Кз.	783	Кз.	490	Кз.
	3670	Кз.	737	Кз.	464	Ж.ки.
	1056	Ж.кз.	692	У.	450	Ж.ки.
	1005	Ж.ки.	655	У	420	У
Гекторит — (Mg,Li) ₃ (Al _{0.33} , Si _{3.66})O ₁₀ (OH) ₂ Na _{0.33} ·H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	1011	Ж.ки.	655	У
	3600	Кз.	795	Ж.ки.	533	У
	3610	Кз.	696	У.	465	Ж.ки.
	1073	Ж.ки.	-	-	-	-

Окерманит – $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	380	Кз.	675	Кз.	920	Ки
	460	У.	830	Ки.	950	Ки
	560	Кз.	880	Ки	1000	Ки.
	600	У.	-	-	-	-
Бериллийит окерманит – $2\text{CaO} \cdot \text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	390	Кз.	675	У	950	Ки
	460	У.	840	Ки.	975	Ки
	550	Кз.	900	Ки	1000	Ки
Гардистонит – $2\text{CaO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	430	У	640	Кз.	940	Ки
	475	Кз.	830	Ки	1000	Ки
	560	Кз.	900	Ки	-	-
	600	У	-	-	-	-
Кургошинит гюбберит – $2\text{PbO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	440	У	800	Ки	930	Ки.
	480	Кз.	860	Ки	975	Ки.
	575	У.	900	Ки	1040	Ки.
	700	Кз.	-	-	-	-
Синтетик β - Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	480	Кз.	665	Кз.	1003	Ки.
	520	Ж.кз.	754	У.	1040	Ки
	540	Кз.	805	Кз.	1150	Кз.
Синтетик α - Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	480	Ки	665	Кз.	937	Ки
	510	У.	705	Ки	962	Ки
	560	Кз.	762	Кз.	985	Ки.
	612	У.	920	Кз.	1015	Ки
Табиин Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	-	-	-	-	1052	Ки
	480	Ки.	708	Ки.	967	Ки.
	514	У.	768	Кз.	985	Ки.
	560	У.	796	Кз.	1013	Ки.
Кордиерит – $2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ [18]	614	У.	916	Ки	1028	Ки
	686	У.	999	Ки	1053	Ки
	420	Ки.	620	У.	960	Ж.ки.
	450	Ки.	675	Кз.	1027	У.
Миларит – $\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{CaO} \cdot 4\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2$ [18]	485	Ки	760	Ки	1100	Кз.
	570	Кз.	773	Ки	1148	Ки
	580	У	912	Ки.	1181	Ж.ки.
Калийтитанли силикат – $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$ H_2O [18]	420	Ки	630	Кз.	970	Ки
	480	У.	740	Кз.	1020	Ж.ки.
	510	Кз.	755	У.	1130	Ки
	610	Кз.	780	У.	-	-
Калиймарганец цинкли силикат – $\text{KMn}_2\text{Zn}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ [18]	475	У	753	Ки.	975	Ки.
	525	Ж.кз.	865	Кз.	1027	Ж.ки.
	590	Ж.кз.	-	-	-	-
	420	Ки.	620	Кз.	960	Ж.ки.
	450	Ки.	675	Кз.	1027	У.
	485	Ки	760	Ки	1100	Кз.
	570	Кз.	773	Ки	1148	Ки.
	580	У.	912	Ки	1181	Ки.

Турматин — $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{OH})_4$ $(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ [18]	726	У	1000	Ки	1306	Ки
	760	Кз	1030	Ки.	1347	У.
	790	У.	1058	Ки	-	-
	857	Кз	1107	Ки	-	-
Хирмонтепа кони лёсси [35]	480	Ки	670	Кз	800	У.
	520	Ж.кз.	700	Кз.	1000	Ки.
	560	Ж.кз.	710	Кз	1400	У
Ангрен кони иккиламчи као- лини [35]	475	Ки	810	У.	1400	Кз.
	625	Кз.	950	Кз	-	-
	700	Кз	1100	Ки	-	-
Қамишбоши — Чимион кони гилис [35]	480	Ки.	710	Кз	850	У.
	510	У.	750	Кз	1050	Ки.
	530	У.	810	У.	1410	Кз.
Бандихон кони гилтупроги [35]	840	Ки.	675	Кз	810	У.
	545	Ки	690	Кз	1050	Ки
	650	Кз	710	Кз.	1460	Кз.
Сардара кони фосфорити [30]	410	Кз	610	У.	880	У
	475	Кз	660	Кз.	980	Кз.
	525	Кз	695	Кз.	1050	Ки.
	575	У.	720	Кз	1100	Ки
Сардара кони фосфорити — 1350°C да қуйди- рилган [30]	410	Кз	610	У.	1105	Ки
	475	Кз	655	Кз	1160	Ки
	525	Кз.	975	Кз	-	-
	580	У.	1050	Ки	-	-
Кермана кони кварц — дала шпати [30]	700	Ж.кз.	815	У	1500	Кз.
	710	Кз	1075	Ж.ки.	1670	Кз
	795	У	1180	Ки	1857	Кз.
Битаб кони кварц — дала шпати [30]	430	У	615	Кз	1015	Ки
	465	Кз	630	Кз.	1055	Ки.
	535	Ж.кз.	730	Кз.	1140	Ки
	590	У.	775	Кз	-	-
Битаб кони фос- форити — 1350°C да қуйдирилган [30]	420	У.	570	Кз.	766	Кз
	460	У.	730	Кз.	1060	Ки
Суттонунздаг кони дала шпати [30]	430	У.	615	Кз.	1020	Ки
	465	Кз	650	У.	1050	Ки.
	535	Кз.	730	У.	1145	Ки
	518	У.	770	У.	-	-
Суттонунздаг кони фосфорити — 1350°C да қуй- дирилган [30]	420	У	575	Кз	775	У
	460	Ки	730	У.	1060	Ки
Ангрен кони риолити [30]	420	Ки.	640	Кз	795	У.
	465	У	690	Кз	1040	Ки
	540	Кз	730	Ки	1140	Ки
	580	Кз.	770	У.	-	-

Тошкент чинни корхонаси масса- си — 1350°C да қуйдирилган [30]	465 560 615	Ки Ў. Кз.	650 695 720	Кз. Кз. Кз.	800 1085 1160	У Ки Ки
Бигтаб кони дала шпати киритил- ган чинни масса- си — 1350°C да қуйдирилган [30]	470 515 575	У. Кз. Ж.кз.	615 700 780	Ж.кз. Ж.кз. У.	800 1090 1160	У Ки Ки
Султонгулдаг кони дала шпати киритилган чин- ни массаси— 1350°Cда қуйди- рилган [30]	465 555 615	Ки У. Кз.	700 800 1090	Кз. Ў. Ки.	1150 - -	Ки - -
Ҷияти кони дала шпати киритил- ган чинни масса- си — 1350°C да қуйдирилган [30]	470 555	Ки Ў.	615 700	Кз. Кз.	790 1090	Кз. Ки.

Изоҳ: Бу ерда ва бошқа жадвалларда қуйидаги қисқартиришлар киритилган: Ки — кучли. Ж.ки — жуда кучли, Ў — ўртача, Кз — кучсиз, Ж.кз — жуда кучсиз.

Такрорлаш учун саволлар

1. ИҚ нури ким томонидан ва қачон кашф этилган?
2. Инфрақизил нурларининг тулқин узунлигини λ , мкм ва см^{-1} улчов бирликларида келтиринг.
3. ИҚ нурларини қайтариш ва утказиш миқдорлари қандай формулалар билан ифодаланади?
4. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари нима билан изоҳланади?
5. ИҚ нурларни ютиш, утказиш ва қайтариш спектрлари қандай ифодаланади?
6. Нур ютиш полосалари ҳақида тушунча беринг.
7. Нур утказиш полосалари моҳиятини тушунтириб беринг.
8. ИҚ нурларининг қайтарилиш спектрлари ҳақида гапириб беринг.
9. Инфрақизил спектроскопия аппаратларидан қайсиларини биласиз?

10. ИҚ спектрометрларнинг соддалаштирилган схемасини келтиринг.

11. ИҚ спектрометрларининг шаффоф призмалари сифатида қандай моддалар ишлатилади?

12. ИҚ нурланиш манбаи ҳақида маълумот беринг.

13. Препаратлар қандай усулларда тайёрланади.

14. ИҚ спектрларини ёзиб олиш мосламаси ҳақида нималарни биласиз?

16. Кремнезем ИҚ спектрлари полосаларининг экстремумлари ҳолати қандай?

17. Кремний тетраэдрларига қандай полосалар хос?

18. Алюминий гуруҳлар учун қандай полосалар хусусиятли ҳисобланади?

ТЎРТИНЧИ БОБ ТЕРМОГРАФИК ТАҲЛИЛ

28-§. Термография усули табиати

Термография ноорганик моддалар, силикат ва зўрғасуюлувчан материалларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процессларни ўрганади. Улар, одатда, иссиқлик эффектлари билан боғлиқ.

Термография усулининг турлари жуда кўп. Энг асосийлари қаторига киради:

1. Термик анализ.
2. Дифференциал термик анализ (ДТА).
3. Комплекс термик анализ.
4. Дериватография.
5. Тензиметрия.
6. Газоволюметрия.
7. Дилатометрия.

Биринчи марта қиздириш эгриликлари француз олими Ле-Шателье томонидан 1887 йилда олинган, у ҳароратни платина - платина-родийли термопараларда ўлчаш орқали термографик эгри чизикларни ҳосил қилиш мумкинлигини кўрсатди.

Узоқ йиллар давомида тадқиқотчилар қиздириш эгрилигини вақт ва ҳарорат боғлиқлигини координата чизигида қайд этганлар. Бироқ кичик эффектларни бу эгриликларда топиш қийин. 1899 йилда Робертс-Остин дифференциал термопара қўлади, бу термопаралар кичик миқдордаги иссиқликни сезувчандир.

1904 йилда француз муҳандиси Саладин Ле-Шателье билан биргаликда координатада термик эгриликларни олувчи аппарат яратдилар. Аппаратга қуйидаги икки фактор асос қилиб олинди:

- 1) Эталон ва намуна ҳароратининг фарқи;
- 2) Намуна ҳарорати.

Бу усулни янада ривожлантиришга рус олимлари ҳаракат қилдилар. Россияда термик таҳлил асосчиси Н.С. Курнаков

бўлиб, у 1904 йилда ҳозирги кунда ҳам қўлланилаётган пирометрни яратди.

МДХ давлатларида илмий-тадқиқот ишларини ривожланиши натижасида тизимларни физик-кимёвий ва минерологик таркибларини ўрганиш бўйича қиздириш эгриликлари усулидан силикатлар, руда тузлари ва қотишмаларни ўрганиш учун фойдаландилар.

Термик таҳлилдаги дифференциал ёзувларнинг киритилиши усул сезувчанлигини янада ортирди. Икки туздаги термик таҳлил-дифференциал ва оддий эгриликлар ёзила бошлади. Қиздириш эгриликларини ёзиш учун приборга иккита ўта сезувчан кўзгули гальванометр ўрнатилган. 1943 йилда Ф.В. Сиромятников тажриба вақтида дифференциал қиздириш эгрилигига ҳарорат шкалаларини суртиш (тушириш) усулини тақлиф қилганидан сўнг, термик таҳлил учун аппаратга иккинчи кўзгули гальванометрининг уланиши ва оддий қиздириш эгрилигини ёзишнинг хожати бўлмай қолди. Янги функциялар билан термик таҳлил физик-кимёвий анализ рамкасини яна кенгайтди. 1939 йилда И.В. Тананасев термик таҳлилни термография деб аташни тақлиф этди.

Термография деганда текширилаётган модданинг ихтиёрий нуқтасидаги ҳароратни (ёки ҳароратдаги бирор функцияни) аниқ дастур бўйича моддани узлуксиз равишда қиздирилганда ёки совитилгандаги ҳолатини қайд этиш тушунилади.

Усулнинг физик моҳияти: физик ва кимёвий жарёнларнинг катта қисми иссиқликни ажралиши ёки ютилиши билан боради. Баъзи бир жараёнлар тўғри ва қайтар йўналишида, баъзилари эса фақат бир йўналишда содир бўлади.

Қайтар жараёнларга киритиш мумкин: эриш-кристалланиш, қайнаш-конденсация, полиморф ўзгаришлар, мураккаб бирикмаларнинг ҳосил бўлиши ва парчаланиши, диссоциация.

Қайтмас жараёнларга киритиш мумкин: кам барқарор ҳолатдан юқори барқарор ҳолатга ўтиш реакциялари, қаттиқ эритмаларнинг парчаланиши, аморф ҳолатдан кристалл ҳолатга ўтиш, ўзаро таъсир реакциялари, монокотроп ўзгариш ва бошқалар.

Ҳамма жараёнлар иссиқликнинг ютилиши ёки ажралиши билан боради, буни ҳароратни ўлчаш йўли билан ўрганиш мумкин. Жараёни боришини ўлчовчи приборлар ёрдамида қайд этилади. Тажриба натижаларини эгри чизиқлар орқали ифодалаш мумкин, бунда вақт ва ҳароратни боғлиқлиги ифо-

даланади. Агар текширилатган моддада бирорта фазовий ўзгариш ёки кимёвий реакция содир бўлса, қиздириш режими бузилади. Унинг бузилиши қиздириш эгрикларида ёки майдонда пайдо бўлиш билан бирга боради.

Қуйида ҳарорат ўзгаришига асосланган термик анализ тури. ҳарорат ўзгаришига боғлиқ физик параметр ва бу ўзгарувчан параметрни қайд этувчи асбоб схематик равишда қайд этилади: термик анализ (ТА) → энтальпия → калориметрлар; дифференциал термик анализ (ДТА) → намуна ва эталон ўртасидаги ҳарорат фарқи → ДТА аппаратлари; термогравиметрик анализ → масса → термоторозлар; дифференциал йўналувчан калориметрик анализ → намунага ўтказилган иссиқлик → дифференциал калориметр; солиштирма иссиқлик сифими ўзгариши анализи → солиштирма иссиқлик сифими → дифференциал калориметр; динамик қайтарувчан спектроскопик анализ → намунанинг акс эттирилиши → спектро-рефлектометрлар; термолюминесцент анализ → нур эмиссияси → термолюми-несцент аппаратлари; термооптик анализ → оптик константалар → қиздириладиган ёруғлик микроскопи; дилатометрик (термомеханик) анализ → чизиқли ўлчамлар ёки ҳажми → дилатометр; электрўт-казувчанлик → электр қаршилиги → қаршилиқ кўприги; юқори ҳароратли рентгенографик анализ → юзалараро масофалар → қиздиришга мойия рентген дифрактометри; термометрик титрлаш анализи → моддалар концентрацияси → термометрик титрометр; газоволүмометрик анализ → газ ҳажми → газ волүмометри; дифференциал газовольүмометрик анализ → газ ажралишининг тезлиги → дифференциал газ волүмометри.

29-§. Термик анализ

Системанинг бирорта кўрсаткичининг катталиги мавжуд фазаларни аста-секин миқдорий нисбатда ўзгаришида бирор фазанинг йўқолиб кетиши ёки янги фазанинг сакраб ўзгаришида пайдо бўлади. Бу эгрилик термик усули орқали олинади. Бунда координата ўқларида модда ҳарорати ва унга жавобан ҳарорат ва абсисса ўқларида вақт қайд этилади.

Масалан: I - эффект: $\text{MgCO}_3 - \text{MgO} + \text{CO}_2$ ёки полиморфизм;

- II - эффект: $\text{CaCO}_3 - \text{CaO} + \text{CO}_2$ ёки эритиш.

Қиздириш вақтида фазовий ўзгаришлар рўй бериши ва унинг бошланиши аниқ нуқтадан бошланади. Модданинг қиздириш эгрилиги бу вақтда тезлашиши ёки секинлашиши мумкин. Масалан, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ да қиздириш жараёнида ҳеч қандай фазовий ўзгаришлар содир бўлмайди. Шунинг учун у эталон сифатида ишлатилади. Бу инерт модда ҳам печга жойланади ва худди текшириляётган намуна тезлигида қиздирилади.

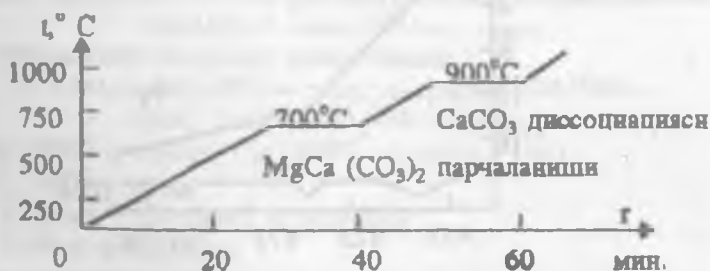
Ҳароратнинг ўзгариши эгриликларнинг горизонтал участкаларида кўринади (31-расм).

Карбонатларнинг диссоциацияси ва гидратларнинг сувсизлантиришдаги қиздириш ҳароратини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга. Шунинг ҳам назарда тутиш керакки, олинаётган ҳарорат эффектлари қиймати қиздириш тезлиги, намуна оғирлиги ва бошқа параметрларга таъсир этади.

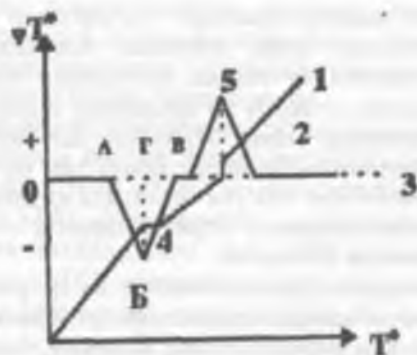
Қиздириляётган ёки совитиляётган модда ҳароратни гальванометрнинг курсаткичида ёки автоматик тарзда ёзиш мумкин. Қиздириш ёки совитиш эгриликларини автоматик тарзда ёзишда автоматик ўзи қайд этувчи акад. Н.С. Курнаков тизимидаги пирометрлар қўлланилади.

Курнаков пирометрларида термopара кузгули гальванометрга уланади, бунда бир меъёр тезлик билан ҳаракатланувчи барабанга ёруғлик нури тушади. Барабан ёруғлиги сезувчан қоғозга ўралган бўлиб, унда автоматик тарзда термик эгриликлар ёзилади.

Узоқ вақт давомида акад. Н.С. Курнаков томонидан яратилган пирометрлар термография усулининг асосий асбоби вазифасини ўтади.

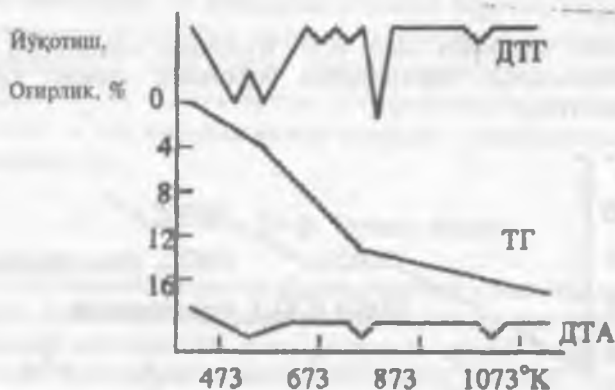


31-расм. Доломит минералининг термик анализига оид вақт-ҳарорат диаграммаси.



32-расм.

32-расм. ДТА табиатини очиб берувчи диаграмма: 1-қиздириш эгрилиги (термик таҳлил); 2-дифференциал эгрилик (ДТА); 3-нол линияси; 4-эндотермик эффект; $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ жараёнига тўғри келувчи; 5-иссиқликни ажралишига оид экзотермик эффект, масалан, кристаллизация жараёнида янги фаза ёки 2 фазадан янги бир фаза ҳосил бўлишида; АБВ-эндотермик эффект чўққиларини ўлчами; АВ-чўққининг кенглиги; ГВ-чўққининг чуқурлиги ёки баландлиги-термик реакция интенсивлигини кўрсаткичи.



33-расм. Тоza цемент хамирига оид дериватограмма.

30-§. Дифференциал термик анализ (ДТА)

Купгина ҳолларда реакцияларнинг термик эффекти жуда кичик, шунинг учун унга мос эгриликлар кам сезиларли. Бундай ҳолларда термопаранинг сезувчанлигини дифференциал схема қўллаш билан катталаштирилади (32-расм).

Берилган ушбу ҳолатда дифференциал термопара бир вақтнинг ўзида иккита ҳароратни ўлчайди: 1) текширилаётган модданинг температураси; 2) ҳарорат фарқи ёки қиздирилаётган модданинг текширилаётган ҳарорат интервалида термик ўрганишга йўл қўймайдиган инерт моддага нисбатан ўзгариши.

ДТА чизиги ёки эгриликларида эндотермик эффектлар қуйидаги ҳолларда рўй беради:

1) Термик бузилиш ёки текширилаётган моддадан газсимон фаза ажралиши билан. Масалан, тупроқ минерали $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (дегидратация); оҳактош $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (декарбонизация);

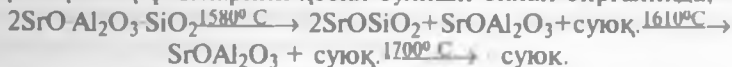
2) Термик парчаланиш, яъни газсимон фаза ажралмасдан модданинг парчаланиши билан.

Масалан, алит минералининг парчаланиши:

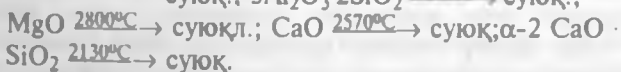
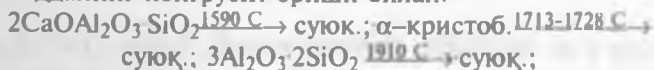


3) Энантиотрон характерли полиморф ўзгариш билан. Масалан, α -кварц $\rightarrow$ α -тридимит (кенгайиш 16%); $\beta\text{-CaSiO}_3$ ($2,91\text{-г/см}^3$) $\rightarrow$ $\alpha\text{-CaSiO}_3$ ($2,90\text{-г/см}^3$).

4) Модданинг инконгруэнт эриши билан, янга таркибнинг суюқ ва қаттиқ фазаларини ҳосил бўлиши билан биргаликда,



5) Модданинг конгруэнт эриши билан:



6) Қайнаш — бўғланиш ва возгонка;

7) Қайтар реакциялар.

Моддаларнинг дифференциал термик анализ шаклларида экзотермик эффект қуйидаги сабаблар туфайли содир бўлади:

1) Оксидланиш реакцияларида $\text{Fe} + \text{O} \rightarrow \text{FeO}$; $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2\text{CeO}_2$;

2) Монотроп характерли полиморф ўзгариш, берилган шартларда нобарқарор модификациядан барқарорга ўтиш билан биргаликда



3) Нобарқарор аморф ҳолатидан кристалл ҳолатига ўтиш билан



4) Бирикма реакцияси билан. Масалан, алитнинг ҳосил бўлиши:



5) Абсорбция жараёни рўй берганида;

6) Адсорбция жараёнида;

7) Кристалларнинг йириклашиш жараёнида;

8) Хемосорбция жараёни юз берганида;

9) Изомеризация жараёнида.

Юқорида қайд этилган эффектлар табиатига кўра, 2 гуруҳга ажралади — физик ва кимёвий ўзгаришлар.

Физик термоэффект берувчиларга киради: абсорбция, адсорбция, поли-морф ўзгариш, кристаллар йирикланиши, десорбция, эриш, аморф ҳолатидан кристалл ҳолатига ўтиш, сублимация ва бўғланиш.

Кимёвий термоэффект берувчи жараёнлар сафига хемосорбция, бўлиниши реакциялари, дегидратация, десольватация, газли муҳитда оксидланиш, молекулалар камайиши билан рўй берадиган оксидланиш реакциялари, оксидланиш — қайтарилиш реакциялари, газли муҳитда қайтарилиш, қаттиқ фазада рўй берувчан реакциялар, бириктириш ва ўрин алмашиш реакциялари, изомеризация ва бошқалар киради.

31-§. Комплекс термик анализ

Усул Г.Н. Воронков (1953 й.) ва Э.К. Келер (1955 й.) томонидан керамик хом ашёларни текшириш учун ишлаб чиқилган. Унда Келер бўйича қуйидагилар бор: 1) одатдаги ДТА; 2) қиздириш жараёнида материалнинг узайиши ёки қисқаришини аниқлаш; 3) қиздиришда материал оғирлигининг йўқолишини аниқлаш.

Воронков бўйича, КТА га киради: 1) ДТА эгриклари; 2) оғирликнинг ўзгариш эгрилиги; 3) ҳажм ўзгариш эгрилиги; 4) электрқаршилиқ эгрилиги.

Фотоқайд этиш қурилмаси сифатида Курнаков пирометри ишлатилган: барабаннинг фотоқоғозида бир вақтнинг узида термик эффектлар, намунанинг оғирлиги ва ҳажмнинг ўзгариши қайд этилади. Намунанинг чизиқлари ўлчамини ўзгариши (тажрибадан олдин қуйилган белги) фото қайд этиш учун оптик системада берилган.

Термогравиметрик чизиғи олишда, шу жумладан, комплекс термик анализда ҳам худди бошқа термография методларида руй берадиган ҳолатдагидек кўп факторлар мавжуд. Улар тажриба натижаларининг аниқлиги ва қайта тикланишига гоҳ ижобий, гоҳ салбий таъсир утказади. Уларни икки асосий гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Ўлчовчи асбоблар (термотарозлар) тузилиши ва ишлаши билан боғлиқ бўлган факторлар:

- а) печ қиздирилиш тезлиги;
- б) ёзиш тезлиги;
- в) печ атмосфераси;
- г) намуна ушлагич шакли;
- д) ёзув қурилмасининг сезгирлиги;
- е) намуна контейнери материалининг кимёвий таркиби.

2. Намуна таркиби:

- а) намуна массаси;
- б) намунада ажралиб чиқарилаётган газнинг қайта эриши;
- в) намуна бўлакчалари ўлчами;
- г) реакция иссиқлиги;
- д) намуна бўлакчаларининг зич жойлашиши;
- е) намунанинг кимёвий таркиби;
- ж) иссиқлик ўтказувчанлик ва ҳоказо.

32-§. Дериватографик анализ

Бу усулга К.Хонда 1915 йили асос солган ва илк бор термотарозилар яратган. 1915-1920 йиллар давомида усулнинг термогравиметрия қисми Гайчар томонидан ривожлантирилган. Утган асрнинг 40-50 йилларида Дюваль усул афзалликларини амалда синаб курсатган. 50-чи йилларда эса юқори сифатли саноат термотарозилари пайдо бўлди. Бу эса дериватографиянинг пайдо бўлишига олиб келди.

Дериватографиянинг анъанавий ДТА дан фарқи шундаки, бир намунанинг ўзида энтальпия ва оғирликни йўқотиш қайд этилади. Оддий ҳолдаги дифференциал термотаҳлилда ҳарорат намунада, термогравиметрияда эса-печдаги муҳитда ўлчанади. Бу эгриликларни мос равишда қўйишда қийин-чиликларни юзага келтиради ва хатоларга йўл қўйишга олиб келади.

1955 йилда венгер фуқаролари Ф.Паулик, И.Паулик ва Л.Эрдан дериватография усули бўйича таклиф киритишган. Бу усул бўйича автоматик равишда тўртта эгрилик қайд этилади: 1) ҳарорат эгрилиги; 2) ДТА эгрилиги; 3) термогравиметрик эгрилик (ТГ); 4) дифференциал термогравиметрик эгрилик (ДТГ).

ДТГ бўйича қиздириш жараёнида оғирлик тезлигининг ўзгариши аниқланади. Бу эса ўз навбатида термографик эгрилик ТГ устига устма-уст тушган процессларни ажратишга имкон беради.

Бунга эришиш учун дериватограф тарозиси чашкаларидан бирига перманент магнит ўрнатилган бўлиб, у обмотка ичида вертикал ўқда жойлашган. Материални қиздириш билан оғирлиги ўзгаришида магнит қиздириш тезлигига пропорционал равишда сурилади. Магнит майдонида ҳосил бўлган ток магнит узатиш тезлигига пропорционал бўлади ва унинг кучланиши приборда фотографик йўл билан қайд этилади.

Мисол тариқасида, юқорида тоза цемент хаамири (юза кўрсаткичи $4000 \text{ см}^2/\text{г}$ га, сувцемент нисбати 0.25, қолиплаш ҳарорати 293 К га ва ёши 28 суткага тенг)ни қиздиришда ҳосил бўладиган дериватограмма берилган (33-расм).

33-§. Усулнинг аппаратуралари

Термография усулларининг имконияти катта. Энг аввало, улар ёрдамида текширилаётган моддада содир бўладиган эндотермик ва экзотермик эффектларни қайси ҳарорат нуқтасида бошланиши ва қайси ҳароратда туташи ҳақида ўта аниқ хулосага эга бўламиз. Бу эса биринчи ҳарорат нуқтасининг пасти ва иккинчи ҳарорат нуқтасининг тепа томонларида рентгенографик, ИҚ спектроскопик ва микроскопик тадқиқотлар ўтказиб, фиксация қилинган эффект моҳиятини англашга олиб боради.

Термограф тадқиқотларни ўтказишда танланган аппаратура, тигел ва термопаралар роли ниҳоятда катта. Айниқса, тажрибаларни 1500 ва ундан юқори ҳароратда олиб борилганда намуна

ва термопара симларининг учмаслигини таъминлаш, тигел тозалаш жараёнини оsonлаштириш ва ҳоказо талаб қилинади.

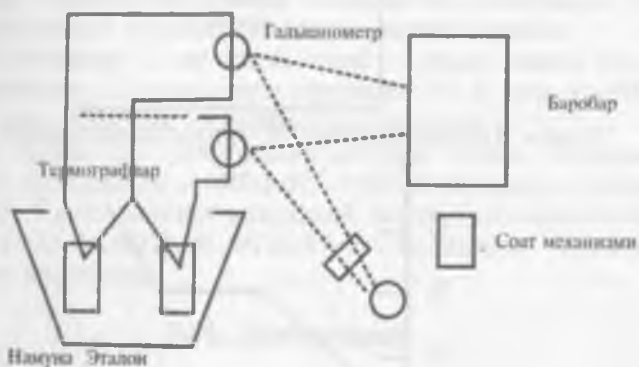
Агар тадқиқотларда термик таҳлил усули қўлланмаса, у ҳолда жуда кўп марта намуналарни куйдириш, жуда кўп рентгенограммалар олиш ва уларни расшифровка қилиш, кўп сонли шлифлар ясаш ва тадқиқотлар ўтказиш керак бўлар эди. Термография эса олимлар ишини тизимга солди ва тадқиқотлар сонининг максимал камайитириш имконини берди.

Замонавий термик жиҳозлар учун куйидагилар талаб қилинади (34-расм):

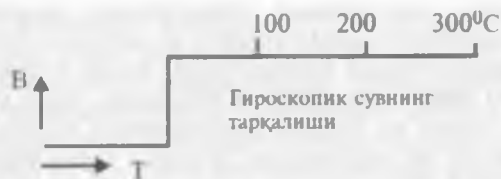
1) Вольфрам (2800°C гача), электрографит (2000°C гача), родий (1800°C гача), силит (1500°C гача), 10-20% родийли платина (1500°C гача), глобар (1500°C гача), платина (1400°C гача), тантал (1330°C гача), молибден (1200°C гача), хромел (1100°C гача), нихром (1000°C гача) каби қиздирилишларга эга булган электрик печлар.

2) Потенциал-регулятор ёки бошқа турдаги печ ҳароратини бир меъёрда кўтарилишини таъминловчи жиҳоз. Булар қаторига автоматик ползункали реостатлар, автотрансформаторлар ва потенциал-регуляторлар киради. Контактли гальванометр ва потенциометрларни ҳам ишлатиш мумкин.

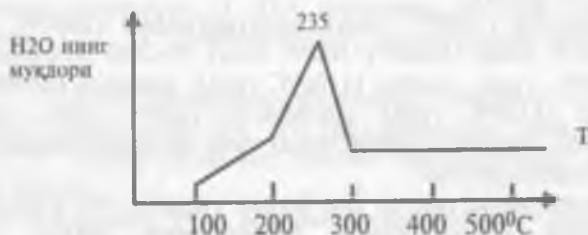
3) Эталон ва намуна солинадиган тигеллар (платинали, корундли, графитли ва бошқалар).



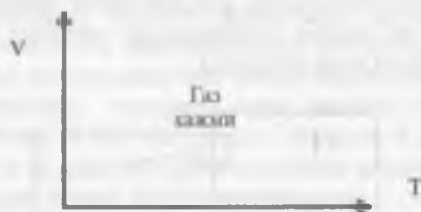
34-расм. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг чизмаси.



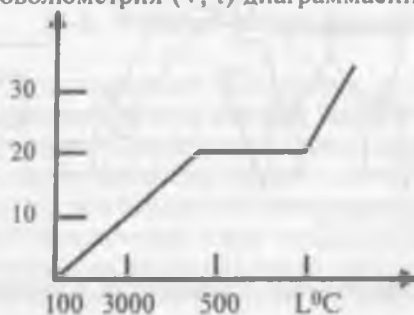
35-расм. Гипсош $2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нинг тензиметрик (P, t) чизиғи.



36-расм. Табиий гиббсит минералининг дифференциал тензиметрия чизиғи.



37-расм. Газоволүметрия (V, t) диаграммасининг кўриниши.



38-расм. Дилатометрия усули (v, t) диаграммасининг кўриниши.

4) Платина — платинородийли (20% Rh), платина-платинородийли (10% Rh), хромел-алюмелли, вольфрам-молибденли, никел-хромникелли, темир-константан, мис-константан ва бошқа оддий ва дифференциал термопаралар. Темир-константан термопара 185-370°C оралиғида, хромел-алюмелли ҳароратда 1200°C гача, платина-платинородийли эса 1400 °C гача ишлатилади. 1400°C дан юқорироқ ҳароратда эса вольфрам, молибден, рений, тантал, ниобий ва уларнинг қотишмаларидан ясалган термопаралар ишлатилиши керак.

5) Натижаларни ёзувчи автоматик ёзув қурилмаси (фотоқайд этиш- ёзиш ёки потенциометр).

Қуйида ном қайд қилинган жиҳозлар устида батафсил тushунтириш берилади:

1. Печлар: металл корпусли ҳимояланган, ичига қиздириш элементлари урнатилган жиҳоз. Қиздириш элементи сифатида диаметри 0,5-1 мм бўлган нихромли симлар (1273 К гача), қотишма Б-2 (1473 К гача), платина (1773 К гача), силитли (SiC+C, 1773 К гача) ва корборундли стерженлар (SiC, 1773 К гача) ишлатилади.

2. Печнинг терморегуляторлари сифатида автоматик сил-жувчи реостатлар, автотрансформаторлар ва программа билан бошқариладиган потенциал регуляторлари қўлланади.

3. Тигеллар - қалин деворли металл ёки керамика блоки, думалоқ ёки туғрибурчак шаклда тайёрланган. Платинали тигелларни кислотада тозалаб, кўп вақт ишлатиш мумкин.

4. Термопаралар - энг катта талаб - модда билан узаро таъсирлашмаслик. Шунинг учун кўпинча 1773 К гача Pt-PtRh ва 2273 К гача вольфрам - молибден ишлатилади.

5) Ўзи ёзувчи ёки регистрация қилувчи тизим. Электрон ўзи ёзувчи қурилмалар - ЭПП-09, ЭПД-09 типдаги потенциометрлар. Курнаковнинг замонавий вариантдаги пирометрлари - ФПК-52, ФПК-54, ФПК-57 (тебранишга, механик таъсирларга чидамсиз).

34-§. Дериватограф

Чет элда чиқариладиган, МДХ мамлакатларида қўлланиладиган жиҳозга дериватограф номи билан аталувчи ва Будапештнинг "Метримпэкс" фирмасининг 1966 йилда Ф.Паулик ва бошқалар томонидан чиқарган модели жиҳоз бўлиб, унинг русуми ОД-102 дир.

Комплекс термоаналитик жиҳоз дифференциал термоаналитик аппаратлар, термотарози ва дифференциал термотарозидан иборат. Дериватограф шу текшириладиган кукунда бир вақтнинг ўзида огирликнинг ўзгариши (ТГ), огирликнинг ўзгариш тезлиги (ДТГ), ҳароратлар фарқининг ўзгариши (ДТА) ва ҳароратнинг ўзгариши (Т) ни аниқлашга имкон беради.

Кўрсатилган тўрт хил ўлчаш тўла таҳлил шароитида - комплекс текширувни таъминлайди. Ҳарорат печда эмас, балки намунада ўлчанади, демак модданинг ҳарорат таъсирида ўзгариши юқори аниқликда ўлчанади.

Намуна учун тигеллар шундай ясалганки, унда содир бўлаётган қаттиқ фаза ва суюқ фазадаги реакцияларни ўрганиш мумкин. Дериватографнинг платина тигелидаги намуна ҳарорати электрик печ қизиши тезлиги билан бир хилда кўтарилади. Модданинг кукуни 50 дан 5000 мг. гача бўлади. Электропечнинг қизишини бошқарув программаси бўйича минутага 0,5° дан 20°С тезлик билан кўтарилиши таъминланади. Печнинг энг қизиган муҳитидаги максимал ҳарорат 150, 300, 600, 900, 1200°С. Максимал ҳато $\pm 5^\circ\text{C}$. Фотоқайд этувчи барабаннинг бир марта тўлиқ айланиши 25, 50, 100 ва 200 мин. да содир бўлади. Термограммалар 25, 50, 100, 200 минутда ёзилиши мумкин. Термограммадаги миллиграммлардаги оптик шкала намуна огирлигининг камайишини аниқлаш учун қўйилган. Термограммалар инерт газда олиниши мумкин. Жиҳоз тўла автоматлаштирилган.

Ф. Паулик ва бошқалар томонидан яратилган «ОД-102» дериватографи конструктив 16 элемент, детал ва жиҳоздан ташкил топган: 1-намуна солинадиган тигел; 2-инерт модда солинадиган тигел; 3-чинни трубка; 4-термопаралар; 5-электр токи билан ишлайдиган печ; 6-ғижимланиб кетмайдиган сим; 7-тарозлар; 8-катушка; 9-магнит; 10-ТГП учун гальванометр; 11-ҳароратни ўлчовчи гальванометр; 12-ДТА гальванометри; 13-лампарлар; 14-оптик тешикча; 15-фоторегистрация цилиндр; 16-фотоқоғоз.

МДХ мамлакатларида мавжуд бўлган жиҳозлар қаторига қуйдагилар киради:

1) СГМ-8 полярографи билан комплексдаги ТП-1 типидagi термик мослама. У 1959 йилда Москвадаги Геологқидирув аппаратлари ва жиҳозлари заводида чиқарилган. Бу жиҳоз 15 минут давомида 20° дан 1000°С гача ДТА ни олиши мумкин.

Қиздириш тезлиги минутига 70°C , модда миқдори 0,05 дан 0,1 г. гача;

2) ТУ-1 типдаги термик қурилма: 20° дан 1400°C гача ДТА ни 15 минут давомида олади. Қиздириш тезлиги $75-100^{\circ}$ бўлиб, текширилаётган модданинг миқдори 0,02-0,09 г ни ташкил этади.

3) УТА-1 термооғирлик анализи қурилмаси. У бир вақтнинг ўзида иккита эгриликни ёзади: ДТА ва ТГ. Иссиқлик оралиғи 20° дан 1000°C гача. Қиздириш тезлиги минутига 15, 30, 45, 60. Текширилаётган намуна миқдори макро ва микро тарзида бўлиши мумкин. Бу жиҳоз Санкт-Петербургдаги “Геологқидирув” заводида ишлаб чиқарилади;

4) Паст частотали термографик регистратор НТР-62. Россия ФА “Нодир жиҳозлар конструктив бюроси маркази” томонидан чиқарилган. Жиҳоз дастурли - қизиш учун бошқарув пультига эга бўлиб, қиздириш печи ва ўзи ёзувчи қурилмалардан ташкил топган. Ҳар икки минутда автоматик тарзда вақтни белгилаб борилади ва термограмма қоғозининг пастки қисмига туширилади. Автоматик тарзда бошқариш ток бўйича бўлмай, балки ҳарорат бўйича олиб борилади. Барабаннинг айланиш тезлиги турлича. Барабаннинг бир марта тўлиқ айланиши 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 минут ва 24 соат давом этиши мумкин. Ўзи ёзувчи қурилма бир вақтнинг ўзида моддани қиздириш жараёнидаги тўрт хил хоссаларни ўзгаришини қайд этади.

35-§. Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатометрия асбоблари

Тензиметрия. Минерални қиздириш жараёнида таркибида бор бўлган учувчан компонентларининг қайишқоқлигини қайд этишга асосланган.

Тенземетрия приборлари Хюттинг (1920 й.), Краусс ва Шривер (1930 й.), Сиромятников (1940 ва 1957 й.) томонидан яратилган. Бу приборлар газни қиздириш жараёнида унинг босими (Р), ҳажми (V) нинг ўзгаришини ўлчаш имкониятини беради (35 ва 36-расмлар).

Газоволюметрия - аниқ ҳароратда минераллардан H_2O , CO_2 ва бошқа газсимон фазаларни ажралишига асосланган (37-расм). Л.Г. Берг томонидан 1952 й. ажралаётган газ ҳажми ўзгаришини ўлчаш газли бюреткада амалга оширилган.

Газоволюметрия ҳароратлари ва ажралиб чиққан газ ҳажмини билиш орқали аралашмадаги минерални дастлабги миқдорини айтиб бериш мумкин.

Шунинг учун бу усулда кўпроқ 50-200 мг, тензаметрия усули бўйича эса 1-2 мг миқдорида модда олинади.

Дилатометрия - жисмнинг кенгайишини ўлчайдиган усул (38-расм). Бундай усулда текширишни дилатометр приборида амалга оширилади.

Дилатометрия термик анализнинг бир тури бўлиб, бунда қаттиқ ҳолатдаги кимёвий модда, минерал, шиша, хом ашё ёки саноат чиқиндисининг юқори ҳарорат таъсирида кенгайиши аниқланган. Бундай кенгайиш чизиқли кенгайиш коэффициентини (α) ва ҳажмий кенгайиш коэффициентини (β) номли параметрлар билан ифодаланади.

Чизиқли кенгайиш коэффициентини α деб текширилаётган модда ҳарорати 1°C га кўтарилганда намуна ўлчамининг нисбий узайишига айтилади:

$$\alpha = \Delta l / l \cdot \Delta t \text{ ёки } \Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta t$$

бунда l - текширилаётган модда намунасининг узунлиги;

Δl — ҳарорати Δt ° га оширилганда намуна узунлигининг ортиши;

Δt — бошланғич (t_1) ва охириги ҳарорат (t_2) лар фарқи.

36-§. Препарат тайёрлаш усуллари

Таҳлил учун керак бўлган материал миқдори олиб борилаётган текширув турига боғлиқ:

а) минераллар таҳлили учун - 30-100 мг;

б) термоаналитик эгрилик олиш учун - 350-500мг модда зарур;

в) ялпи бир турли аниқлашлар учун - 100 мг модда кифоя.

Материал тайёрланади:

- узоқ муддатли ишқалаш орқали намуна кукун ҳолига келгунча (кукун катталиги 0,0043 мм). Таркибида конституцион H_2O ва осон оксидланувчи элементлар бўлмаслиги керак;

- вақт бўйича қисқа муддатли эзиш - агар таркибида конституцион H_2O бўлса;

- Пичоқ, қайчи, уткир тигли кесгичлар ёрдамида юпқа қаватлар кўринишида олинади, масалан, слюдасимон моддалар тайёрланиши шу тарзда бўлади.

Термография усуллари билан тадқиқотлар ўтказиш чоғида текшириладиган модда намунасида $0,05-0,3$ г дан $10-12$ г гача олинади. Олинган намуна чинни ёки агат ховончада $1-3$ мм ли бўлакчалар ҳолигача майдаланади. Майдаланган материалдан $1-2$ г олиб бюксга солинади, устига абсолют спирт қуйилади ва $10-20$ соат тинч қўйилади. Кейин материал қоғоз фильтрига тўкиб сувсизлантирилади. Сўнгги материал $4900-10000$ тешикли элактарда эланади. Шундан кейин ундан ўртача намуна $0,3-0,5$ г миқдорида олинади ва термографиянинг платина ёки корунддан тайёрланган тигелига солинади.

Анализ учун олинadиган намуна миқдори гилсимон минераллар учун $0,3-2$ г га тенг бўлади. Бу ҳолда печдаги қиздириш тезлиги $5-10$ град/мин атрофида бўлади. Агар қиздириш тезлиги $50-60$ град/мин бўлса, у ҳолда намуна миқдори $0,1$ г гача камайиши мумкин. Натижаларнинг аниқ бўлишига текшириладиган модда билан эталоннинг бир хил зичликка эга бўлиши даркор.

37-§. Усулнинг имкониятлари, афзаллиги ва камчиликлари

Усулдан амалий жиҳатдан фойдаланиш имкониятлари. Уларга қуйидагиларни кўрсатиш мумкин:

1) Бу усулсиз илмий-тадқиқот иши олиб боровчилар микроскопия, рентген каби усуллар билангина ишлаганда унлаб, ҳатто юзлаб экспериментлар ўтказишлари зарур эди. Термография усули қўлланиши билан экспериментлар сони камайди, биргина эксперимент ўтказиш билан керакли эффектлар ва уларнинг чегаралари ҳамда табиати ҳақида аниқ фикр юрийтиш имкони пайдо бўлди;

2) Хом ашё материаллари, минераллари, жинсларни минералогик таркибини уларнинг термик эгри чизиқларини бошқа эталон термограммаларга таққослаш йўли билан илк бор ахборотга эга бўлиш имконияти яратилди;

3) Минерални турини, айниқса бир гурпуга тааллуқлисини таҳлил қилишга имконият беради. Айниқса, карбонатлар, сувли бирикмаларда уларнинг парчаланиши, сувни учиб чиқиб кетишини меъёрий аниқлашга муваффақ бўлинди;

4) Модданинг теплофизик ҳолати, айниқса, кимёвий реакциялар давомида уларнинг иссиқлик ютиши ёки чиқарилиши масалаларини аниқлаш имконияти пайдо бўлди;

5) Модданинг термоинерт ёки термоактивлигини аниқлайди. Масалан, корунднинг термоинертлиги ва кремнеземнинг термоактивлиги;

6) Иссиқлик эффекти содир бўладиган ҳарорат ораллигини аниқлайди. Термографиядан бошқа усул қўлланганда бу масалани ечиш жуда қийин кечади, жуда кўплаб тажрибалар ўтказилиши талаб этилади;

7) Минерал турини табиатдаги кимёвий ўзгаришини аниқлашга имкон беради;

8) Физик-кимёвий жараён тезлиги ва вақт бўйича унинг ҳолатини аниқлашга хизмат қилади;

9) Жараёнда ҳосил бўлаётган модда миқдорини аниқ улчашга имкон яратади.

Усулнинг афзаллиги. Унинг афзал томонлари кўп. Уларга куйидагилар киради:

1) Усулда аморф, майда дисперс ва метамикт минералларни ўрганиш учун қўллаш имконияти мавжудлиги;

2) Усулнинг объективлиги ва яққол қоғозга термограмма ёки дериватограмма ҳолатида туширилиши;

3) Бажариш техникасининг соддалиги, ишлатилган тигелларнинг тозалаб қайта ишлатиш имконияти мавжудлиги;

4) Усулнинг тез бажарилиши. У 15 дан то 45-60 мин гача талаб қилади. Шу билан бирга кўп анализ — термоэффектлар, оғирликлар ва бошқаларга оид тажрибаларни бир вақтда ўтказиш имконияти мавжудлиги;

5) Моддани кам миқдорда, яъни 0,1 дан 0,5 г гача олиш имконияти мавжудлиги;

6) Минерал турининг термоаналитик тафсифини аниқлаш имконияти;

7) -190° дан то $+3000^{\circ}$ гача ҳароратларда ДТА эгрилигини олиш имкони.

Усулнинг камчиликлари. Маълум даражада камчиликлар ҳам мавжуд:

1) Термография орқали маълум бир ҳароратда термоэффект содир бўлганлиги, модданинг миқдори ўзгарабошлаганлиги қайд этилади, лекин у нима асосида рўй берганлигини аниқлай олмайди.

2) Рентгенография, ИК спектроскопия, микроскопия, кимёвий ва бошқа турдаги анализларни жалб этгандан кейингина ҳулоса чиқариш мумкин бўлади.

3) Термограмма олиш экспериментал шароитга боғлиқлиги (қиздириш тезлиги, намуна оғирлиги, дифференциал термопара занжиридаги ўзгарувчанлик, тигелдаги модданинг зичлиги, эталоннинг хоссаси, печнинг атмосфераси, термопара қотишмасининг намуна ва эталонга ўрнатилиши, дисперслик даражаси ва бошқалар).

38-§ Кимёвий жараёнларда содир бўладиган термик эффектларга оид маълумотлар

Қуйида табиий ва сунъий ҳолда учрайдиган, силикат ва бошқа саноатларда кўпроқ қўлланиладиган кимёвий моддаларда содир бўладиган термик эффектларга оид маълумотлар келтирилади (16-жадвал).

Баъзи кимёвий бирикма ва минералларнинг термик эффектлари

16-жадвал

Модданинг номи ва формуласи	Термоэффект тури	Термоэффект ҳарорати, °C	Термоэффект Табиати
Кремний /IV/ - оксид — SiO_2	Экзоэффект	115-117	Тридимитнинг ўтиши
	Экзоэффект	155-163	Тридимитнинг ўтиши
	Экзоэффект	220-280	Кристобалитнинг ўтиши
	Эндоэффект	573	Кварцнинг ўтиши
Каолинит- γ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	550-610	Дегидратланиш
	Экзоэффект	925-1000	Аморф кремнезем ва глиноземнинг кристалланиши ва силлиманит ёки муллит ҳосил бўлиши
	Экзоэффект	1200	Муллитнинг бутунлай ҳосил бўлиши ва қолдиқ аморф SiO_2 нинг кристалланиши

Диккит — $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	480 — 590	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 — 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши, муллит ёки силлиманит ҳосил бўлиши
	Экзоэффект	1130 — 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Накрит — $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	550 — 610	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 — 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши
	Экзоэффект	1200 — 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Монтмориллонит — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $(\text{Al}_2, \text{Mg}_3)\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	50 — 150	Адсорбиланган сувнинг йуқотилиши
	Эндоэффект	200 — 235	Пакетлараро сувнинг йуқотилиши
	Эндоэффект	500 — 760	Конституцион сувнинг чиқиши
	Эндоэффект	800 — 860	Кристалл панжаранинг парчаланиши
	Экзоэффект	900 — 1000	Кристалланиш ва янги модданинг ҳосил бўлиши
Бейделлит — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	100 — 190	Адсорбиланган сувнинг буғланиши
	Эндоэффект	500 — 600	Конституцион сувнинг чиқиши
	Эндоэффект	800 — 880	Кристалл панжаранинг парчаланиши
	Экзоэффект	900 — 925	Янги кристалл модданинг пайдо бўлиши

Нонтронит – $m[3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] \cdot p[(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	100 – 200	Адсорбированный в цеолитных структурах буглениш
	Эндоэффект	400 – 625	Конституционный суффнинг чиқиши
	Экзоэффект	810 – 920	Янги кристалл модда пайдо бўлиши
	Экзоэффект	925 – 1180	Кристалланишнинг охирига етиши
Монтершит – $0.2\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O} (+0.5\text{H}_2\text{O})$	Экзоэффект	50 – 100	Кристалланишнинг охирига етиши
	Экзоэффект	450 – 550	Конституционный суффнинг чиқиши
	Экзоэффект	955 – 975	Кристалл модданинг ҳосил бўлиши
Галлуазит – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	50 – 140	Адсорбированный суффнинг ажралиши
	Эндоэффект	405 – 555	Конституционный суффнинг ажралиб чиқиши
	Экзоэффект	970 – 1060	Кристалл ва янги модданинг ҳосил бўлиши
Пирофиллит – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Экзоэффект	500 – 800	Суффнинг ажралиб чиқиши
	Эндоэффект	950 – 1100	Янги кристалл модданинг ҳосил бўлиши

Полигорскит- $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ $n\text{H}_2\text{O}$	Эндозэффект	130 – 150	Адсорбиаланган сувнинг ажралиши
	Эндозэффект	270 – 300	Пакетлараро сувнинг йуқотилиши
	Эндозэффект	500 – 530	Конституцион сувнинг ажралиши
	Эндозэффект	905	Кристалл панжаранинг парчаланиши
	Экзоэффект	950	Янги модданинг кристалланиши
Кальцит- CaCO_3	Эндозэффект	800 – 950	Диссоциаланиш
Арагонит CaCO_3	Эндозэффект	390-420	Кальцитга айланиш
Ватерит (фатерит)- k-форма CaCO_3	Эндозэффект	440	Кальцитга айланиш
	Эндозэффект	900 – 950	Диссоциаланиш
Тремолит- $2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндозэффект	800	Конституцион сувнинг чиқиши
Шохли алдагич- $\text{Ca}, \text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe}) \cdot [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}] \cdot (\text{OH})_3$	Эндозэффект	400	Сувнинг ажралиши
	Эндозэффект	1175	Сувнинг бутунлайин ажралиб чиқиши
Кальций гидроксид – $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Эндозэффект	530-580	Дегидратланиш
Магнезит- MgCO_3	Эндозэффект	540-710	Диссоциаланиш
Доломит- $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$	Эндозэффект	730-790	Доломитнинг CaCO_3 ва MgCO_3 га парчаланиши ҳамда MgCO_3 нинг диссоцияланиши

Ангидрит — Ca SO ₄	Эндоэффект	1190	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс-α- CaSO ₄ · 0,5H ₂ O	Эндоэффект	160	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	Дегидратланиш
	Эндоэффект	380	Ангидрит инвер- сияси
	Эндоэффект	1180-1200	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс — βCa SO ₄ · 0,5H ₂ O	Эндоэффект	120	Дегидратланиш
	Эндоэффект	180	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	0,5 мол H ₂ O йўқолади
	Эндоэффект	410	Ангидрид инвер- сияси
	Эндоэффект	1180 — 1200	Полиморф ўзгариш
Икки молекула сувли гипс- CaSO ₄ · 2H ₂ O	Эндоэффект	100 - 120	Адсорбиланган сувнинг йўқолиши
	Эндоэффект	220	0,5 мол H ₂ O нинг йўқолиши
	Эндоэффект	240	0,5 мол H ₂ O нинг йўқолиши
	Эндоэффект	380 - 420	Ca SO ₄ инверсияси
	Эндоэффект	1180-1200	Полиморф ўзгариш
Уч кальцийли силикат- 3 CaO SiO ₂	Эндоэффект	920 - 925	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	970 - 980	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	990 — 1000	Полиморф ўзгариш
Алит- 54CaO 16SiO ₂ · Al ₂ O ₃ MgO	Эндоэффект	825	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	1427	Полиморф ўзгариш

Икки кальцийли силикат - $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Эндоэффект	780-830	$\alpha\text{-C}_2\text{S}$ га утиш
	Эндоэффект	1447	$\alpha\text{-C}_2\text{S}$ дан $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ га ўтиш
Тальк - $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	850 - 950	Дегидратланиш
Хризотил-асбест- $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	100	Адсорбиланган сувнинг йуқолиши
Кальций гидросульфатминерал - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	200-250	Қисман дегидратланиш, таркибидаги сувнинг куп қисмини йуқотиш
	Эндоэффект	300-320	Дегидратланиш
	Эндоэффект	500	Дегидратланиш
	Эндоэффект	800	Сувсиз аморф ҳолатдаги фазанинг кристалланиши
Натрий гидросиликат- $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	95	Босқичли дегидратланиш
	Эндоэффект	1083	Сувсиз тузнинг суюқланиши
Гидрагиллит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	250 - 300	Қисман дегидратланиш, бемит ҳосил бўлиши
	Эндоэффект	500 - 550	Бемитнинг дегидратланиши
	Экзоэффект	800	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ нинг $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ га ўтиши
Байерит (метастабил форма) - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		310 - 315	Қисман дегидратланиш, бемитга утиши
		500 - 550	Бемитнинг бутунлайин дегидратланиш
		800	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ нинг $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ га утиши

Бемит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	460 – 580	Дегидратланиш. Конституцион сувнинг чиқиши ва кристалл панжаранинг бузилиши
	Экзоэффект	850 - 950	γ - Al_2O_3 нинг α - Al_2O_3 га ўтиши
Гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	300 – 420	Дегидратланиш, α - Fe_2O_3 га ўтиш
	Эндоэффект	680	Полиморф узга- риш, α - Fe_2O_3 дан γ - Fe_2O_3 га ўтиш
Магнетит- FeFe_2O_4	Экзоэффект	250 – 375	Магнетитнинг маггемит – γ - Fe_2O_3 га ўтиши
	Экзоэффект	590 – 650	Маггемитнинг гематит γ - Fe_2O_3 га ўтиши
Гематит- α - Fe_2O_3	Эндоэффект	658	Маггемит – γ - Fe_2O_3 га ўтиш
	Эндоэффект	1370 - 1400	Магнетит – Fe_3O_4 га ўтиши
Натрийли дала шпати- β - $\text{Na}_2\text{O} \cdot$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$	Эндоэффект	1118	Эриш
Мусковит - $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	750 - 850	Дегидратланиш
	Эндоэффект	1020 – 1090	Кристалл пан- жара парчала- ниши
Биотит - $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}$ $3\text{O}_{10}] (\text{OH}, \text{F})_2$	Эндоэффект	1160	Кристалл пан- жара парчала- ниши
	Экзоэффект	1200	Янги кристалл модда ҳосил булиши
Брусит - $\text{Mg} (\text{OH})_2$	Эндоэффект	400-550	Дегидратланиш
Ксонотлит - $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot$ H_2O	Эндоэффект	775-800	Дегидратланиш

Такрорлаш учун саволлар

1. Термография усулининг назарий асослари ким томонидан ишланган?
2. Термография усулига оид термик анализ усулларини санаб беринг.
3. Термик анализ деб қандай таҳлил турига айтилади?
4. Доломит минералининг термик таҳлилига оид вақт-ҳарорат диаграммасини чизинг ва ундаги эгри чизиклар ҳолатини тушунтиринг.
5. Дифференциал термик анализ табиатини очиб беринг.
6. Моддаларда содир бўлаётган қандай жараёнлар комплекс термик анализ орқали аниқланади?
7. Моддаларни қиздириш жараёнида дериватографик анализ орқали қандай параметрлар аниқланади.
8. Эндотермик эффект қандай рўй беради?
9. Моддаларда экзотермик эффект қандай рўй беради?
10. Силикат ва зўрғасуюлувчан материалларни таҳлил қилишда термография қандай вазифани утайди?
11. Термография усулларининг қандай амалий имкониятлари мавжуд?
12. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг схемасини беринг?
13. Дериватограф қаерда ва қачон яратилган?
14. Тензиметр орқали қандай параметр аниқланади?
15. Газоволюметрия таҳлили орқали қандай параметр ўлчанади?
16. Дилатометр деганда қандай термик асбоб-ускуна тушунилади?
17. Термография усули препаратлари қандай қилиб тайёрланади?
18. Усул имкониятларини санаб беринг.
19. Термография усули қандай афзалликка эга?
20. Термография усулининг камчиликларини кўрсатинг.

БЕШИНЧИ БОБ

РЕНТГЕНОГРАФИК ТАҲЛИЛ

39-§. Рентген нурларининг хоссалари

Таҳлилда маълумки, энг биринчи физик-кимёвий ва фазовий таҳлил усули микроскопия номи билан аталган. Кейинчалик бошқа усуллар, масалан, термография келиб қўшилди.

1895 йили физика фанида оламшумул воқеа рўй берди. Шу йили улуг немис физиги, Нобел мукофотининг биринчи лауреати, профессор В.К. Рентген томонидан кўз илғамайдиган янги нур "X" борлиги қайд этилди. Бу нурлар кейинчалик олим шарафига рентген нурлари деб аталди.

1912 йили Лауэ ва унинг ҳамкасабалари томонидан рентген нури дифракцияси кашф қилинди. Натижада фазаларни тўғридан-тўғри идентификация қилишга имкон берадиган энг ишончли рентгенофазовий анализ усули яратишга муваффақ бўлинди.

Рентген нурларини регистрация қилувчи ионизацион ва сцинтиляцион сўтчикларнинг пайдо бўлиши ва такомиллаштирилиши, фотография усули яратилиши ва унда фокусловчи камера-монохроматорларнинг тараққий эттирилиши орқали фазовий анализ чегаралари кенгайтирилди.

Рентген нурларининг кашф этилиши, яратилган турли усул ва жиҳозларнинг қўлланилиши физика, кимё, тиббиёт ва айниқса, техника фанлари (металлар технологияси, металлургия, машинасозлик)га имкониятлар очиб берди.

Рентген нурлари $0,01)0,00001$ мк ёки $10^2)10^{-1}$ А тўлқин узунлигига эга бўлиб, улар ёруғлик нурлари каби электромагнит табиатга эга. Улар ижобий ядро ва салбий электронлардан ташкил топган атомга доимий осцилловкаланувчи кучи каби таъсир этади. Электрон ва ядро бир яқинлашади, бир узоклашади. Натижада атомнинг ўзи тушаётган рентген нури тўлқин узунлигига нурланади. Алоҳида атомлардан чиқарилаётган нур тўлқинлари ёйи бир-бирига қўшилади ва

ёйилган тўлқинлар фронтини ҳосил қилади. Атомларнинг пан-
жараларидан ёйилган кўпгина тўлқинлар ичида фақат кузгудан
қайтарилиш қонунига бўйсинувчиларигина сақланиб қолади.
Айнан қайтган нур ва атомли занжир ўртасидаги бурчак худди
занжир ва тушаётган нур орасидаги бурчак сингари бўлиши
керак. Ҳажмий кристаллар учун бу таъсир мураккаблашади.

Рентген нурлари биринчи марта Рентген томонидан иккита
электрод кавшарланган шиша найчадан иборат ҳавони 10^{-5} мм
симоб устуни босимида сўриб олиниши ва ундан электр токи
ўтказилиши орқали ҳосил қилинган. Ўрнатилган электродлар-
дан ўзига хос, кўзга кўринмайдиган нурлар чиқиши қайд этил-
ган.

Рентген нурлари квант нурлари қаторига киради, таъсири
гамма нурлари кабилар. Бу нурларнинг ҳиди йўқ. Улар рангсиз
бўлиб, буюмлар ичига кириши, сингиш, тарқалиш, ёритиш,
фотокимёвий ион ҳосил қилиш, биологик таъсир кўрсатиш
каби хосса - хусусиятларга эга.

Рентген нурининг турли модда ва жисмлар ичига кириш
хусусияти нур тўлқинларининг узунлигига боғлиқ. Агар нур
таркибида “қаттиқ”, яъни тўлқин узунлиги кичик нурлар кўп
бўлса, ичига кириш “юмшоқ” (тўлқин узунлиги узун) нурларга
нисбатан кўпроқ бўлади.

Рентген нурларининг интенсивлиги турли модда ва жисм-
лардан ўтаётганда ўзгаради. Бу уларнинг қалинлиги,
қаттиқлиги, солиштирма огирлиги ва кимёвий тузилишига
боғлиқ. Газ ва ҳаво рентген нурларини сингдирмай ҳаммасини
ўтказиб юборади. Лекин барий сульфат ёки кўрғошин куп нур
ўтказмайди. Шунинг учун улар рентген нурларидан сақланиш
учун тўсиқ сифатида ишлатилади.

Рентген нурлари модда ёки жисм томонидан ютилганда,
улар иккинчи даражали рентген нурларини чиқарадиган ман-
бага айланиб қолади.

Рентген нурларини олиш замонавий тузилган аппаратларда
амалга оширилади, лекин уларнинг пайдо бўлиши бир хил
тизимга — рентген трубкасида катодга юқори кучланиш берил-
ганда ўзидан электронлар — гамма нурлари чиқарилиши, улар-
нинг қутбланган антикатодга куч билан урилиши натижасида
катта тезликда заррачалар отилиб чиқишига асосланган.

40-§. Рентген нурларининг дифракцияси

Рентгенография — рентген нурлари ва уларни металл, металл қотишмалари, кимёвий бирикма, минерал ва турли хом ашёларни тадқиқот қилиш фани. У юқорида санаб ўтилган моддаларнинг атом, суб-, микро- ва макротузилмалари ҳамда кимёвий таркибини аниқ билишга хизмат қилади. Кимёвий модда ёки минерал атом даражасидаги тузилиши текшириладиганда кристалл пан-жараларининг тури ва параметрларини аниқлаш имконини беради. Унинг асосий ютуқлари кристаллар, кристалл сингониялари, кристалл панжаралари каби терминларга келиб тақалади.

Рентген нурларининг кристалл моддалар атомларига урилиб тарқалиши Москва университетининг профессори Г.В. Вульф ва инглиз физиклари ота-бола Г. ва Л. Брэгтлар томонидан биринчи мартаба ўрганилган. Қайтган нурларни, олимларнинг фикрича, кристаллдаги атомлар текислигидан қайтган деб ҳисоблаш мумкин.

Кристаллардаги рентген нурлари дифракцияларини баён этишнинг қулай усулини ота-бола Г. ва Л. Брегтлар топишган. Уларнинг формуласи

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

бўлиб, бу ерда, n -яхлит сон бўлиб, у 1,2,3... нурларининг қайтиш тартибини беради;

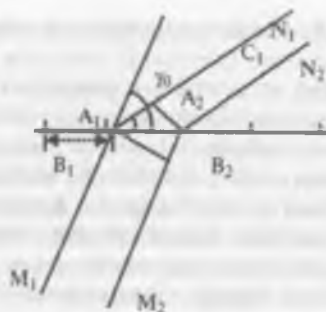
λ -рентген нурлари тўлқин узунлиги, d ;

d -кристалл панжарадаги атомлар юзаси орасидаги масофа;

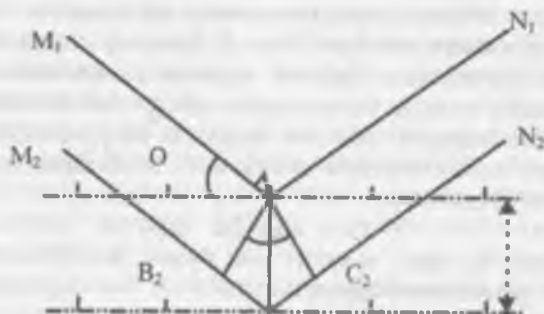
θ - атом юзасига тушаётган рентген нурлари тушиш бурчаги.

Юқорида берилган тенглама рентгенотузилмавий ва рентгеноспектрал анализлар учун асосий ҳисоблаш формуласи бўлиб, у дифракция натижасида оған нурларнинг йўналиши кристалл панжара тузилишига ута боғлиқ эканлигидан далолат беради.

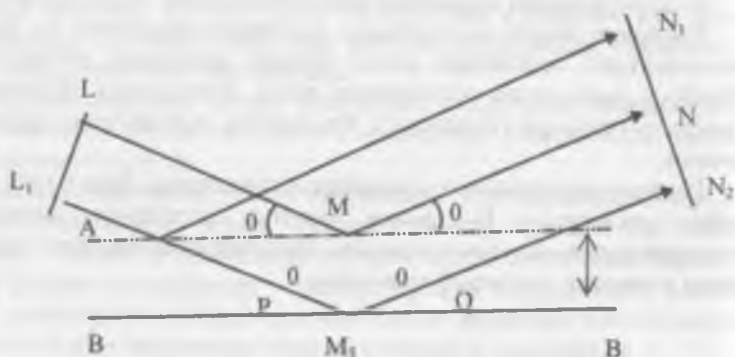
Рентген нурларининг синдириш кўрсаткичи бирга тенг деб қабул қилинган. Бу рақам рентген нурининг кристалл ташқарисидаги ва унинг ичидаги йўналишлари бир хил бўлади деган хулосани келтириб чиқаради.



39-расм. Атомлар қатори дифракцияси (Лауэ тенгламаси ечимига).



40-расм. Вульф-Брегглар тенгламаси ечимига оид.



41-расм. Атом текисликларидан қайтган рентген нурлари дифракциясини ҳосил қилиш схемаси.

Рентген нурларининг дифракцияси масаласи Лауэ (39-расм) ва Вульф-Брегг (40-расм) схемалари ва тенгламалари орқали яхши тушунилади. Шунинг учун бу ўта муҳим масалага алоҳида тўхтаб ўтамиз.

39-расмда кристаллда “в” периодига эга бўлган атомларга $M_1 A_1 N_1$ ва $M_2 A_2 N_2$ нурлари йўналтирилганлигини кўриш мумкин. Агар $M_1 A_1 N_1$ $n\lambda$ тўлқин узунлиги қиймати $M_2 A_2 N_2$ дан катта бўлса, шу йўналишда дифракция рўй беради. Фарқни қуйидаги тенглама билан изоҳлаш мумкин:

$$A_1 C_1 - A_2 B_2 = n\lambda.$$

Ўз навбатида:

$$A_1 C_1 = b \cos \varphi_n \text{ ва } A_2 B_2 = b \cos \varphi_0,$$

$$n\lambda = b(\cos \varphi_n - \cos \varphi_0), \text{ бу ерда } n = 0, 1, 2, \dots$$

Уч координатали решеткада дифракция амалга ошиши учун бундай тенгликлар учала фазовий координаталар бўйича бажарилиши зарур:

$$a (\cos \alpha_n - \cos \alpha_0) = n\lambda,$$

$$b (\cos \beta_m - \cos \beta_0) = m\lambda,$$

$$c (\cos \gamma_p - \cos \gamma_0) = p\lambda,$$

бу ерда, a , b ва c - x , y ва z ўқлари бўйича решетка даври;

α_0 , β_0 , ва γ_0 - x , y ва z оралиғидаги бурчаклар;

α_n , β_m ва γ_p - дифракцион нур йўналишлари оралиғидаги бурчаклар.

Юқорида берилган дифракцияга оид уч тенглама Лауэ тенгламалари деб ҳам аталади.

Уч ўлчамли кристаллар панжарасини рентген нурларини қайтарувчи параллел юзаликлардан ташкил топган деб фараз қилишимиз мумкин. У ҳолда сеткадаги дифракция $m=n=0$ бўлиб, Лауэнинг икки шarti қуйидагича бўлади:

$$\cos \alpha_n = \cos \alpha_0,$$

$$\cos \beta_m = \cos \beta_0.$$

40-расмдан маълумки, $M_1 A_1 N_1$ нури $M_2 A_2 N_2$ нурига нисбатан $B_2 A_2 + A_2 C_2$ узунлигида қисқароқ ўтади. Аммо $B_2 A_2 = A_2 C_2 = d \sin \theta$, яъни дифракцион эффектнинг пайдо бўлиши зарур:

$$2 d \sin \theta = n\lambda,$$

бу ерда, $n = 1, 2, 3, \dots$. Бу нарса Вульф-Брегглар тенгламасини ўзгинасидир.

Бир хил атомли юзаларнинг тўплами рентген нурларига нисбатан нур қайтариши тўла бўлмаган бир қатор кўзгуларни

намоён этади. Нурнинг бир бўлаги юқоридаги юзадан қайтгач, пастроқда жойлашган юзалардан қайтган нурнинг бошқа булаклари ҳисобига кучаяди. Бундай кучайиш фақат бир ҳолатда, у ҳам бўлса, ҳар қандай текисликдан қайтган нурларнинг ўтган йўли бутун сон n га тенг бўлса, рўй беради (41-расм).

Бу ҳолда рентген нурларининг интерференцияси содир бўлади. Дифракцион анализ, қайси усулда (кўпинча фото-плёнкада) қайд этилганидан қатъи назар, қаттиқ моддаларнинг атом тузилишини ўрганишга имкон беради.

Рентген нурлари ёрдамида Брегг, Н.В.Белов, Курдюмов, Жданов ва бошқалар томонидан деярли ҳамма қаттиқ моддаларнинг тузилмаси ўрганилган. Ҳар бир кристалл тузилма ўзининг асосида баъзи “ғиштча”лардан - оддий ёки элементар ячейкага эга. Уларнинг учала фазовий координат бўйича давомсиз такрорлашлар натижасида кристаллнинг ҳамма бўшлиқлари тўлдирилиши рўй беради.

Қаттиқ моддаларнинг атомларини қайси тартибда жойлаштириш унинг физикавий хоссалари учун муҳимдир. Атомнинг кимёвий табиатидан кўра, шу тузилма факторлари аҳамиятлироқдир. Графит ва олмос каби яхши таниш мисолларни келтирсак сўзимиз тасдиғини топади. Улар бир навли атомлардан ташкил топган, лекин тузилмалари ҳар хил бўлгани учун хоссалари ҳам турлича. Олмосда углерод атомлари октаэдрлик тузилмани ҳосил қилади. Олмоснинг атомлари уч ўлчамли сеткаларни ташкил этади. Бу эса унга юқори қаттиқлик ва шаффофликни ато қилади. Графитда эса углерод атомлари гексагонал тузилмани ҳосил қилади. Унда баъзи атомлар юза бўйлаб мустаҳкам ва тангасимон жойлашган бўлиб, бир-бири билан (мустаҳкам юзалар) кучсиз боғланган бўлади. Бу ҳол графитнинг мустаҳкамлигини ва шаффофлигини кескин камайтиради.

41-§. Рентген нурларининг олиниши

Катод нурлари, яъни электронлар оқимининг рентгеннинг электрон трубаларида, баъзи металлар юзасини бомбардимон қилишда рентген нурлари ҳосил бўлади. Электрон боғлари манбаи бўлиб трубкадаги вольфрамдан қилинган спирал хизмат қилади, у 8-12 вольт қувватда ишлайди. Рентген нурлари манбаи эса антикатод. Электронларнинг тўсиқларсиз

ҳаракатини таъминлаш учун $1,33 \cdot 10^{-4} - 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ нм}^{-2} (10^{-5}) 10^{-7} \text{ мм симоб устуни}$) вакуумда ушлаб турилади. Электродларга берилаётган кучланиш электронларини антикатодга бериш ҳаракат тезлигига шароит яратади. Модда аноди ва анод таркибига электроннинг урилиши тезлигига рентген нурларининг хоссалари боғлиқ.

Рентген нурлари табиати худди кўринадиган ёруғлик нурларига ўхшаш, фақат рентген нурларининг тўлқин узунлиги нисбатан кичик ва юмшоқ нурларда $6-60 \text{ \AA}$ ни, қаттиқ нурларда $0,6-0,06 \text{ \AA}$ ни ташкил этади. Аноддан келаётган рентген нурларнинг оқими ("оқ" рентген ёруғлиги) нурларнинг турли тўлқин узунликларида ташкил топган. "Оқ" рентген нурлари турли антикатодда ташкил топишидан қатъи назар ва пленкани тўла қоралашишини таъминлайди, яъни нурнинг тўла спектрларни ҳосил қилади. Одатий нурланишда эса алоҳида чизиқли спектрини беради ва у материал - антикатоднинг кристалл панжараси тузилишига боғлиқ. Катод электрони ўзининг бир қисм энергиясини антикатод материали атомларига беради, бунда атом ядросидан узоқроқдаги орбиталарга электронларнинг сакраши кузатилади. Олдин ютилган энергия эса монохроматик нурланиш шаклида орбитадан орбитага ўтиш жараёнида ажралиб чиқади.

Бир неча линиялардан ташкил топган нурланиш электронларни бир орбитадан бошқага ўтишидан юзага келувчи рентген нурларини ифодалайди. Улар берилган элемент - антикатод учун аниқ бўлади ва уни одатий спектрларини пайдо этади. Одатий линиялар сериялар ташкил этади ва К, L, M ва бошқа ҳарфлар билан белгиланади. Линия ичидаги сериялар $K_{\alpha_2}, K_{\alpha}, K_{\beta}$ лар билан белгиланади. Одатда, K_{α} - линиясининг дуплетидан фойдаланилади. Қолган линиялар эса филтрланади. Монохроматик рентген нурланишини олиш учун трубка антикатоди мос равишда молибден, родий, темир, мис, хром, никел, кобальтдан тайёрланади, "оқ" рентген нурланишини олишда платина ёки иридий ишлатилади. Масалан: Cu - мис. Тартиб рақами 29 : Ядро: протон + 29, электрон - 29 (17-жадвал).

Серия	K	L	M	N	P
Қобиф	1s	2s2p	3s3p3d	4s4p4d4f	5s5p5d5f5g
	2	2 6 8	2 6 10 18	1	

Рентген нурлари текширилаётган моддадан ўтаётганда унинг атомларини ионизациялашга сабабчи бўлади. Ионизация ходисасидан ионизацион сўтчиклар ва камераларда фойдаланилади. Агар ионизацион камера туйинган ток режимида ишлаётган бўлса, бу ҳолда пайдо бўлган ионизацион ток миқдори рентген нурлари интенсивлигига пропорционалдир. Амалиётда у ўзининг қўлланишини ҳозирги кунда сцинтилляцион сўтчиклар томонидан сиқиб чиқарилаётган Гейгер – Мюллер сўтчикларида топган.

Ёруғлик нурларига ўхшаш рентген нурлари фотопленкага нисбатан катта қалинликка эга бўлган ва икки томони махсус қатлам билан қопланган рентген плёнкасининг фотоэмульсияси таркибига кирувчи бромли кумуш моддасини парчаланишига олиб келади. Рентген нурлари кадмий сульфати, цинк сульфати ва бошқа моддаларга таъсир эттирилганда уларнинг нурланиши, яъни флуоресценциясига сабабчи бўлади. Флуоресценция ҳодисаси рентгенотузилмавий анализнинг назорат экранлари ҳамда нурланувчи рентгенотехниканинг экранларини ясаш ва эксплуатация қилишда ишлатилади.

42-§. Кристалл панжара текисликларидан масофани ҳисоблаш

Турли бирикмаларни кристалл панжара юзаси орасидаги масофа Вульф-Брегг формуласи ёрдамида ҳисобланади.

Бунда модданинг ҳамма атомлари кристалл юза бўйлаб бир-биридан паралелл ва тенг узоқликда жойлашганлигини намўн қилади. Қуйидаги схемада (40 расм) тенглама яққол қуринади.

N_1 ва N_2 нурлари юришидаги фарқ $PM_2 + M_2Q$ га тенг.

$$PM_2 = M_2Q = d \sin \theta$$

максимум шартин $n\lambda = 2d \sin \theta$,

бу ерда, d - юзалар орасидаги масофа; θ -йўналтирилган нур ва нур қайтиш юзаси орасидаги бурчак; λ -рентген нурларининг тўлқин узунлиги; n -нур қайтариш тартиби (яхлит сон: 1; 2; 3; n).

Умуман олганда, рентгенография усулларида кристалл панжара текисликлари орасидаги масофа роли катта. Усулнинг асосида ҳам рентген нурларининг шу кристалл панжарасига тушганда дифракцияланиши ётади. Бундай нурлар кристалл ёки аморф қаттиқ модда орқали ўтганда унинг атомларидаги электронларга катта таъсир кўрсатади. Бу таъсир кристалл тузилишли моддалар учун ўта сезиларлидир. Натижада электронлар тебранма ҳаракати вужудга келади ва улар иккиламчи тўлқин манбаига айланади.

Дифракциянинг кристалл панжарасидаги ҳолати ва ҳисоботи кристалллар ҳолатининг параллел юзалар тизими қурилишида талқин қилинишига келиб тақалади. Ҳар бир бундай юза ёки текислик панжаранинг кўп сонли боғловчи нуқталари орқали ўтади ва улар сеткасимон юза деб аталади. Сеткасимон юза уларнинг устига тушаётган рентген нурлари ёки тўлқинларини кўзгусимон қайтишини таъминлайди. Дифракцион максимумларнинг пайдо бўлиши параллель сеткали юзалардан қайтаётган тўлқинларнинг бир-бирини интерференция ходисаси орқали кучайтиришига боғлиқ. Бу талаб дифракцияланувчи тўлқин узунлиги (λ) ва сеткали юзага тушаётган нур бурчаги (ν) нинг орасидаги маълум даражада боғланишга боғлиқ.

43-§. Текшириш усуллари

Рентген нурлари ёрдамида бажариладиган рентгенографик текшириш усуллари жуда кўп. Моно- ва поликристаллик силикат моддаларини текширишда, асосан, қуйидаги усуллар қўл келади:

1. Жойидан кўзгалмайдиган монокристаллларни текшириш усули - бунда тасвир фотоплёнкали тасмага қора нуқталар шаклида қайд этилади. Бу усул адабиётда Лауэ усули ҳам деб аталади. Одатда текшириш учун ўлчами 0,2-1 мм бўлган монокристалл олинади.

2. Айланувчан монокристаллни текшириш усули ёки Лауэ методи - фотоплёнкада доғлар шаклида тасвир олинади. Наму-

на текшириш пайтида камеранинг уқи атрофида 1 минутда 0,2-2 маротаба айланади. Бу ҳолатда элементар ячейканинг ўлчамлари ва шаклини аниқ топиш имконияти пайдо бўлади;

3. Кукун усули - фотоплёнкали цилиндрик кассетага махсус эгри чизиқлар ҳолида қайд этилади. Ионизацион рентгенограмма ҳолида олинishi ҳам мумкин. Бу ҳолда фотоплёнка ролини дифрактометрдаги счётчик тешиги бажаради. Дифракцион шакл секин - аста, счётчик айланишида пайдо бўлувчи ва кетма-кет келувчи чизиқлар ҳолида олинади.

4. Рентгенодефектоскопия - газли ғоваклик, дарз кетиш каби ҳолатлар қайд этилади.

Тиббиётда қўлланиладиган асосий усуллар қаторига қуйидагилар киради:

1. Рентгеноскопия - бемор экран билан рентген трубкаси оралиғида туради. Натижа зичланган жойни қорайтириш ҳолатида қайд қилиш билан тугайди.

2. Рентгенография - текшириладиган аъзонинг сояси рентген плёнкасида тасвирланишига асосланган.

3. Флюорография - аъзо тасвири махсус аппарат билан суратга олинади, бунда пленка автоматик ҳолатда сурилади.

4. Электронорентгенография - текшириладиган аъзонинг сурати ҳар хил аппаратлар ёрдамида асосан оддий оқ қоғозга олинади.

44-§. Рентгенографияда қўлланиладиган асосий ускуналар

Жаҳон минералоглари ва кристаллографлари томонидан деярлик барча табиий ва маълум бўлган сунъий минералларнинг тузилиши микроскопик таҳлил асосида 1900 йил атрофида ўрганиб бўлинди. Натижада қаттиқ жисм атомлари тузилмаси ҳажмий тўғри, унда атомлар маълум тартибда жойлашганлиги таъриф этилди. Лекин 1921 йилда эса рентген нурлари ёрдамида уларни қайта текшириш бошланди. Бу амалий текшириш фан ва техникани ниҳоятда бойитди, минеролог-кристаллографларнинг шу онга қадар ҳам тўғри талқин ва башорат қилишганликларини тасдиқлади.

Кейинги йиллар давомида рентгенографияни фан ва техникада қўллаш бўйича улкан тадқиқотлар олиб борилди. Рентгенографияга оид аппаратларни қўллаш тиббиёт, металлургия, кимё, машинасозлик, самолётсозлик, ракетасозлик каби соҳаларида кўпайди.

Амалий рентгенографияда ҳам катта ўзгаришлар содир бўлди. Рентгенография аппаратларининг сезувчанлиги оширилди, ҳажми ва оғирлиги эса кичрайтирилди. Рентген анализи усуллари такомиллаштирилди.

Ўзбекистонлик олимлар – проф. И.С.Канцпольский, Н.А. Сирождидинов, Б.И.Нудельман, Т.А.Отақузов, А.А.Исмамов тадқиқотларида ҳам амалий рентгенография усули катта ўрин эгаллади. Паст ҳароратларда пишувчи цемент, керамика ва ситаллар олишда унинг хизмати, ниҳоятда катта бўлди.

Фотоусул ишлари учун мўлжалланган тузилма таҳлили аппарatlари. Уларга биринчи навбатда, УРС-60 ва УРС-55 аппарatlари киради:

УРС-55 аппарати. У 55квли кучланишда ишлашга мўлжалланган. Бу стол усти аппарати бўлиб, унда тузилма таҳлили утказиш мумкин.

УРС-55 аппаратининг муҳим томонлари сифатида тезкор столнинг кичиклиги, юқори қувватли кенотроннинг йуқлиги ва бошқарув пулти (тўғриловчи вазифасини рентген трубкаси бажаради)нинг ихчамлини айтса бўлади.

УРС-55 аппарати БСВ-2 типигаги чизиқли фокус ва тори-ровкаланган катодли махсус электрон трубка билан ишлашга мўлжалланган.

УРС-60 аппарати. У 120 ва 220Вли иккита тўғриловчи лампалар - кенотрон ва 60 кв кучланишда ишлаш учун мўлжалланган.

УРС-60 аппарати - фотометрик усулга мўлжалланган. Унда анод токини стабиллаштирувчи стабилизатор борлиги учун аппаратни ионизацион усулни қайд этиш учун ишлатса бўлади. Иккита трубкада бир йўла ишлаш мумкин. БСВ-2 да рентген нурларини чиқарувчи деразача сони 2 та, БСВ-4 да чиқиш деразачаси 4 та ва БСВ-6 да чиқиш деразачаси 2 та. Шу трубкалар билан ишланса, қурилма хавфсиз бўлади.

Аппаратда сувни камайтирилиши ёки сув келмаслик ҳолатларида, юқори вольтли кабел учи қолганида, анод токи миқдорининг нормадан ошиб кетганида блокировка қилувчи қурилма бор. Анод токини феррорезонанс ва электрон стабилизатор СН-2 ёрдамида барқарорлаштириш кўзда тутилган. Аппарат ток кўрсаткичларининг +7 дан -15% гача тебранишида ишончли ишлайди. Қурилма иш ва тезкор стол шаклида. Тезкор стол ичида генератор мосламаси мавжуд.

УРС-70 қурилмаси. Универсал рентгентузилмавий қурилма. 50 гц частота, 127 ёки 220 в кучланишда, ўзгарувчан ток манбаида ишлашга мосланган.

Рентген трубкани қувват олиш схемаси ярим тўлқинли (бир кенотронли ёки кенотронсиз). Трубкаидаги кучланиш амплитудаси 70 кв гача, трубкadan ўтаётган ток 30 ма.

Қурилма БСВ типидagi шишали электрон трубка билан ишлашга мосланган. Бошқа типдagi трубкалар, электрон ва ионли (трубка полюсини ерга улаб қўйиш шарт) трубкаларда ишлаш имконияти бор. КРМ-150 типидagi кенотрон тўғрилаш учун ишлатилади.

АРС-4 аппарати. У портатив, жуда тор нур боғларини олиш учун ишлатилади. Аппаратда БСВ-5 (чиқиш сони-2) микрофонус трубкadan фойдаланилади. Трубка аноди катта кучланиш остида бўлиб, катод ерга улаб қўйилган. Корпуснинг катод чўглаш иплари ҳимояланган ва қаршиликлар ёрдамида бириктирилган. Бунда анод токи ўтишида керакли кучланиш ҳосил бўлади.

Аппарат 50 гц частотада ва 127 ёки 220 в кучланишда бир фазали манбага улашга мослаштирилган. Трубкаидаги қувват амплитудаси 45 кв; трубкadan ўтувчи ток - 0,45 ма атрофида; максимал қувват - 0,3 квт атрофида бўлади. Трубка аноди махсус насос ёрдамида трансформатор ёғида совитилади.

Рентгенограммалар юқори ва паст ҳароратларда, вакуум ва босим остида олиб борилиши мумкин. Юқори ҳароратларда рентгенографик шаклларни олиш юқори ҳароратли фазавий ўзгаришларини қайд қилиш учун, модданинг юқори ҳароратда қандай параметрларига эга эканлигини билиш учун, уларнинг иссиқликдан кенгайиш коэффициентларини аниқлаш учун олиб борилади:

1. Юқори ҳароратли рентген жиҳози УРВТ-1300. Унда намунани иси-тиш аппаратда ўрнатилган электр печи ёрдамида амалга ошади. Бу жиҳоз Дебай методи ёрдамида поликристаллик моддаларни вакуумда хона ҳароратидан то 1300°C гача текширишга имкон беради. Агар тажриба инерт гази ёки атмосферaда олиб борилса, у ҳолда ҳарорат 1100°C кўтарилиши мумкин;

2. Юқори ҳароратли рентген жиҳози УРВТ-1500. Бу аппарат ёрдамида вакуумда тажрибаларни 1500°C гача олиб борса бўлади. Тажриба ҳаво ёки инерт гази атмосферасида олиб борилса, у ҳолда ҳарорат 1200°C гача кўтарилиши мумкин.

Рентгенографик анализни паст ҳароратда ҳам олиб бориш мумкин:

1.ДРОН-1, УРС-50ИМ аппаратларига паст ҳароратли қушимча УРНТ-180 ўрнатилади. Бу тиргач ёрдамида тажрибаларни минус 180°C гача олиб бориш тавсия этилади. Намуна сифатида кукун ёки шлифдан фойдаланилади. Намунани совитиш азот парлари ҳисобига бўлади.

2.ДРОН-1 га КРН-190 приставкасини ҳам ўрнатиб тажрибаларни минус 190°C гача ўтказиш мумкин. Намуналар бу жиҳозда вакуумда иссиқлик контакти ҳисобига совийди.

ДРОН-серияли аппаратлар: ДРОН-1, ДРОН-1,5, ДРОН-2, ДРОН-4, ДРОН-УМ1-0,1 ва ҳоказо. Рентген дифрактометри умумий вазифаларни бажаришга мўлжалланган бўлиб, у ионизацион шаклни электрон ҳисоблаш машиналарига уланган перфотасмага ҳам тушуриши мумкин. Бундай аппаратлар юқори унумдорликка эга. Рентген трубкасидаги максимал қучланиш 50 кВ, максимал ток эса 60 мА.

Адабиётда ДРМк-2.0—кўп каналли махсус рентген дифрактометри, ДРД-4- дистанцион бошқариладиган рентген дифрактометри, ДАРМ-2.0 — ЭХМ дастурига мўлжалланган автоматик рентген дифрактометри, АРС-4 — тузилмавий текширишга мўлжалланган портатив рентген аппарати, МАРС-1 ва МАРС-2 — тузилмавий анализга мўлжалланган кўп фокусли рентген аппарати ва бошқалар борлиги ҳамда уларнинг ишлаш асослари ёритилган. ДРОН ва УРС ларга УРНТ-180, КРН-190 ўрнатилса, паст ҳароратда иш олиб бориш мумкин. Юқори ҳароратда УРВТ-1300 ва УРВТ-1500 лар қўлланилади.

Тиббиётда қўлланиладиган рентген ускуналари. Улар уч синфга ажралган:

1. Россияда чиқарилган Рум-20 ва Рентген-50, Германияда чиқарилган Тур-Д-701 ва Тур-Д-1001, Чехия ва Словакияда яратилган Дуролюкс ва Венгрияда чиқарилган ЕДР-750 аппаратлари. Улар уч фазали олти ярим ўтказгич тўғриловчиларга эга бўлиб, максимал юқори қучланиши 125-150 кВ, анод токи эса 600 дан 800 мА гачадир. Бундай аппаратлар юқори даражада автоматлашган универсал штатив, телевизор приёмниги, кино ва флюорограф камераси билан таъминланган.

2.Россиянинг Рум-10 ва Рум-22, Чехия ва Словакиянинг Хиродур-125 ва Мегамета-125, Венгриянинг Диагномакс-125 ва Неодиагномакс-125 аппаратлари. Бу синф аппаратлари бир

фазали ва икки ярим ўтказгич тўғриловчи тизимга эга бўлиб, кучланиши 125-150 кВ ва токи 400-500 мА.

3.Россиянинг Рентген-30, Урд-Д-110 ва Рум-5, Германиянинг Тур-Д-350, Чехия ва Словакиянинг Дурамета аппаратлари. Улар кам қувватли, юқори кучланиши 125 кВ ва анод токи 125-300 мА га тенг. Улар 220 ва 380 в электр тармоқлари учун чиқарилган.

45-§. Аппаратларнинг асосий қисмлари

Рентген аппаратларининг асосий қисмларига кирази: рентген трубкиси, тўғриловчи лампа - кенотрон, чўғланиш реостати, юқори вольтли трансформатор, чўғланиш трансформатори, бошқарув пулти ва унинг зинапояли автотрансформатори ва бошқалар. Қуйида уларнинг тузилишига оид маълумотлар берилади.

1. Рентген трубкалари БСВ-2, БСВ-4, БСВ-6 ва бошқалар. Б-ҳимояли қопламада, хавфсиз; С-тузилма таҳлили учун; В-суви совитиш маъноларини англатади.

Рентген трубкиси рентген нурлари манбаи бўлиб, у тез учувчан электронларнинг йўлида жойлашган анод билан туқнашуви натижасида юзага келади.

Рентген трубкаларида рентген нурларини юзага келиш учун қуйидагилар таъминланиши керак:

а) Озод электронларни ҳосил қилиш;

б) Озод электронларни катта кинетик энергия билан таъминлаш (бир неча мингдан то 1-2 млн. электронвольтгача);

в) Анод атомлари билан тез учувчан электронларнинг узаро таъсири.

Рентген трубкалари белгиларига қараб қуйидагича таснифланади:

1) Озод электронлар олиш усули бўйича. Бунда трубка ионли ва электронли тарзда фарқланади. Ион трубкаларда озод электронлар совуқ; катодни мусбат ионлар билан бомбдорировка қилиш натижасида олинади. Бу вақтда ионли трубка ичида 10^{-3} - 10^{-4} мм қўрғошин столбчасига тенг бўшлиқ ҳосил этилиши ва катодга юқори кучланиш бериб юборилиши шарт. Шундагина катоддан озод электронлар ажралиб чиқади ва идишдаги вакуум туфайли анод томон йўл олади. У анод атомлари билан жуда катта тезликда туқнашади ва ниҳоят улардан рентген нурларининг ажралиб чиқишига сабабчи бўлади.

Электрон трубкала озод электронлар токда қиздирилган катоднинг термоэлектрон эмиссиясидан пайдо бўлади.

2) Вакуумни ҳосил қилиш ва уни ушлаб туриш усули буйича. Бунда трубкalar қалайланган ва йиғма тарзда бўлиши билан фарқланади.

Қалайланган трубкalarда юқори вакуум трубка тайёрланаётган вақтнинг ўзида яратилади ва у ўзининг герметик корпуси (баллон)га кура, ишлаш даврида вакуум ҳолатини сақлайди. Вакуумнинг ўзгариши трубкани ишдан чиққанлигини билдиради.

Йиғма трубкalarда бўшлиқ вакуум насос ёрдамида яратилади ва ушлаб турилади.

3) Ишлатилиши бўйича. Трубка материални ёритиш, тузилма таҳлили ва тиббий мақсадларда (ташхис ва даволаш мақсадида) қўлланилади.

4) Фокусининг катталиги (майдони) бўйича. Трубкalar нормал ($6-7\text{ мм}^2$) ва уткир (мм^2 нинг бир неча юз ёки мингнинг улуши қисмича) фокус билан тайёрланади.

Тузилма таҳлили учун қалайланган электрон трубкalar ишлатилади. Унинг кўриниши БСВ-2 мисолида қуйида берилади (42-расм).

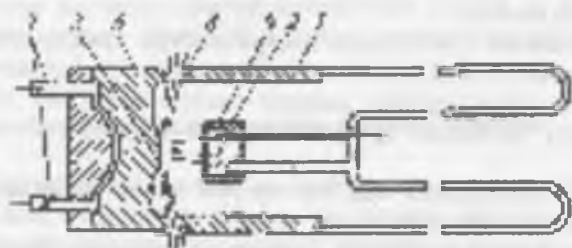
У шиша баллондан ташкил топган, унга иккита электрод киритилган: катод - қиздириладиган вольфрам симли спирал шаклида ва анод- тўла мисли трубка шаклида.

Шиша баллонда юқори вакуум (10^{-5}) 10^{-7} мм симоб устуни) ҳосил қилинади. Унда электронларнинг катоддан анодга бориш эркин ҳаракати таъминланади. Катод иссиқлик ва кимёвий таъсирдан ҳамда электронлар орасидаги газли муҳитда чақмоқ ҳосил булишидан ҳимояланган.

Вольфрам спирал 2100-2200pC гача токда қиздирилганда электронларни чиқаради. Трубка полюсига юқори кучланиш қуйилганлиги туфайли анодга катта тезлик билан интилади. Анод (анод кўзгуси) майдонига урилиб, электронлар тормозланади. Тахминан 1% атрофида кинетик энергия рентген нурларининг электромагнит энергияси тебранишига ўзгаради; қолган энергия аноддан ажралаётган иссиқликка сарфланади.

Тузилма таҳлили учун трубкадан чиқарилаётган нисбатан юмшоқ нур (I л ва кўпроқ тўлқин узунлигида) шишада жуда кучли ютилади. Шунинг учун трубка баллонига рентген нурларини чиқаришни таъминлаш учун енгил элементлар (берил-

лий, литий, бор) дан ташкил топган гетан қотишмаси ёки бериллий металлдан ясалган дарча қотирилади (қалайланади).



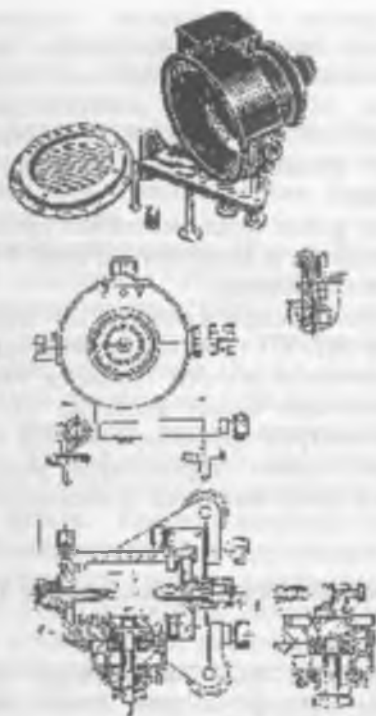
42-расм. Тузилма таҳлили учун ишлатиладиган БСВ-2-электрон рентген трубкаси: 1-балон; 2-катод; 3-анод; 4-йўналтирувчи қалпоқ; 5-мухофаза воситаси; 6-йўналтириш тешиклари; 7-совитиш тизими.

Электрон трубкадаги катод вольфрам спиралдан иборат бўлиб, кўпинча эмиссион ҳолатни ошириш учун торий қавати билан қопланади.

Спирал фокус қалпоқчасига жойлаштирилади. Қалпоқчанинг вазифаси трубка фокусини камайтириш ва катоддан анодга учаётган электрон пучок-арини торлантиришдан иборат. Трубка фокуси деб рентген нурлари ҳосил қилувчи электронлар тушадиган анод майдониغا айтилади (фокус думалоқ ёки линияли шаклга эга).

Катод ярим цилиндр ичида винтли чизиқ кўринишида, баъзан спирал кўринишида фокусловчи чашка ичига жойлашган.

Анод - яхлит цилиндр кўринишида (кўпинча мисдан), юқори иссиқлик утказувчан материаллардан тайёрланади. Аноднинг ташқи ён деворига электронларни тормозловчи пластинка антикатод прессланади. Тузилма таҳлили учун трубкадаги анод ёни 90° бурчакда анод ўқиға нисбатан кесилган.



43-расм. РКД-57 камерасининг асосий қисмлари.

Қупроқ тарқалган анодли трубка - антикатодлар хром, темир, ванадий кобальт, никел, мис, молибден, вольфрам, кумуш ва марганецлардан тайёрланган бўлади. Электронларнинг анод кўзгусига урилишида катта миқдорда иссиқлик ажралади. Анодни ўта қиздириш вакуум бузилишига, чанглашиш тезлашишига, кўзгу ва анодни ҳам эришига олиб келади. Бунинг олдини олиш мақсадида анод оқиб турган сувда ёки ёғ билан узлуксиз равишда совитилади.

Трубканинг муҳим ҳолат кўрсаткичи унинг қувват чегараси бўлиб, у қуйидагича ифодаланади: $P = UI$ Вт.

бу ерда, U - максимал юқори кучланиш, V ; I - трубка токи, амперда.

Қувват чегарасини ошириш мумкин эмас, сабаби анод қизиб кетади.

Трубка фокуси майдонини камайтириш иссиқлик чиқарувчи металл ҳажмини камайтиради, шу туфайли трубканинг қувват чегарасини камайтиришни тақозо қилади.

Курилатган БСВ-2 мисли антикатодли трубکاга бериладиган энг катта қувват 700 вт га, солиштира қувват эса 48 вт/мм^2 га тенг. Бундай трубканинг нормал юзаси $700/48 = 14\text{--}15 \text{ мм}^2$ га тенг.

Қўрсатилган фокус юзада максимал қувват УРС-60 аппарати учун 60 кВт булса, у ҳолда трубка токи $I \leq P/U = 700/60000 \leq 12$ та дан ошмаслиги керак.

Тузилма қўрсаткичлари қуйидаги 18 - жадвалда кетирилади.

2. Кенотрон (К). У - тўғриловчи сифатида хизмат қилади ва кучланиш ўзгаришида рентген трубкани ўчириб қўяди. Кенотрон ион трубкалари билан ишлашда қўл келиши мумкин. Чунки ҳамма электрон трубкаларнинг ўзи тўғриловчи ролини ўйнайди, бироқ қийин шароитларда рентген трубқага бир ўйналиш бўйича фақат битта ток ўтказилади.

Тузилмавий таҳлил трубкаларнинг тавсифлари

18-жадвал

Трубка типи	Мак- си- мал қув- ват, вт	Нур- те- шиқ- лари сони	Фо- кус фор- маси	Фо- кус ўлча- ми, мм	Фокус проск- цияси ўлча- ми, мм	Фокус майдонига солиш- тирма таъсир	Инте- грал интен- сип- лик, $\times 10^3$	Мисли анод кучла- ниши, кв	Мак- симал анод токи, та
БСВ-2	700	2	тўғри	1,2х 12	1,2х1,2	48	327		
БСВ-3	450	2	---	1х2,5	-	22		45	14
БСВ-4	120	4	ай- ланма	3	3х0,3	17	88		
БСВ-5	20	2	---	0,040	0,04х 0,04	4000			
БСВ-6	450	2	тўғри	25х5	2,5х0,5	36	304	45	14
БСВ-8	1000	2 1	---	1х12	1х1,2 0,1х1,2	83	454	50	40
БСВ-9	1500	2 1	---	2х12	2х1,2 0,2х1,2	63	170	50	60
БСВ-10	600	2 1	---	0,4х8	0,4х0,8 0,04х8	1900		45	24

3. Чўглаш реостатлари ($R_{нк}$, $R_{нр}$). Улар - кенотрон ва трубка катоди ток кучини бошқариш учун хизмат қилади. Шаҳар тармоғидаги катта бўлмаган тебраниш чўглаш токини

тебранишига олиб келади ва трубкадаги анод токини кучли равишда ўзгартиради. Чўғлаш токини стабиллаштириш учун стабилизатор ишлатилади.

4.Юқори вольтли трансформатор (PP-55). Юқори кучланиш олиш учун хизмат қилади. Биринчи обмотка АА авто-трансформатордан ёки қувватни текис ўзгартирувчан қувват вариаторидан озиқланади.

5.Чўғлаш трансформаторлари (Тнр и Тнк). Кенотрон ва рентген трубка симларини чўғлантириш учун ишлатилади. Вольфрамли катодли иплар 2100°С гача ва ундан юқорида қиздириш учун улардан 3-6 а ток ўтказилади. Бу ток чўғлаш трансформаторидан кенотронни 10-15 в ли ва рентген трубкасини 6-8 в ли қилиб пасайитириш учун берилади.

6.Зинасимон бошқариш пульти автотрансформатори (АА)- юқори вольтли трансформаторни биринчи обмоткасининг юқори кучланиши ўзгаришини бошқариш учун ишлатилади.

7.Бошқарув пульти. Рентген аппарати махсус бошқарув пульти орқали бошқарилади. Бушқарув пульти рентген апаратининг электр схемасини сиртқи электр тармоғи билан улайди. У ҳар турли ўлчов асбоблари билан таъминланган бўлиб, тармоқдаги ток кучланиши В, юқори кучланишли ток кВ ва ток қуввати мА ни кўрсатади ва регулировка қилади. Унда юқори кучланиш, қувват, вақт ва ёруғлик каби параметрларнинг созлиги ва носозлиги ҳақида хабар терувчи мослама мавжуд.

Рентген трубкасига йўналтирилган кучланишни ўлчаш рентгенотехникада муҳим масала ҳисобланади. Уни шарли разрядник билан ўлчаш ўта оддий, қулай ва етарли даражада аниқлашга имкон берадиган усулдир.

Рентген аппарати трубкасидан ўтаётган токни ўлчаш учун миллиамперметрдан фойдаланилади.

46-§. Фотоусулнинг рентген камералари

Текширилаётган кристалл моддасидан қайтган рентген нурларини дифракцион максимумларини фотоплёнкада қайд қилиш учун хизмат қилувчи қурилмалар рентген камералари деб аталади. Бундай камералар дифракцион максимумларни фотоплёнкада қайд қилиш учун хизмат қилади.

Камералар фарқланади:

1. Махсус вазифали - алоҳида масалаларни ечиш учун-РКФ-86 ва бошқалар ишлатилади.

2. Умумий вазифали камералар - куп масалаларни ечиш учун, одатда, Дебай камераси - РКД ва бошқалардан кенг фойдаланилади. Улар купроқ тузилмасини ўрганиш учун мулжалланган.

Камера типлари. Уларга қуйидагилар киради:

1) РКД-57. Поликристаллардан дебаеграмм суратини олиш учун. У фазовий таҳлил, дисперлик даражасини аниқлаш, қатлам юзаси ҳолатини аниқлашга хизмат қилади. Диаметри Д-57,3 мм. Суратга олиш бурчак интервали 4-84°С (43-расм).

Намуна шакли ва ўлчами, камера конструктив шартлари: пластинка ёки юпқа цилиндр шаклда бўлиб, ўлчамлари 10х12х5 мм га тенг.

Айланиш: цилиндр намунани айлантириш мумкин. Плёнка жойлашиши - цилиндр юзаси бўйича диаметри 57,3 мм ва баландлиги 24 мм.

РКД-57 камерасининг асосий қисмларини қуйидагилар ташкил этади:

а) коллиматор—битта ёки бир нечта диафрагмадан ташкил топган бўлади. Улар тушаётган нурлар оқимининг куп қисмини тутиб қолади ва ингичка нур оқимини ўтказишга хизмат қилади;

б) тубус-коллиматорнинг қаршисидаги тешикка ўрнатилган бўлиб, у дастлабки нурларни цилиндр деворидан ёйилишининг олдини олиш учун хизмат қилади;

в) камера корпуси—рентген плёнкаси учун кассета вазифасини ўтайди.

РКД — типдаги рентген камералари 4° дан 84° гача бурчак остида қайтган нурларни қайт қилишга имкон беради. Плёнка камера корпусининг ички қисмига зич жойлашиб қолиши учун халқасимон пружиналар ёрдамида қотириб қўйилади.

Рентген камерасига рентген плёнкаси қўйиш чоғида ундан коллиматор ва тубус олиб турилади. Плёнка жойлаштирилиб маҳкамлангач камеранинг қопқоғи винтлар ёрдамида беркитилади. Шундан кейин камера рентген аппаратига — нур тушиш йўлига жойланади.

Камерада рентген нурларини қайд қилиш вақти турлича бўлиб, у тушаётган нурларнинг интенсивлиги, текширилаётган модда тузилмаси ва бошқа ҳолатларга боғлиқ. Ҳозирги кунда

цилиндрик рентген камераларида рентгенограмма олишнинг уч хил усули мавжуд.

РКФ-86. Дебаеграмм съёмкаси учун мулжалланган. Фок-словчи, поликристалларни прицизион решетки даврини аниқлаш учун. Д=85,95 мм, θ расмга олиш=60-88°, 16x16 мм ўлчамдаги картонга ёпиштирилган кукун ва камеранинг цилиндри юзаси бўйича айланмайди, цилиндр юзаси бўйича пленка ёйилади.

КРОС - дебаеграмм олиш учун. Қарши съёмка учун. Поликристалл панжараси ўлчамларини прецизион аниқлаш, тузилмасининг мукамаллик даражаси, кассета юзаси оралигидан 25-100 мм ли намуна юзасигача, θ =54-85°. Намуна ясси 50x60x25 мм гача ўлчамда, айланиши мумкин, 150 мм диаметрли боғда перпендикуляр ҳолатда кассета юзасига съёмка қилинади.

РКЭ - дебаеграмм олиш учун. Поликристалларнинг тажриба съёмкаси, θ =10-30° фазовий анализда, 60-88° панжара параметрларини аниқлаш учун, айланма, намуна ясси шаклда, диаметри 29 мм ва баландлиги h=10 мм.

РКСО - монокристаллар лауэграммасини олиш учун, айланиш йўқ, кристалларнинг симметриясини полихроматик нурланишда съёмка қилиш ва уларни йўналишини аниқлаш учун камеранинг оптик марказидан пленкагача бўлган масофа 40 мм; θ =2-30°С ва 60-87°С. Намуна шакли - ихтиёрий. Кассеталар 120x100 мм да туғри ва 100x80 мм қарши съёмкада.

РКВ-86. Монокристалл съёмкаси учун мулжалланган. Лауэграмм айланиш билан, камера диаметри 86 мм, намуна шакли ихтиёрий, θ =4-80°.

РКУ-86, РКУ-95 ва РКУ-114. Улар дебаеграмм олиш учун, фазовий таҳлил, монокристаллар занжири даврини аниқлаш учун хизмат қиладилар. θ =4-85°, айланиш билан ва айланишсиз пленка цилиндри юзаси бўйича.

КФОР - қайта панжарали фотография камераси, намуна шакли - ихтиёрий, съёмка ясси кассетада, - айланиши ҳам мумкин.

КМПС-вакуум камераси. Съёмкани қайд этувчи монохроматор фазовий таҳлил, поликристалл панжарасини аниқлаш учун. Д=171,9 мм ёки 57,3 мм; θ =12-89° катта камерада; θ =3-30° ва 60-87° кичик камерада. Кукун картонга ёпиштирилган, кўзгалмас.

КРС- рентгенографик топография учун монокристаллар тузилмасининг ҳақиқий даражани текшириш учун хизмат қилади. Монокристалл, намуна улчамлари 20x10x0,5 мм дан 60x20x10 мм гача.

Юқоридаги 43-расмда РКД-57 мисолида камераларнинг муҳим жиҳатларини кўриб чиқамиз. Камера қуйидаги асосий деталлардан ташкил топган:

1) Камеранинг асоси ва корпуси.

Учбурчак шаклидаги 1 асос учта винт ёрдамида ўрнатилади, бунда баландлик бўйича камера баландлиги бошқарилади. Камеранинг цилиндрлик корпуси 2 нинг иккита қопқоғи бор. Қопқоғ 3 корпусга маҳкамланган ва 4 қопқоғ эса олиниши мумкин.

2) Бирламчи нур боғларини чегараловчи коллиматор 5. Коллиматор бир нечта думалоқ ёки ёриқли диафрагмалардан ташкил топган.

3) Бирламчи нур боғининг ёритишидан пленкани ҳимоя қилади- 6.

4) Намунани ушлаб турувчи 7 ва марказлаштирувчи мослама 8.

Намунани ушлаб турувчи ўқли фазали конуссимон бошчадан ёки столикдан иборат бўлиб, унга намуна устун ёки симлар шаклида қўйилади.

Намунани камера ўқи бўйича марказлаштириш учта қисиб турувчи винтлар орқали амалга оширилади. Такмиллашган моделларда эса — конуссимон бошчани магнитга жойлаштириш билан амалга оширилади.

47-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратлари

Бу усул бўйича модданинг дифракцион картинасини қайд этиш плёнкада эмас, балки у ёки счёчик билан ва нур қайтариш максимумлари ҳолатини ёзишни қоғоз тасмага ўзи ёзувчи қурилма ёрдамида амалга оширилади.

Дифрактометрия рентгенотузилма таҳлилин счишди, ҳамда катта даражада рентгенографик текширувлар ўтказишда катта аҳамиятга эга. Сабаби нур қайтариш интенсивлигини нафақат объектив баҳолаш, балки асбобнинг юқори счиш хусусияти ва ишининг унумлилигидадир. Тўла дифрактограммни

қайд этиш 20-30 минут ичида амалга оширилади. Юқори даражали аниқлаш хусусияти дифрактограммани баъзи деталларини аниқлашга имкон яратади. Бу деталларни аниқлашда аввал катта диаметрли камералар ва шунга мувофиқ узоқ муддатли экспозициялар зарур эди. Бу усул, айниқса, бир типли модда анализи ёки кичик муаммоларни хал этишда жуда муҳим, масалан, карбонатларни аниқлашда, дала шпатининг микроклинлиги даражаси ва минералларнинг тузилма турларини аниқлашда жуда муҳимдир.

Дифрактограмм нур қайтариш бурчаги қиймати ва уларнинг интенсивлигини тўғридан-тўғри беради. Кукун рентгенограммаларида нур қайтаришга боғлиқ бўлган, нур қайтариш бурчаги кўрсаткичидан юзалар аро масофа кўрсаткичига ўтишда, юзалараро масофа турли тўлқин узунликлари бўйича ҳисобланган ва маълумотномаларга йиғилган нурланишни жадвалларидан фойдаланиш орқали бўлади.

Шундай қилиб, рентген дифрактограммаси бошқа рентгенограммалардан фарқ қилади;

- 1) Фазовий таҳлил учун рентгенограмманинг тез олинishi;
- 2) Уни ҳисоблашнинг осонлиги (содаллиги);
- 3) Фон диффузияси ва чизиқларнинг интенсивлигини аниқ ва оддий топиш имконияти;
- 4) монокристалларнинг йўналишини тез ва аниқ аниқлаш;
- 5) Сифатли полюс шаклларни тез тузиш.

Шунинг учун рентген дифрактограммаларини олиш ҳозирги кунда кенг тарқалган.

Умумий мақсадда УРС-50 ИМ, ДРОН-1, ДРОН-2, ДРОН-3, ДРОН-4 типдаги дифрактограммаларни МДХ мамлакатларининг маҳаллий саноати чиқаради.

УРС-25И, УРС-50И ва УРС-50ИМ дифрактометрлари. Улар юқори аниқликка эга бўлиб, уларда ёзув автоматик тарзда руй беради. Бундан ташқари, бу аппарат визуал дифракция бурчакларини гониометрик мослама ёрдамида ҳисобга олишига ҳам имкон беради (44-расм).

Рентген нурлари трубкadan намунага тушади, қайтарилади ва ҳисобловчи қурилмага келади. Гейгер-Мюллер сўтчиғига нур тушишидан ҳосил бўлган импульслар бирин-кетин кучайтиргич, қайта ҳисобловчи тизим, интегрировка қилувчи тизимлардан ўтади ва ўзи ёзувчан потенциометрга етиб келади. Охириги қурилмада уларнинг қийматлари қайд этилади.

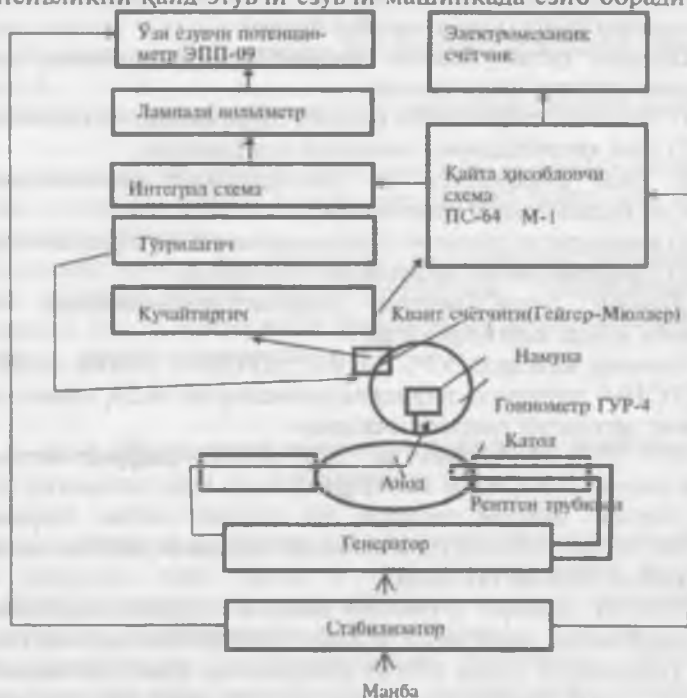
Дифрактометрларнинг техник кўрсаткичлари:

1. Интенсивликни ўлчашдаги максимал хато уларнинг номинал қийматларидан -15 дан +5% гача ташкил этади.
2. Интенсивлик максимал ўлчови 1000 имп /сек, қайта ҳисоблаш схемаси бўйича 5000 имп /сек. гача.
3. Гониометр радиуси -160 мм.
4. Трубка манбаи: V 50 кв гача, I 12 та гача.
5. Рентген трубкаси типи - БСВ -6.

ДРОН-0,5 ва ДРОН-1 дифрактометрлари - амплитуда дискриминацияли сцинтиляцион сўтчикка эга. Бу аппарат жуда қулай ва фазовий таҳлили жараёнидаги барча масалаларни ечишга имкон беради.

Аппаратларнинг техник маълумотлари:

- 1) Автоматик сўтчик 1; 0,1 ёки 0,01 градусда рентгенограмма нуқталарини олишни таъминлайди. Бир вақтнинг ўзида интенсивликни қайд этувчи ёзувчи машинкада ёзиб боради.



44-расм. УРС-50И ионизацион қурилмасининг принципаи блок-схемаси.

2. ГУР-5 гониометри счётчикнинг 1 / 32 дан то 16 град / мин тезликда айланишини таъминлайди.

3. Счётчикнинг айланиш бурчаги +90 дан — 168° гача.

4. Интенсивликнинг максимал ўлчовлари $5 \cdot 10^4$ имп / сек. гача.

5. Гониометр радиуси — 180 мм.

6. БСВ-8, БСВ-9 ва БСВ-10 трубулари ишлатилади. Уларнинг қувватлари БСВ-6 трубканинг қувватидан 2-3 марта юқори.

ДРОН-2 дифрактометри. Бу қурилма УРС-25И, УРС-50И, УРС-50 ИМ, ДРОН-0,5 ва ДРОН-1 лар сингари ўзи ёзиши, қайд этиши, бурчакдан тушаётан иккиламчи нурларнинг интенсивлиги (2 θ бурчакда) билан таъминланган.

ДРД-1 дифрактометри-радиоактив объектларни текшириш учун мўлжалланган. Масофадан туриб бошқарилади.

ДРК-2 дифрактометри — кварц пластинкаларнинг бурчаклари кесимини назорат этиш учун.

АРС-4М дифрактометри — рентген нурларини микрофокусли боғлари билан ва бошқалар.

ДАР-1 автоматик дифрактометр. Монокристалларниrogramммали бошқаришда текшириш учун. Бу аппарат кристаллографларнинг VII Халқаро Конгрессида (Москва, июл, 1966 й.) кристаллографик аппаратуралар кўргазмасида намоиш этилган.

Биринчи русумли аппаратларда (УРС-25 И, УРС-50 И ва УРС-50 ИМ) рентген нурлари детектори сифатида Гейгер-Мюллер счётчигидан, иккинчисида (ДРОН-0,5, ДРОН-1, ДРОН-2, ДРОН-4 ва бошқалар) — дискриминация амплитудасини пропорционал счётчик ёки сцинтилляцион счётчикдан фойдаланилади.

48-§. Нурланиш детекторларининг қисқача тавсифи

Пропорционал ва Гейгер-Мюллер счётчиклари. Улар ионизацион табиатига эга. Счётчик корпуси шиша трубадан иборат бўлиб, ичида газ ибор (одатда аргон ёки криптон, босими 500 мм симоб устуни) У иккита электрод (анод ва катод) дан ташкил топган. Трубка ёни рентген нурларини кам ютувчи материаллардан (слюда, бериллий ва бошқалар) ясалган.

Рентген нурлари квантлари счётчикка тушиб, газларни ионлаштиради; ҳосил бўлган ионлар (электродлар орасидаги

потенциаллар мавжудлигида) ток импульсини яратади. Бунда давомийликни разряд вақти белгилайди.

Ионизацион счётчиклар: 200 в га тенг бўлган потенциаллар фарқида, ҳамма ионлар электродга тушади ва счётчик ионизацион камера (V_0-V_i) режимда ишлайди. Токнинг кичик ($\sim 10^{-12}$ а) лиги ва детекторнинг паст сезувчанлиги туфайлиги бу режимда ўлчовларни ўтказиш мураккаб (45- ва 46-расм).

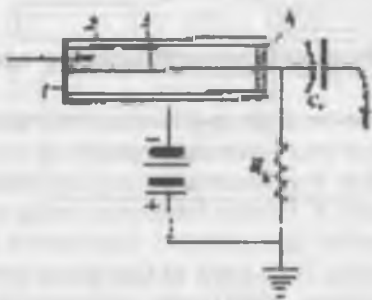
Пропорционал счётчиклар. 600-900 в (V_1-V_2) потенциаллар фарқида электронлар тезлиги шунчалик ошадики, унда ток импульси кучаяди, иккинчи ионизацион эффект чарақлайди; бироқ бу ҳодиса кичик оралиқларда счётчик иплари билан чегараланган ва шунинг учун тез кучини йўқотади. Счётчикнинг кичик “ўлик вақти” га $5 \cdot 10^5$ имп / сек гача қайд этиш имкониятини беради.

Импульси ток катталиги тахминан 10^{-7} а га тенг ва рентген кванти энергиясига пропорционал. Шунинг учун бундай режимда ишловчи ионизацион счётчиклар пропорционалли деб аталади.

Гейгер-Мюллер счётчиги. Агар потенциаллар фарқи V_3 га оширилса, иплар бўйлаб иккиламчи разряд тарқалади. Счётчик Гейгер-Мюллер счётчиги режимда ишлайди. Импульс катталиги энди квант энергиясига боғлиқ эмас, аммо 10^{-3} а гача ошади. Бу регистрация қилишни осонлаштиради.

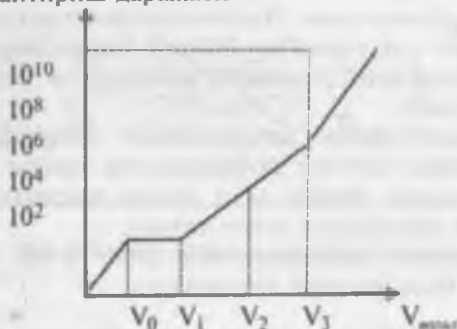
Бу нарсa счётчикнинг “ўлик вақти” ни катталаштиради ва натижада ҳисобнинг максимал тезлиги $5 \cdot 10^3$ импульс / секунд-га камаяди.

Гейгер-Мюллер счётчикларининг хизмат қилиш муддати 10^3 импульсгача, пропорционал счётчикларники эса 10^{12} импульсга тенг.



45-расм. Импульсли ионизацион счётчик схемаси: 1-дарча; 2-катод; 3-ўтказгич (анод); 4-изолятор.

Кучайтириш даражаси



46-расм. Газ ионизациясининг счётчикка йўналтирилган потенциаллар фарқига боғлиқлиги (Cu-K_α учун).

49-§. Фотоусул ишлари учун мўлжалланган аппаратларда рентгенограмма олиш усуллари

Олдинги бўлимларда рентгенография усулининг назарий ва амалий асослари ҳамда ишлатиладиган аппаратлари ҳақида батафсил маълумотларга эга бўлдик. Бу бўлимда яна бир амалий иш - рентгенограмма олиш усуллари билан яқиндан танишилади.

Рентгенографик таҳлил имкониятлари чексиз. Усул жуда кўп афзалликларга эга, лекин камчиликлардан ҳам ҳоли эмас. Қуйидаги шу ва шунга ўхшаш муаммолар ҳақида фикр юритилади.

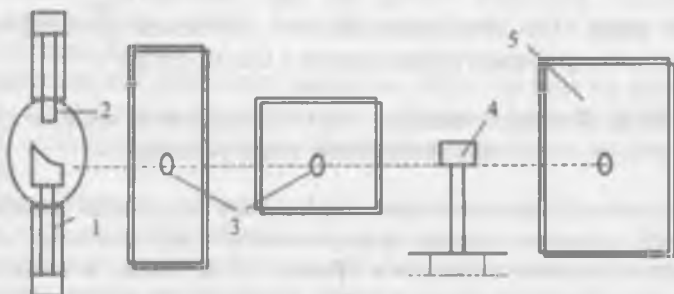
1) Қўзғалмас монокристалл объектда лауэграмм олиш усули. Лауэграмм монокристаллнинг сифати, унинг кристалл тузилмасининг такомиллиги, унда иккиёқлама ёки қонуниятсиз ўсишлар борлиги, рентген нурлари йўналишида кристалл симметрияларини баҳолашга имкон беради, лекин бу усул бўйича элементар ячейка ўлчамларини аниқлаш қийин. Бу мақсад учун аниқ кристаллографик йўналиш атрофида монокристаллни айлантириш ва тебраниш усуллари ишлатилади. Бунда монокромотик нурланишга тасвир қилишдаги такрорий давр аниқланади (47-расм).

2) Монокристалл рентгенограммасини айланма ёки тебраниш орқали олиш усули. Бу усулда 0,2-0,4 мм дан катта бўлмаган ўлчамдаги майда монокристаллар ишлатилади (48 ва 49-расмлар).

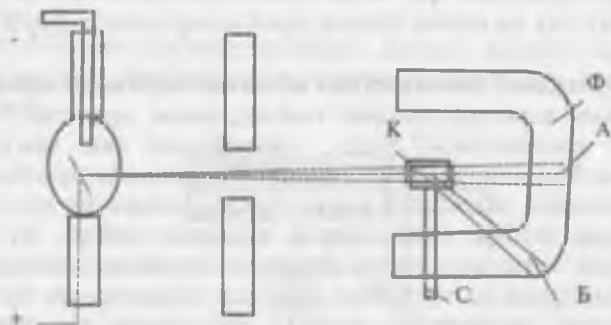
Усул панжара ёки кристаллар симметрияси даврини аниқлашда қўланилади. Плёнка ёки пластинкадаги ёритилган нуқталарнинг интенсивлиги бўйича, бирикмаларнинг атомларининг жойлашиши, элементар ячейкаси ва ўлчамлари ҳақида хулоса қилинади.

Бу параметрларни аниқлашнинг тўғридан-тўғри усули бўлиб, электрон зичлик проекциясини чизиш усули ҳамдир. Бунда элементар ячейка (ёки унинг қисми)да атомларнинг жойлашиши проекцияси юзага келади.

Нурланишни монохроматлаштириш учун дифференциал фильтр ёки Росс фильтри ишлатилади.



47-расм. Кристаллдан дифракцион кўринишни олишнинг биринчи тарихий усули: 1-катод; 2-антикатод; 3-дарчалар; 4-кристалл ўрнатилган гониометрик бош; 5-ясси плёнкали тасма.



48-расм. Айланаётган монокристалл тасвирини олиш схемаси: Ф-плёнка; К — айланаётган кристалл; С — айланиш подставки; Б - доғ; А - доғ.



49-расм. «С» уқи атрофида берилл монокристаллининг айланма рентгенограммаси.

3) Кукун усулида дебаеграмм олиш усули (Дебай-Шерернинг кукун усули). Олдинги икки усул, яъни қўғалмас ва айланаётган кристаллнинг лауэграммасини олиш учун йирик монокристаллар керак бўлади. Ҳолбуки уларни олиш ҳар доим ҳам мумкин эмас. Аксинча, кукун усулида текширишда жуда майда кристалл кукунлар билан чекланиш имконияти бор (50 ва 52-расм).

Бу усулнинг афзалликлари:

- а) майда кристалл кукуни билан ишлаш мумкин;
- б) текширишга мўлжалланган материални тайёрлаш оддийлиги;
- в) тажриба ўтказишни оддийлиги.

Камчиликлари:

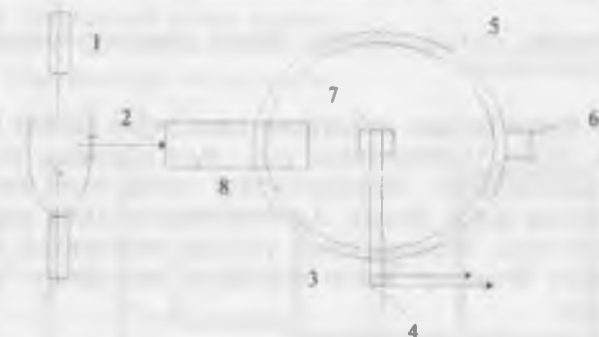
- а) бирмунча кичик аниқлик билан изоҳланади;
- б) тузилма ҳисобининг мураккаблиги;
- в) рентгенограммада линияларнинг тарқоқлиги.

Тасвир олиш тартиби: камерадаги фотоплёнка цилиндрик шаклга эга: Трубкадан монохроматик нур боғлари тирқиш орқали диафрагма (коллиматор) га тушади. Ёпишувчи модда билан нозик стержен ёки целлулоидли трубкага қуйилган намуна - майда кукунга тушади. Намунага нурнинг тушиши тубус ёрдамида ёритувчи экранда назорат этилади.

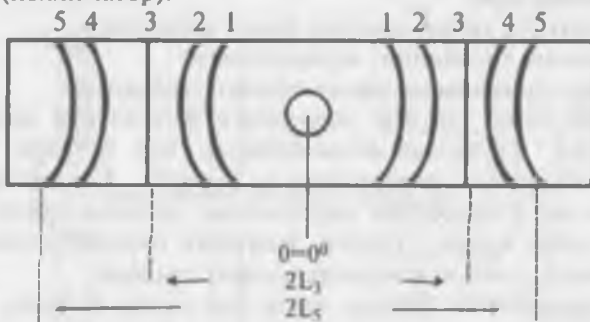
Текшириляётган моддада баъзи кристаллар мутлақо тартибсиз жойлашган, улар орасида ҳар доим Брэгг-Вульф шартига жавоб берувчи нур қайтариш юзасида жойлашган кристаллар бор. Шунинг учун намунали столни айлантириш шарт эмас ва фотографик пленкада марказий доғлар билан полоса қатори ҳосил бўлади. Бундай ҳолатга қараб ушбу кристалл модда ҳолати константларини ҳисоблаш мумкин.

Бу усул намуналарини текширишга тайёрлаш. Улар қуйидагича амалга оширилади:

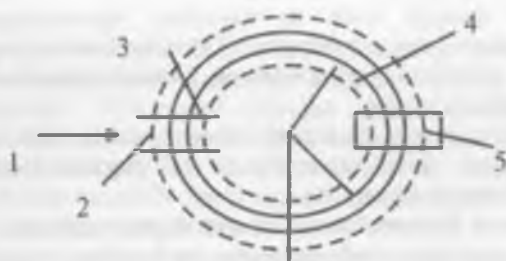
1) **Ҳавода ўзгарувчан намуналарни тайёрлаш.** Агар модда гигроскопик бўлса ва ҳаво кислороди билан реакцияга киришса, “Пирекс” ёки “гетан” шишалари (улар рентген нурларини кам ютади)дан нозик капилляр олинади, у олдиндан кукун ҳолатигача майдаланган бўлади.



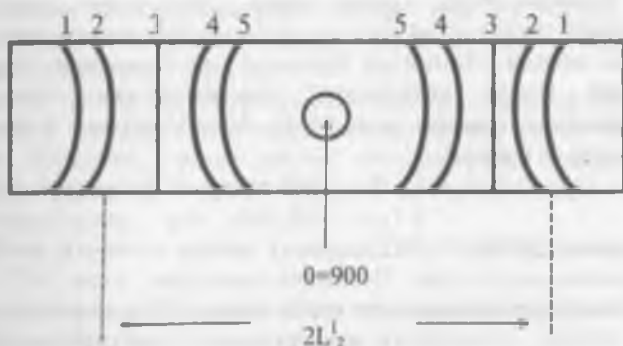
50-расм. Кукун усулида дебаеграмма олишнинг схематик кўриниши: 1-рентген трубкаси; 2-дарча; 3-намунани сақловчи қурилма, 4-намунани айлантириш механизми; 5-фотоплёнка; 6-ёритувчи экран тубуси билан; 7-намуна; 8-қўрғошинли диафрагма (коллиматор).



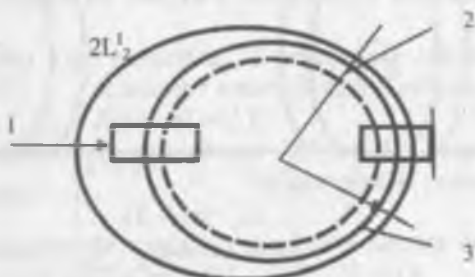
51-расм. Тўғридан-тўғри тасвир олиш усули плёнкасининг кўриниши.



52-расм. Кукун усулида дебаеграмма олиш камерасининг кўриниши: 1-рентген нури; 2-коллиматор; 3-плёнка чеккалари; 4-плёнка; 5-нурланувчи экран тубуси.



53-расм. Цилиндрик камерада қайта тасвир туширишнинг кўриниши.



54-расм. Қайта тасвир усули цилиндрик камераси кўриниши: 1-рентген нури; 2-плёнка охирлари ва 3-плёнка.

Кейин махсус воск ва канифол аралашмаси ёрдамида ёпиштирилади ёки суртилади. Капляр диаметри $d=0.7$ мм атрофида, қалинлиги уни бармоқ билан енгил босилганда синувчан бўлиши керак.

Катта диаметрда эса кенг диафрагмалар қўллаш лозим, у тасвирларнинг фонини оширади ва умуман рентгенограмма сифатини камайтиради.

2. Ҳавода ўзгармайдиган намуналарни тайёрлаш. Яхши майдаланган кукуни клей (резина клейи ёки цапонлак) билан қориштириб аралашма тайёрланади. Кейинги нозик тола ($d=0.05-0.1$ мм) кесилади ва тола қуриганида эгилмаслиги учун клей кам бўлиши керак.

Кукун усулида дебаграмм олиш усулининг турлари:

а) Тўғридан-тўғри тасвир олиш. Цилиндрик камерадаги пленканинг тугалланган қисми коллиматорнинг кириш тешигига мос келади. Линиялар бурчак ўсиш тартибида К пленка ўртасидан унинг чеккаларига тақсимланади. Симметрия чизиқларининг орасида масофа $2L$ бўлиб, бурчак 4θ орқали аниқланади (51-расм).

$$2L_i = 4\theta_i R \quad \text{ёки} \quad \text{градусли ўлчамда}$$

$$2L_i = 2\pi R / 360 \quad 4\theta_i$$

бу ердан, $Q=2L_i 57,3/2D$;

R -камера радиуси ва D -камера диаметри.

б) Цилиндрик камерадаги қайта тасвир. Пленканинг тугаган қисми камера диаметрига мос келади. У рентген нурларига перпендикуляр бўлади (53- ва 54-расм).

Линиялар бурчак θ ўсиш тартиби бўйича рентгенограмманинг чеккасидан ўрта қисмига кириш ва чиқиш тешикларидан тарқалади.

Симметрия чизиқлари $2L'$ айланма ёйга тенглиги ($360^\circ-4\theta$) ҳисобга олинган ҳолда бурчаги топилади:

$$2L'_i = (2\pi - 4\theta)R$$

Бу ҳолатда $2L$ ва $2L'$ бир-бирига боғланганлиги қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$2L_i = \pi D - 2L'_i$$

Шундай қилиб, тенглама қуйидаги кўринишга ўтади:

$$Q_i = 2L_i 57,3 / 2D = (\pi D - 2L'_i) 57,3 / 2D$$

в) Цилиндрик камерада асимметрик тасвир олиш. Бу усулда плёнкалар чеккаси рентген нурига перпендикуляр камера диаметрига мос келади (55- ва 56-расм).

Линиялар жойлашиши бурчакнинг ўсишига боғлиқ. Улар рентгенограмманинг ўрта қисмидан чиқиш - кириш дарчалари томон силжиган. Пленкани бундай жойлашиши плёнка ўлчамларини фотография вақтида ўзгариши, камеранинг эф-фектив- Дэф. диаметри ёки, 1 мм пленканинг градуслардаги ҳақиқий баҳосини ҳисобга олиш имконини беради.

Камера диаметри $D_{эф.} = H + B / \pi$.

2) **цилиндрик камерада шлиф тасвирини ҳосил қилиш.** Бунда қуйидагиларга қатъий риоя қилиш зарур:

а) намуна қия жойлашган: $\theta = L_1 57,3 / D$;

б) намуна рентген боғига перпендикуляр жойлашган:

$$\theta_1 = (\pi D - 2 L_1') \cdot 57,3 / 2D$$

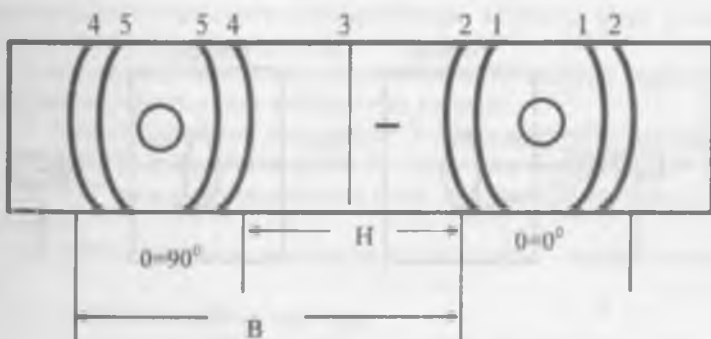
в) **Аксиал цилиндр камерада тасвир олиш.** Бу усулда камера ва намуна жойлашиши ҳамда рентген нури йуналиши қуйидагича бўлади (57-расм):

Бундай тасвир дебай ҳалқа атрофидаги дифрагирован нур-ланишнинг тарқалиш интенсивлигини таҳлил этиш учун му-ҳимдир. Масалан, моддаларнинг текстурасини текширишда. Яхши натижаларни θ кичик бурчаги томонидан таҳлил қилиш имконини беради.

г) **Ясси плёнкага тасвир тушириш.** У ўз навбатида икки хил бўлади (58- расм):

1) нур ўтишида тўғридан-тўғри тасвир ҳосил қилиш;

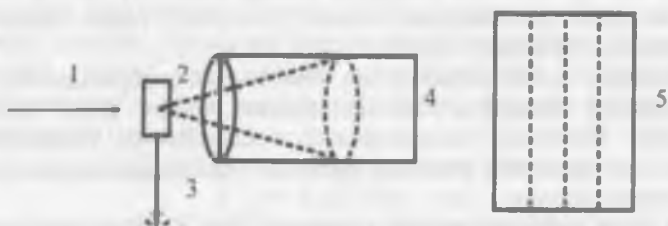
2) нур қайтишида тасвир тушириш.



55-расм. Плёнкадаги асимметрик тасвир.



56-расм. Асимметрик тасвир усули камераси: 1-рентген нури; 2-камера; 3-плёнка.



57-расм. Аксиал цилиндрик камерада тасвир ҳосил қилиш схемаси: 1-рентген нури; 2-намуна; 3-айланувчан механизм; 4-аксиал камера; 5-плёнка.



58-расм. Ясси плёнкага тасвир туширишда рентген нури йўналиши, намуна ва плёнкаларни жойлаш схемалари: I-нур ўтишига асосланган; 2-нур қайтишига асосланган.

50-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларида дифрактограмма олиш усуллари

Рентген нурланиши бундан 90-йил бурун очилган булса ҳам тадқиқотлар, асосан фотоусулларни қўллаш йўли билан давом этди. Бу усул юқори аниқликка эга, аммо уни ишлатаётган илмий ходимдан ҳам рентгенография, ҳам фотографиядан юқори малака талаб қилади.

Кейинги 25-30 йил ичида фотоусулларда лауэграмма ва дебае-грамма олиш урнига нурланишни ионизацион қайд этишга асосланган дифрактограмма усуллари жорий этила бошланди. Бу усулларда иш олиб бориш махсус счётчикларга асосланган бўлиб, уларда дифракцион максимумлар регистрация қилинади.

Ҳозирги вақтда нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларида дифрактограмма олишнинг икки усули қуйидагича регистрация қилишга асосланган:

1. Гейгер-Мюллернинг ионизацион счётчиги ёрдамида.
2. Сцинтилляцион счётчиги ёрдамида.

Биринчи газли счётчикларининг такомиллаштирилган турлари пропорционал ёки мустақил номлари билан ҳам аталади. Ток кучи ёки импульслар сонига кўра рентген нурланиш интенсивлиги ҳақида фикр юритиш мумкин.

Кристалл-фосфор (таллий билан активдаштирилган йодли натрий кристалли) ва фотокупайтиргичдан ташкил топган сцинтилляцион счётчикларда Гейгер-Мюллер газли счётчикларига нисбатан фон анча кичик бўлади. Шунинг учун уларнинг ўффефективлиги анча юқоридир.

Дифрактограмма олиш учун силикатли намуна тайёрлаш ва дифрактограмма олиш қуйидагича кечади:

1. Текширилаётган намунадан 5-10 г ажратиб олинади.
2. Агатли майдалагичда спирт ёрдамида майдаланади.
3. Ҳул модда майдалагичда ёқиб юборилади ва қуруқ кукун олинади.
4. ДРОН маркали аппаратларига намуна - кукун жойланади.
5. Дифрактограмма олинади.
6. Дифрактограмма пиклари номерланади.
7. Пиклар ўлчами ва интенсивлиги аниқланади.
8. Топилган қийматлар махсус жадваллар ёрдамида d-га айлантирилади.

9. Махсус китоблар ёрдамида d ва I лар қиймати орқали модда таркиби аниқланади.

Рентген нурлари билан ишлашда хавфсизлик техникаси қоидаларига қаттиқ риоя қилиш зарур. У узоқ вақт киши организмига таъсир ўтказса саломатлик масаласига путур етади:

1. Инсон қонининг таркиби ўзгаради.

2. Ички органлар шикастланади.

3. Тери қавати қуяди.

Рентген нурлари билан ишлашда маъсул органлар томонидан белгиланган шарт-шароитларга қатъий амал қилиш талаб этилади:

1. Рентген аппаратларида ишлаш учун ёши 18 га кирмаганларга рухсат берилмайди.

2. Рентген аппаратларини созлаш ва тузатишга фақат махсус маълумоти бор кишиларгагина рухсат этилади.

3. Рентген аппарати жойлашган хоналарга бегона шахсларнинг киришига йўл қўйилмайди.

4. Рентген аппарати ишлаб турган вақтда унинг булакларига тегиш, юқори вольтли қисмларини таъмирлаш ва бошқалар ман этилади.

5. Вақт-вақти билан рентген нурланишидан ҳимоя воситаларининг эффективлиги дозиметрлар орқали текшириб турилиши шарт.

6. Рентген трубкаси ва рентген камераси алмаштирилгач аппарат урнатилган хонани дозиметр ёрдамида текшириб туриш керак.

Рентген нурлари билан ишлашда хавфсизлик техникаси қоидаларига риоя қилишни таъминлашда рентген дозиметрлари катта рол ўйнайди. Рентген нурлари дозасини ўлчашда, одатда, кўчма асбоблардан — универсал ГРИ дозиметрларидан кенг фойдаланилади. Бу асбоб бир ипли электрометр ва алмаштириб туриладиган ионланиш камералари тупламидан ташкил топган.

51-§. Рентгенографик таҳлилдан фойдаланиш имкониятлари

Усулни қўллашни амалий имкониятлари жуда катта. Қуйида улардан асосийлари келтирилади:

1. Табиий ва сунъий минераллар ва кимёвий бирикмаларнинг диагностикаси учун (кимёгар, кристаллокимёгар, крис-

таллограф, геохимёгар, геолог, геофизик, физик, металлург, оптик ва бошқалар томонидан);

а) минераллар турини аниқлаш (слюда, пироксен, дала шпати, гранат, кварц, алунит, мелилит, волластонит, муллит, титанат, карбонат, сульфат ва бошқалар);

б) бир турли минералларни турли типларини аниқлаш (биотит, флогопит, мусковит; натрийли -, калийли- ва кальцийли дала шпатлари; каолинит, галлуазит ва бошқа тупроқ минераллари);

в) тузилма турларини аниқлаш (дала шпатининг моноклин ёки триклин шакли, пироксенларнинг моноклин ва бошқа турлари, нефелиннинг ромбик ва гексагонал шакллари ва ҳоказо);

г) минерал таркибини сифат ва миқдорий баҳолаш (ион ўлчамлари ва бошқаларга боғлиқ ҳолда).

2. Тузилма таҳлили учун:

а) моддаларнинг симметрияларини аниқлаш;

б) симметрия фазовий гуруппаларини-элементар ячейкада молекула, ион, атомларнинг симметрик жойлашиши;

в) элементар ячейка ўлчамлари — параметралар: a , b ва c ; бурчаклар: α , β ва γ қийматлари;

г) панжарадаги атом, ионларнинг координати ва атомлар орасидаги масофа;

д) модданинг кристаллик тузилмасини баёни, тузилмани ташкил қилувчи атомлар орасидаги масофа, координацион рақам ва бошқалар.

3. Аниқлаш учун:

а) модданинг монокристаллиги - монокристаллнинг тузилмавий етуклиги, қўшалокларнинг мавжудлиги, ўлчами, сифати ва бошқа диагностик параметраларини баҳолаш имкони;

б) модданинг поликристаллиги — поликристалллар кимёвий таркиби, поликристалл заррачалари ўлчами ва ҳоказо.

4. Минерал тузилмасидаги у ёки бу элементлар ва уларнинг шаклини аниқлаш - минерал, рудадаги қўшилма (изоморф. механик) ларнинг қандай аралашмалиги ва эрувчанлигини ўрганиш.

5. Тоғ жинслари ва рудаларини сифати ва миқдорини фазавий рентгенографик таҳлили.

6. Минералларнинг дисперслиги ва кристалларининг катталикларини баҳолаш.

Таркибига барий ва кальций кирган шишаларда нисбатан катта макон ($R=150-200 \text{ \AA}$) лар борлиги олимлар томонидан аниқланган (19-жадвал).

Шишалар таркибида аниқланган микрооаниқликлар

19-жадвал

Тартиб	Шиша таркиби, мол. фозд ҳисобида			Микрооаниқликлар радиуси, $\text{\AA}$
	SiO_2	Na_2O	MeO	
1.	80	10	10 (BaO)	160
2.	80	10	10 (CaO)	195
3.	88,5	11,5	-	125

3. Фотоусулни қўллашда: фотографик операциялар ҳақида маълумотга эга бўлишлик ҳамда рентгенограммаларни фото-метр усулида қайд этишнинг кераклилиги.

4. Электр усулини қўллашда: рентген трубкани электрик режимда ишлашида стабиллаштириш етарли эмаслиги ҳамда сўтчик билан боғланган ҳамма ёрдамчи кучайтирувчи ва таъминловчи занжирларнинг етарли даражада эмаслиги.

5. Чизиқларнинг ҳолатини аниқ ўлчашда юқори аниқликка эга бўлган гониометрни қўллашнинг зарурлиги ва муҳимлиги. Бу ҳолатда асбоб мураккаблашади ва қимматлашади.

6. Паст сингония (ромбик, моноклин ва триклин)ли моддалар — гидрагилит, байерит, диаспор, бемит, каолинит, дикиит, накрит, монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, моноктермит, галлазит, пирофиллит, кальцит, доломит, гипс, ангидрит ва бошқаларни тузилмаларини расшифровка қилишнинг мураккаблиги.

7. Бир сингония ёки тузилмали ўхшаш бирикмаларни расшифровкаси қийинлиги. Масалан, флюорит ва сфалерит каби минераллар нафақат бир хил кубик сингонияга эга, балки уларнинг элементар ячейка ўлчамлари ҳам бир-бирига тенг:

$5,42 \text{ \AA}$. Фақат юзаларора масофа d ва нур қайтариш интенсивлигини қийматларини нисбий баҳолаш билан минерални аниқ таҳлил этиш мумкин. Олинган натижа дебаеграмм стандартлари картотекаси ёки махсус чоп этилган китоблар (Михеев-1957 ва 1965 йиллар; Минераллар- 1965-1967 йиллар; Семенов- 1963 йил; Сидеренко- 1957 йил; Миркин- 1961 йил ва бошқалар) га солиштириш йўли билан олиб борилади.

8. Кўп ҳолларда рентгенограмма маълумотлари бошқа константалар билан тўлдирилиши лозим. Масалан, гранат турла-

рини аниқлашда уч диаграмма “a-N-d” бўйича ташхис қўйиш мумкин. Бу ерда, а - элементар ячейка ўлчами, N- нур синдириш кўрсаткичи ва d- гранитнинг солиштирма огирлиги. Буларнинг ҳаммаси гранат минералининг турлари ҳақида аниқ маълумот олишни таъминлайди.

54-§ Кимёвий бирикмаларга оид рентгенографик маълумотлар

В 5222400 — «Кимёвий технология» йуналишининг «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси» соҳаси хом ашёлари, яримфабрикатлари, материаллари ва буюмларида кўпроқ учровчи кимёвий бирикмаларнинг рентгенограммаларига тўғри келадиган текисликлараро масофа ($d, \text{Å}$) ва чўққилар интенсивлиги ($J, 100, 10$ ёки солиштирма таққослаш) га оид маълумотнома Л.И.Миркин [23], В.Н.Михеев [24], В.В.Тимашев [6], А.И.Китайгородский, Н.А.Торопов [36], И.И.Горбунов ва бошқа манбалар [5, 29-35] келтирилган маълумотлардан фойдаланилган ҳолда қуйидаги 20- жадвалда келтирилади.

Кимёвий бирикмаларга оид рентгенографик маълумотлар Д.И. Менделеев даврий жадвалида жойлашган 58 элемент ва унинг ҳосилаларига таалуқли бўлиб, у литий элементидан бошланиб водород элементига оид тегишли рақамларни ўз ичига олган. Айниқса жадвалда элемент, элемент ҳосил қилган оксид, элемент карбонати, сульфати ва нитрати, у ҳосил қилган тузлар — алюминат, силикат ва бошқалар катта ўринни эгаллаган. Жумладан, литий элементига таалуқли 22 бирикма, натрийга — 15 бирикма, калийга — 17 бирикма, магнийга — 24 бирикма, кальцийга — 57 бирикма, стронцийга — 25 бирикма, барийга — 23 бирикма, алюминийга — 21 бирикма 20-жадвалга киритилган.

Текисликлараро масофа жадвалда ангстремда берилган. Агар фойдаланилган адабиётда у килоиксда берилган бўлса, у ҳолда $1 \text{ Å} = 1,00202 \text{ кХ}$ тенгламаси ёрдамида килоикс ангстрем ўлчовига ўтказилган.

Чўққилар интенсивлиги жадвалда 3 кўринишда ўз ифодасини топган: бирдан юзгача ҳисобида, Иккинчи кўринишда интенсивлилик нолдан ўнгача ҳисобида ўтказилган. Учинчи кўринишда эса интенсивлилик нисбий бирликларда берилган: Кз — кучсиз, Ж.кз. — жуда кучсиз, Ж.ж.кз. — жуда-жуда кучсиз, У — ўртача, Ки — кучли, Ж.ки. — жуда кучли, Ж.ж.ки — жуда-жуда кучли.

Табний ва сунъий кимёвий бирикмаларнинг баъзи бирларига
хос бўлган d ва J

20-жадвал

Модда	d	J	D	J	D	J
I	2	3	4	5	6	7
Литий-Li	2,48 1,75	100 17	1,430 1,240	20 3	- -	- -
Li OH	4,35 2,98 2,75 2,67 2,51	33 20 100 23 13	2,42 2,08 1,97 1,85 1,77	17 3 3 5 7	1,74 1,65 1,490 1,280 1,257	3 7 7 3 3
LiF	2,32 2,00	67 100	1,419 1,211	23 3	1,160 -	3 -
LiH	2,357 2,041 1,444 -	54 100 40 -	1,231 1,178 1,0204 -	23 11 3 -	0,9374 0,9130 0,8335 0,7859	8 9 7 5
LiCl	2,96 2,56 1,81 1,55 1,482	100 100 60 32 12	1,283 1,178 1,148 1,048 0,989	5 12 14 6 5	0,909 0,869 0,857 - -	2 3 2 - -
Li ₂ CO ₃	4,16 3,80 3,02 2,91 2,80 2,62 2,47 2,42	63 5 5 50 100 25 10 38	2,26 2,07 1,86 1,81 1,61 1,59 1,57 1,54	18 3 13 3 3 5 5 5	1,51 1,460 1,422 1,389 1,350 1,311 1,280 -	5 5 3 3 3 3 3 -
LiNO ₃	3,58 2,78 2,53 2,13	67 53 20 100	1,371 1,355 1,255 1,194	20 13 4 4	1,008 0,982 0,932 0,927	3 3 1 1

	1,95 1,72 1,53 1,420	1 11 27 1	1,140 1,117 1,082 1,025	1 3 4 1	0,895 0,890 - -	1 1 - -
Li_2SO_4	4,01 3,49 3,16 2,78 2,68 2,62 2,47 2,40 2,31	100 11 40 6 3 5 13 6 6	2,20 2,09 2,01 1,95 1,88 1,81 1,77 1,67 1,60	3 5 2 13 5 3 2 2 3	1,56 1,53 1,487 1,424 1,400 1,340 1,279 1,215 1,185	2 3 6 2 3 3 3 2 3
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,54 3,506 3,210 2,790 2,660 2,545 2,372 2,280 2,078 1,969 1,905	6 19 13 41 3 3 84 25 13 59 3	1,849 1,799 1,741 2,721 1,675 1,608 1,559 1,518 1,467 1,439 1,393	3 3 3 13 3 31 6 72 3 6 100	1,296 1,278 1,249 1,202 1,177 1,139 1,107 1,077 1,054 - -	3 6 13 25 3 19 3 6 13 - -
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,39 2,07 1,461 1,247 1,195 1,035	40 100 90 30 40 20	0,949 0,925 0,845 0,798 0,732 0,690	10 50 40 10 10 20	0,657 0,624 0,575 0,553 - -	20 10 10 10 - -
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{CrO}_3$	7,0 5,3 4,39 4,10 3,70 3,50 3,27 3,15 2,85 2,64 2,54	16 5 32 100 5 32 20 13 32 24 8	2,47 2,32 2,22 2,14 2,08 2,01 1,94 1,84 1,80 1,73 1,69	10 8 3 5 2 3 8 11 2 3 6	1,64 1,60 1,56 1,52 1,57 1,420 1,367 1,343 1,215 1,113 -	2 3 3 2 2 13 5 3 2 2 -

$\text{Li}_2\text{CrO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	6,6	40	2,76	100	1,70	7
	5,3	27	2,65	27	1,66	40
	4,78	83	2,55	27	1,63	40
	4,50	67	2,49	53	1,59	13
	4,25	83	2,37	53	1,53	7
	4,08	83	2,18	40	1,50	27
	3,70	67	2,10	27	1,452	40
	3,57	67	2,03	40	1,400	13
	3,38	40	1,92	13	1,370	7
	3,18	53	1,87	7	1,340	13
	3,07	100	1,81	27	-	-
	3,00	100	1,75	13	-	-
$\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	6,4	4	3,08	20	2,01	8
	5,4	60	2,86	20	1,76	8
	5,1	60	2,69	28	1,70	8
	4,31	50	2,58	12	1,65	12
	3,92	4	2,42	8	1,485	4
	3,72	60	2,36	8	1,350	4
	3,42	32	2,19	16	-	-
	3,19	100	2,12	12	-	-
$\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	7,8	7	2,65	3	1,72	7
	5,1	67	2,48	3	1,70	7
	4,12	100	2,41	27	1,63	3
	3,84	58	2,33	3	1,59	7
	3,68	7	2,28	3	1,55	7
	3,54	67	2,18	7	1,490	7
	3,02	50	2,04	7	1,378	7
	2,93	33	1,91	7	-	-
	2,72	33	1,81	7	-	-
LiKSO_4	3,94	Ж.ку.	1,912	Ж.кз.	1,324	Ж.кз.
	3,09	Ж.ку.	1,642	Ку.	1,286	Ж.кз.
	2,556	Ж.ку.	1,595	Ж.кз.	1,253	У.
	2,423	Кз.	1,560	Ку.	1,223	Ж.кз.
	2,186	Ж.ку.	1,481	Ку.	1,201	Ж.кз.
	1,970	Ж.кз.	1,369	Кз.	1,187	У.
$\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,82	10	1,94	3	1,275	1
	2,70	100	1,91	13	1,210	4
	2,58	3	1,86	1	1,155	1
	2,43	3	1,71	3	1,105	1
	2,21	5	1,57	20	1,025	2
	2,04	1	1,358	5	-	-

β - $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	4,5904	5	2,1040	7	1,5406	7
	3,9094	25	1,9293	13	1,4775	3
	3,4884	100	1,8825	37	1,4502	10
	3,1554	11	1,7404	4	1,4291	6
	2,2938	8	1,6938	3	1,3208	12
	2,2605	9	1,6438	14	1,2384	11
$\text{LiGaSi}_2\text{O}_6$	4,6333	8	2,1257	5	1,5500	8
	3,9472	30	2,0955	5	1,4865	5
	3,5074	100	1,9497	13	1,4629	15
	3,1819	12	1,8899	36	1,4378	7
	2,3130	24	1,7020	4	1,3342	18
	2,2792	12	1,6598	29	1,2475	17
Амфибол — $\text{Li}_3\text{Mg}_5\text{Fe}^{2+}$ Fe^{3+} $\text{Al}_2(\text{OH})_4$ $\text{Si}_{10}\text{O}_{22}$	7,98	4	2,212	1	1,444	4
	4,85	1	2,095	6	1,423	1
	4,39	4	2,031	1	1,395	8
	3,63	4	1,952	4	1,351	1
	3,30	6	1,856	1	1,337	1
	3,19	6	1,798	6	1,312	8
	2,97	10	1,736	4	1,276	4
	2,80	6	1,712	4	1,257	1
	2,70	6	1,590	8	1,239	1
	2,64	6	1,572	8	1,176	1
	2,53	8	1,522	1	1,163	1
	2,46	1	1,487	6	1,135	4
	2,418	1	1,472	1	1,084	4
	2,282	4	-	-	-	-
Манганс- клерит — (Li, Mn, Fe) [PO ₄]	5,064	1	2,519	10	1,624	4
	4,295	8	2,169	4	1,477	4
	3,859	4	1,760	8	1,353	8
	3,494	8	1,737	8	1,323	4
	3,069	8	1,676	4	1,149	4
	2,778	4	1,648	4	1,103	8
	-	-	-	-	1,070	8
Феррисик- лерит- (Li, Fe, Mn) [PO ₄]	5,929	10	4,148	4	2,103	10
	5,382	4	3,893	4	1,740	1
	5,054	10	2,780	4	1,480	10
	4,989	10	2,565	4	1,070	10
	4,275	10	2,188	4	-	-
Натрий - Na	3,02	100	1,75	20	1,355	5
	2,13	15	1,51	5	1,246	3
	-	-	-	-	1,145	3

Na ₂ O	9,0	2	2,47	2	1,71	4
	7,8	2	2,42	4	1,65	4
	5,6	4	2,35	14	1,56	2
	5,0	4	2,30	12	1,50	4
	3,75	2	2,24	4	1,466	12
	3,43	4	2,03	10	1,438	4
	3,09	10	1,96	2	1,400	4
	2,87	4	1,89	2	1,345	12
	2,76	2	1,86	4	1,275	8
	2,55	100	1,80	50	-	-
Na ₂ CO ₃	3,43	8	2,18	60	1,62	12
	3,22	12	2,11	4	1,57	25
	2,96	80	2,02	14	1,52	8
	2,85	2	1,95	40	1,482	16
	2,70	20	1,88	40	1,451	6
	2,60	60	1,83	2	1,418	4
	2,54	60	1,79	4	1,388	8
	2,36	100	1,71	25	1,347	4
	2,25	40	1,67	12	-	-
NaCl	3,258	13	1,294	1	0,9401	3
	2,821	100	1,261	11	0,8917	4
	1,994	55	1,1515	7	0,8601	1
	1,701	2	1,0855	1	0,8503	3
	1,628	15	0,9969	2	0,8141	2
	1,410	6	0,9533	1	-	-
Na ₂ SO ₄	4,66	73	1,864	31	1,497	5
	3,84	18	1,841	6	1,465	1
	3,178	51	1,798	4	1,429	5
	3,075	47	1,680	12	1,386	3
	2,783	100	1,662	8	1,324	3
	2,646	48	1,605	5	1,304	3
	2,329	21	1,589	3	1,297	6
	2,211	5	1,553	10	1,279	5
	1,919	4	1,537	1	1,258	1
	1,891	4	1,512	2	1,233	1
NaOH	5,8	13	1,65	25	1,108	2
	2,85	20	1,460	10	1,071	7
	2,35	100	1,346	2	1,019	2
	2,03	10	1,266	5	0,973	4
	1,90	8	1,201	5	-	-
	1,70	30	1,178	1	-	-

Na ₂ O 11Al ₂ O ₃	11,8	53	2,02	40	1,210	11
	5,7	13	1,93	27	1,190	1
	4,45	9	1,84	13	1,170	3
	4,08	5	1,74	12	1,152	3
	3,78	1	1,69	1	1,135	3
	2,79	17	1,65	4	1,113	3
	2,67	40	1,59	53	1,098	3
	2,51	27	1,56	20	1,051	11
	2,40	27	1,480	20	1,042	13
	2,23	27	1,400	100	1,017	12
	2,13	27	1,340	33	0,993	13
	2,08	3	1,238	17	0,968	12
2Na ₂ O·P ₂ O ₅	4,40	100	2,02	5	1,342	8
	3,38	25	1,91	31	1,293	5
	2,72	75	1,75	10	1,206	5
	2,53	3	1,67	3	1,165	3
	2,42	3	1,55	23	1,140	5
	2,33	23	1,475	13	1,070	3
	2,06	10	1,424	15	1,013	5
3Na ₂ O·P ₂ O ₅	4,25	48	2,15	6	1,400	3
	3,95	13	2,05	20	1,355	6
	3,84	20	1,91	48	1,316	6
	3,45	6	1,81	8	1,275	5
	3,11	11	1,72	11	1,245	3
	2,70	48	1,66	2	1,207	6
	2,55	100	1,57	6	1,193	8
	2,43	10	1,53	24	1,157	3
	2,25	20	1,450	11	-	-
Na ₂ O·SiO ₂	5,3	20	1,88	28	1,145	3
	3,56	20	1,83	9	1,114	9
	3,04	100	1,75	40	1,032	2
	2,57	48	1,53	5	0,990	2
	2,40	64	1,445	9	0,932	2
	1,98	9	1,418	40	-	-
Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	6,4	8	2,18	6	1,460	16
	4,05	35	2,13	12	1,425	16
	3,80	16	1,99	8	1,380	8
	3,66	25	1,90	12	1,350	14
	3,20	100	1,83	18	1,270	14
	2,96	25	1,80	8	1,223	12
	2,65	2	1,73	8	1,200	4
	2,56	12	1,67	6	1,169	8
	2,44	14	1,58	12	1,137	6
	2,32	12	1,50	8	1,050	4

Na ₂ O-CaO-SiO ₂	4,348	10	1,523	60	1,141	5
	2,667	100	1,443	5	1,083	5
	2,416	5	1,321	20	0,996	10
	2,166	5	1,264	5	-	-
	1,877	50	1,183	20	-	-
Na ₂ O-2CaO-3SiO ₂	4,421	10	1,868	60	1,298	20
	3,772	30	1,799	10	1,209	5
	3,360	50	1,741	10	1,178	10
	3,026	5	1,693	5	1,129	20
	2,644	100	1,639	10	1,106	5
	2,508	5	1,545	20	1,070	5
	2,363	10	1,517	30	1,012	10
	2,249	5	1,387	30	0,986	20
	2,153	5	1,328	20	-	-
2Na ₂ O CaO 3SiO ₂	4,089	20	1,803	10	1,218	10
	3,781	20	1,722	5	1,191	30
	3,270	5	1,622	20	1,143	10
	2,668	100	1,540	50	1,112	10
	2,374	10	1,436	20	1,007	20
	2,175	10	1,387	10	-	-
	1,888	60	1,335	40	-	-
Карнегиит - α-форма Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	4,29	10	1,645	1	1,061	1
	2,61	9	1,500	7	1,024	1
	2,23	1	1,415	3	0,980	2
	2,13	4	1,300	4	0,957	1
	1,845	2	1,243	3	-	-
	1,690	5	1,163	3	-	-
Калий - К	3,75	100	1,87	4	1,418	2
	2,65	16	1,68	4	-	-
	2,15	30	1,52	2	-	-
KCl	3,13	100	1,57	6	1,108	2
	2,21	60	1,401	12	1,047	2
	1,81	14	1,280	6	0,991	2
KNO ₂	4,00	2	2,01	8	1,65	1
	3,31	100	1,85	1	1,61	1
	2,50	18	1,71	1	1,56	1
	2,20	15	1,67	1	-	-
KNO ₃	4,66	12	2,66	28	1,76	4
	3,77	100	2,19	24	1,54	4
	3,03	36	2,06	8	1,365	4
	2,77	8	1,96	12	-	-

K ₃ PO ₄	5,5	30	2,23	16	1,68	2
	3,65	30	2,13	4	1,64	18
	3,44	4	2,07	4	1,58	2
	3,15	30	2,03	2	1,52	2
	3,03	100	1,93	12	1,462	2
	2,75	60	1,89	2	1,435	2
	2,56	50	1,82	20	1,407	6
	2,45	20	1,77	4	1,370	4
	2,39	40	1,73	2	-	-
K ₂ SO ₄	5,0	2	2,08	40	1,419	3
	4,19	24	2,00	5	1,392	3
	3,73	8	1,94	4	1,350	6
	3,38	5	1,88	10	1,302	5
	3,00	80	1,85	4	1,285	2
	2,88	100	1,76	3	1,245	4
	2,66	2	1,68	10	1,212	1
	2,50	12	1,62	4	1,175	5
	2,41	20	1,57	6	1,141	4
	2,21	24	1,440	10	1,115	1
K ₂ CO ₃	7,0	2	2,31	8	1,67	2
	5,5	2	2,18	6	1,61	3
	3,39	6	2,09	14	1,55	2
	2,97	16	1,99	10	1,50	2
	2,80	100	1,85	8	1,410	5
	2,61	32	1,77	3	1,345	2
	2,37	16	1,70	3	1,307	2
K ₂ SiF ₆	4,71	63	1,56	25	1,056	1
	2,88	50	1,438	30	1,014	1
	2,45	1	1,365	8	0,996	1
	2,35	100	1,285	20	0,984	1
	2,03	75	1,225	7	0,957	2
	1,86	1	1,175	6	0,936	1
	1,82	1	1,134	6	0,908	2
	1,66	20	1,087	10	-	-
K ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O	5,60	100	2,38	10	1,87	10
	3,52	100	2,29	10	1,60	10
	3,37	100	2,18	40	1,55	10
	2,76	76	2,11	10	1,460	10
	2,52	20	1,99	10	-	-
K ₂ Cr ₂ O ₇	4,83	10	2,53	15	1,86	5
	3,68	50	2,45	5	1,77	10
	3,45	50	2,38	5	1,70	5
	3,29	100	2,29	5	1,66	5
	3,02	75	2,24	5	1,58	5
	2,85	63	2,18	5	1,450	5
	2,75	5	2,14	5	1,400	5
	2,69	5	2,04	25	-	-
	2,62	20	1,90	5	-	-

$K_2O \cdot 12Al_2O_3$	4,45	19	2,135	41	1,596	50
	3,48	3	2,07	3	1,563	41
	3,13	3	2,03	41	1,482	6
	2,80	41	1,973	13	1,416	25
	2,69	50	1,935	13	1,397	100
	2,505	59	1,835	6	1,346	31
	2,405	31	1,744	9	1,262	3
	2,24	25	1,653	3	1,240	13
$K_2O \cdot Fe_2O_3$	4,58	16	1,62	32	1,150	2
	2,80	100	1,405	8	1,062	3
	1,98	13	1,260	6	0,940	2
K_2TiO_3	7,0	17	2,32	23	1,64	3
	3,46	7	2,18	23	1,60	3
	3,32	3	1,87	3	1,52	3
	3,01	20	1,78	7	1,480	3
	2,76	100	1,71	3	1,392	3
K_2UO_4	7,5	100	3,20	75	2,02	25
	3,55	50	2,57	25	1,96	25
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	4,24	38	2,76	10	1,85	3
	4,01	20	2,61	15	1,80	25
	3,85	20	2,52	13	1,73	5
	3,69	20	2,43	13	1,65	3
	3,49	15	2,33	8	1,61	3
	3,35	25	2,16	25	1,57	3
	3,25	100	2,10	3	1,54	3
	3,03	13	2,02	3	1,51	5
	2,94	25	1,98	10	1,468	10
	2,88	8	1,92	10	-	-
$K_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$	4,62	40	1,791	10	1,099	30
	2,831	100	1,635	60	1,070	60
	2,415	40	1,541	30	1,043	30
	2,312	30	1,416	40	1,001	10
	2,002	60	1,354	20	0,9437	40
	1,837	20	1,266	40	0,9247	40
Мушкетер - $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	10,03	10	2,125	7	1,352	8
	5,02	5	2,056	1	1,335	5
	4,52	7	1,987	8	1,320	1
	3,89	3	1,944	1	1,297	8
	2,505	5	1,868	2	1,272	4
	3,342	9	1,728	1	1,246	8
	3,204	4	1,647	8	1,221	4

	3,095	6	1,596	3	1,206	2
	2,862	7	1,555	4	1,193	2
	2,783	5	1,519	4	1,159	3
	2,568	10	1,498	10	1,130	2
	2,471	2	1,472	1	1,115	6
	2,374	7	1,448	2	1,104	2
	2,250	2	1,427	3	1,045	5
	2,186	3	1,410	1	-	-
Мис- Cu	2,08	100	1,277	33	1,043	9
	1,81	53	1,089	33	0,905	3
Cu ₂ O	3,00	3	1,283	31	0,953	3
	2,45	100	1,228	5	0,869	3
	2,12	31	1,065	3	0,819	3
	1,51	44	0,977	5	-	-
CuO	2,51	100	1,50	15	1,159	5
	2,31	100	1,408	20	1,086	3
	1,85	20	1,370	20	1,007	3
	1,70	8	1,298	5	0,978	3
	1,57	8	1,258	10	0,885	3
CuF ₂	3,127	100	1,3539	3	0,9574	1
	2,708	6	1,2425	5	0,9156	2
	2,150	49	1,1055	5	0,8564	1
	1,633	28	1,0424	3	-	-
Cu SO ₄	4,20	53	1,96	12	1,375	11
	3,92	3	1,77	33	1,305	3
	3,55	53	1,67	9	1,290	1
	2,62	100	1,58	13	1,243	1
	2,41	40	1,55	8	1,210	3
	2,31	9	1,461	1	1,182	1
	2,08	5	1,430	27	1,150	3
	2,01	3	1,400	3	1,096	4
	-	-	-	-	1,076	4
CuO Al ₂ O ₃	2,85	33	1,85	7	1,423	67
	2,43	100	1,64	7	1,230	7
	2,01	27	1,55	20	-	-
CuO B ₂ O ₃	6,4	44	2,66	33	1,73	33
	5,3	78	2,51	100	1,58	11
	3,88	100	2,37	11	1,55	11
	3,17	33	2,17	11	1,53	11
	2,91	22	1,95	11	1,425	11
CuO·Co ₂ O ₃	4,65	15	1,64	10	1,160	3
	2,85	25	1,55	31	1,076	3

	2,43 2,31 2,11	100 20 5	1,421 1,361 1,227	38 3 8	1,047 - -	8 - -
Кумуш - Ag	2,36 2,04 1,445 1,232	100 53 27 53	1,179 1,022 0,938 0,915	5 1 8 5	0,834 0,786 0,691 -	3 4 3 -
Ag ₂ O	3,35 2,72 2,36 1,67	1 100 40 24	1,422 1,360 1,179 1,082	16 3 1 2	1,054 0,960 0,907 -	2 1 1 -
Ag ₂ CO ₃	4,77 4,31 3,05 2,73 2,65 2,55 2,48 2,42 2,37 2,32	20 20 4 50 100 2 1 15 3 4	2,27 2,20 2,15 2,03 1,92 1,86 1,77 1,67 1,63 1,59	30 1 8 8 8 4 10 8 10 7	1,53 1,50 1,462 1,440 1,398 1,370 1,328 1,300 1,222 1,133	3 2 1 5 4 13 4 2 3 3
AgCl	3,203 2,774 1,962 1,673 1,602 1,387	49 100 50 15 15 6	1,273 1,241 1,1326 1,0680 0,9810 0,9380	3 11 7 3 2 2	0,9248 0,8774 0,8462 0,8366 - -	3 3 2 3 - -
AgNO ₃	4,51 4,08 3,66 3,00 2,80 2,73 2,53 2,29	50 50 38 100 38 44 38 31	2,24 2,15 2,11 2,08 1,96 1,90 1,83 1,70	25 15 10 50 18 10 25 15	1,66 1,57 1,490 1,420 1,382 1,340 1,310 -	15 5 10 8 5 13 3 -
Ag ₂ O·MoO ₃	5,3 3,28 2,80 2,68 2,32 2,12 1,89 1,78	6 17 100 17 14 5 6 43	1,64 1,475 1,422 1,406 1,345 1,245 1,211 1,164	43 1 11 11 1 5 17 3	1,097 1,075 1,043 0,978 0,951 0,915 - -	1 9 1 2 5 1 - -
Олтин -Au	2,35 2,03 1,439 -	100 53 33 -	1,227 1,173 1,019 -	40 9 3 -	0,935 0,910 0,832 0,784	9 7 4 4

AuCN	5,1	60	1,61	12	1,165	4
	2,94	100	1,467	20	1,110	4
	2,54	100	1,410	16	1,086	4
	1,92	40	1,271	4	1,018	4
	1,69	16	1,200	4	0,961	4
Au ₁ In ₂	3,930	Ү.	1,757	Ж.кз.	1,310	Ү.
	3,229	Кз.	1,609	Ж.ку.	1,304	Ү.
	2,811	Кз.	1,491	Кз.	1,195	Ку.
	2,285	Ж.ку.	1,433	Кз.	1,142	Кз.
	2,262	Ж.ку.	1,406	Ү.	1,129	Кз.
	1,963	Ү.	1,326	Кз.	-	-
Au ₃₄ Sn ₆₆	4,525	Ү.	2,712	Ку.	2,139	Ж.кз.
	3,766	Ү.	2,619	Ү.	2,135	Ү.
	3,530	Ж.кз.	2,533	Кз.	2,130	Ку.
	3,450	Ү.	2,466	Кз.	2,083	Ү.
	3,398	Ү.	2,453	Ж.кз.	2,074	Ж.ку.
	3,097	Ж.ку.	2,440	Ж.кз.	2,056	Ку.
	3,035	Ү.	2,414	Ку.	1,963	Ж.кз.
	3,015	Ү.	2,273	Ж.кз.	1,955	Ж.кз.
	2,937	Ку.	2,241	Ку.	1,939	Ү.
	2,760	Ж.ку.	2,179	Ү.	1,916	Ү.
	2,744	Кз.	2,149	Ку.	1,908	Ү.
AuSb ₂	3,82	1	1,353	1	0,932	1
	3,32	5	1,277	3	0,921	1
	2,97	4	1,231	1	0,912	1
	2,71	3	1,211	1	0,904	1
	2,34	4	1,175	2	0,888	2
	1,999	10	1,124	1	0,865	5
	1,914	1	1,107	1	0,851	1
	1,836	1	1,078	1	0,844	1
	1,773	2	1,048	1	0,831	2
	1,521	1	1,011	2	0,806	2
	1,482	1	1,001	1	0,800	2
	1,445	1	0,989	1	0,794	1
	1,414	1	0,979	1	0,783	4
Бериллий - Be	1,97	20	1,328	12	0,983	2
	1,79	14	1,137	12	0,963	8
	1,73	100	1,022	12	0,955	6
BeO	2,34	80	1,170	4	0,870	2
	2,19	50	1,150	20	0,822	8
	2,06	100	1,130	4	0,780	3
	1,59	24	1,032	3	0,758	8
	1,350	32	0,915	8	-	-
	1,239	32	0,884	2	-	-

Be₂C	2,502 2,171 1,535	98 1 100	1,309 1,0860 0,9959	16 15 7	0,9709 0,8863 0,8356	2 41 11
BeS	2,807 2,432 1,718 1,466 1,404	100 31 39 32 10	1,216 1,115 1,087 0,9924 0,9357	5 13 10 13 12	0,8595 0,8219 0,8104 - -	7 18 13 - -
BeSO₄·4H₂O	5,7 3,90 3,40 3,20 3,06 2,84 2,52 2,42	13 100 13 20 1 3 53 1	2,30 2,23 2,17 2,00 1,94 1,88 1,84 1,78	1 1 17 4 3 13 7 5	1,70 1,60 1,490 1,458 1,414 1,330 - -	3 5 4 8 4 4 - -
BeO·Al₂O₃	4,47 4,03 3,60 3,24 2,85 2,57 2,33 2,26 2,08 1,98 1,88	4 6 5 8 4 8 8 7 10 2 2	1,80 1,65 1,61 1,555 1,513 1,462 1,362 1,338 1,296 1,257 1,215	6 4 10 2 5 5 8 4 7 7 4	1,190 1,160 1,140 1,105 1,078 1,061 1,056 1,040 1,021 1,003 -	4 4 5 5 6 6 2 7 2 6 -
Магний - Mg	2,77 2,60 2,45 1,90 1,60 1,471 1,378	30 25 100 20 20 30 18	1,341 1,303 1,225 1,180 1,084 1,030 1,010	13 3 3 3 4 7 3	0,974 0,925 0,898 0,870 0,763 0,740 -	4 1 3 1 1 1 -
MgO	2,42 2,10 1,485 1,266	6 100 75 6	1,213 1,050 0,963 0,940	15 4 1 10	0,937 0,860 0,854 -	5 4 2 -

Магнезит - MgCO_3	3,53 2,737 2,500 2,316 2,101 1,935 1,766 1,697 1,503 1,485	2 10 5 4 9 6 2 10 3 5	1,404 1,367 1,352 1,336 1,249 1,237 1,200 1,189 1,156 1,126	5 1 6 7 3 2 2 5 1 1	1,100 1,065 1,049 1,012 0,9671 0,9554 0,9496 0,9443 0,9171 0,9120	3 8 5 2 7 7 1 5 6 10
MgSO_4	4,18 3,55 3,35 3,18 2,64 2,45 2,35	4 100 2 2 30 20 4	2,30 2,15 2,02 1,97 1,81 1,77 1,68	25 4 4 8 4 12 6	1,55 1,51 1,454 1,409 1,382 1,275 -	4 2 6 2 2 6 -
Брусит - $\text{Mg}(\text{OH})_2$	4,77 2,725 2,365 1,794 1,573 1,494 1,373 1,363 -	Ж.ку. Ж.кз. Ж.ж.ку. Ку. У. У. У. Ж.ж.кз. -	1,310 1,192 1,183 1,118 1,092 1,034 1,030 1,0067 -	У.кз. Ж.ж.кз. Кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Кз. -	0,9543 0,9503 0,9455 0,9085 0,9001 0,8974 0,8923 0,8156 0,7865	Ж.ж.кз. Ж.кз. Кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз.
$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	6,33 4,41 3,303 3,167 2,941 2,876 2,825	1 14 35 100 44 87 23	2,706 2,534 2,494 2,471 2,358 2,280 2,252	26 43 51 31 7 5 7	2,232 2,114 2,096 2,058 2,019 1,984 1,958	7 24 21 13 10 13 24
$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	5,1 3,89 3,72 3,49 2,99 2,77 2,51 -	1 40 5 20 13 40 32 -	2,45 2,26 2,15 2,02 1,95 1,88 1,81 -	40 40 11 2 2 3 3 -	1,74 1,67 1,62 1,57 1,490 1,395 1,350 1,315	100 10 11 8 32 20 28 10
$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	4,67 2,858 2,436 2,333 2,021 1,649	4 40 100 3 58 10	1,366 1,278 1,232 1,218 1,1662 1,1312	3 2 9 1 7 2	1,0100 0,9522 0,9330 0,9034 0,8869 0,8613	5 3 10 6 1 1

	1,555 1,429	45 58	1,0796 1,0518	4 12	0,8469 0,8247	10 20
$\text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$	7,7 6,1 5,3 4,29 3,57 3,18 3,07 2,82	12 16 8 24 12 12 80 100	2,18 2,07 1,99 1,99 1,86 1,77 1,71 1,63	24 32 40 8 12 8 8 12	1,50 1,445 1,412 1,375 1,262 1,151 - -	8 8 8 8 16 8 - -
$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	3,71 2,89 2,68 2,55 2,40 2,19 2,06 2,02	2 100 2 2 13 40 2 20	1,85 1,80 1,57 1,55 1,50 1,468 1,418 1,389	2 40 2 10 1 6 1 8	1,337 1,300 1,270 1,237 1,202 1,172 - -	2 1 1 2 1 1 - -
$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	4,82 2,96 2,52 2,09 1,71 1,61 1,48 1,32	50 50 100 50 30 70 90 10	1,28 1,12 1,09 1,04 0,983 0,964 0,933 0,891	20 20 40 20 10 3 10 5	0,876 0,853 0,820 0,808 0,762 0,753 - -	20 40 10 10 5 5 - -
$2 \text{ MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	4,14 3,85 3,45 3,00 2,51 2,40 2,30 2,15	10 4 5 100 8 5 1 2	2,09 1,85 1,69 1,62 1,57 1,51 1,465 1,380	15 10 8 7 10 1 7 6	1,322 1,250 1,206 1,155 1,131 1,073 1,044 1,002	7 5 2 1 1 1 3 2
Серпентин- $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ $2\text{H}_2\text{O}$	7,38 4,619 3,661 2,625 2,487 2,141 1,966	10 4 10 4 10 8 4	1,789 1,738 1,655 1,530 1,500 1,411 -	6 2 2 10 8 6 -	1,304 1,277 1,164 1,100 1,074 1,057 -	8 6 4 2 2 2 -

Вермикулит- (Mg, Fe) ₃ [(Al, Si) ₄ O ₁₀] (OH) ₂ ·4H ₂ O	11,38	Ku.	2,66	Ku.	1,40	Ж.кз.
	8,00	Ж.кз.	2,43	У.ку.	1,39	Ж.кз.
	5,91	Ж.кз.	2,19	У.	1,36	Ж.кз.
	4,88	Кз.	2,03	У.	1,34	Ку.
	4,54	У.	1,75	Кз.	1,31	У.
	3,45	Ku.	1,70	Ku.	1,28	У.
	3,22	Ж.кз.	1,53	Ж.ку.	-	-
	3,05	Ж.кз.	1,52	Ж.кз.	-	-
Тальк - 3MgO·4SiO ₂ · H ₂ O	11,50	Ж.кз.	2,91	У.	1,71	Ku.
	8,96	Ж.ку.	2,80	У.	1,59	У.ку.
	6,68	Ж.кз.	2,66	У.	1,55	Ku.
	6,09	Ж.кз.	2,54	Ku.	1,50	Кз.
	5,18	Ж.кз.	2,38	Кз.	1,42	Ж.кз.
	4,50	У.	2,25	У.	1,35	У.
	3,44	У.	2,16	У.	1,33	Ku.
	3,30	Ж.кз.	1,90	Ku.	1,31	Ku.
	3,18	Ж.ку.	1,75	Кз.	1,29	Кз.
	-	-	-	-	1,25	Кз.
Нонтронит - mMg ₃ (Si ₄ O ₁₀) (OH) ₂ ·p[Fe, Al] ₂ (Si ₄ O ₁₀) (OH) ₂ ·nH ₂ O	7,11	Ж.кз.	2,62	Ku.	1,53	Ж.ку.
	6,38	Ж.кз.	2,32	Ж.кз.	1,49	Ж.кз.
	5,98	Ж.кз.	2,07	Ж.кз.	1,32	Ku.
	4,52	Ku.	2,00	Ж.кз.	1,26	У.
	3,54	Ж.кз.	1,72	У.	-	-
	3,28	Ж.кз.	1,69	Ku.	-	-
Монотермит - 0,2RO Al ₂ O ₃ 3SiO ₂ ·1,5H ₂ O (+0,5H ₂ O)	9,60	Ж.кз.	3,15	Ж.кз.	1,53	У.ку.
	7,80	Ж.кз.	2,53	Ku.	1,48	Ku.
	6,70	Кз.	2,43	Ж.кз.	1,40	Ж.кз.
	5,60	Кз.	2,32	У.	1,36	Ku.
	4,35	У.	2,06	У.	1,33	Ж.кз.
	4,17	У.кз.	1,97	У.	1,29	У.
	3,78	Ж.кз.	1,79	У.ку.	1,19	У.
	3,43	У.	1,71	Ж.кз.	1,15	У.
	3,26	Ж.ку.	1,64	Ku.	-	-
Палигорскит - MgAl ₂ [Si ₄ O ₁₁] (OH) ₂ ·4H ₂ O nH ₂ O	10,40	У.	3,80	Ж.кз.	1,69	Ku.
	7,70	Кз.	3,44	Кз.	1,58	У.кз.
	6,12	Кз.	3,23	У.ку.	1,52	Ku.
	5,50	Кз.	2,62	Ж.ку.	1,31	Ku.
	4,46	У.кз.	2,20	У.ку.	1,26	У.
	4,10	Ж.кз.	1,75	У.	-	-
Сепиолит - Mg ₃ [Si ₄ O ₁₁] nH ₂ O	9,87	Ж.кз.	3,76	У.	2,25	Ж.кз.
	9,04	Кз.	3,31	Ku.	2,20	У.
	7,90	Ж.кз.	3,10	Кз.	1,80	Ж.кз.
	6,50	Ж.кз.	2,62	Ж.кз.	1,52	Ж.ку.
	5,62	Ж.кз.	2,58	Ж.ку.	1,30	Кз.
	4,44	У.	2,30	Ж.кз.	1,27	Кз.
	4,12	У.	-	-	-	-

Антофиллит - $7\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	9,4	8	2,75	8	1,542	7
	9,1	9	2,52	4	1,498	3
	8,25	10	2,350	2	1,443	3
	5,05	3	2,252	2	1,319	2
	4,51	4	2,026	1	1,221	2
	4,13	6	1,982	3	1,156	2
	3,36	7	1,951	1	1,107	2
	3,23	10	1,838	6	1,100	2
	3,12	3	1,768	3	1,028	6
	2,84	10	1,610	8	0,926	6
$\text{Mg}_4\text{Nd}_6\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{26}$	3,36	3	2,48	1	1,77	3
	3,02	1	2,02	1	1,74	2
	2,76	10	1,90	3	1,72	3
	2,72	3	1,85	1	1,68	3
	2,67	1	1,80	5	-	-
Хлорит - $\text{Mg}_4\text{Al}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	13,26	Ку.	2,56	Ў.	1,56	Ж.ку.
	9,48	Ку.кз.	2,42	Ў.кз.	1,50	Ў.кз.
	7,85	Ў.	2,28	Ў.ку.	1,48	Кз.
	7,50	Ж.ку.	2,23	Кз.	1,43	Ў.
	5,28	Ў.	2,12	Ж.кз.	1,41	Ж.ку.
	4,66	Ж.к.	2,10	Ў.	1,36	Кз.
	4,17	Ж.кз.	2,05	Ку.	1,33	Ў.кз.
	3,82	Ў.	1,90	Ў.	1,30	Ку.
	3,52	Ж.ку.	1,84	Ў.	2,25	Ж.кз.
	3,18	Кз.	1,75	Ў.	1,20	Ку.
	2,90	Ку.	1,66	Ў.	1,15	Ў.ку.
	2,70	Ку.кз.	1,59	Ж.ку.	-	-
Бишовит, бишовит - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5,8	15	2,55	3	1,78	8
	4,10	100	2,46	3	1,72	10
	3,57	15	2,31	15	1,63	3
	2,98	20	2,23	25	1,59	3
	2,88	50	2,15	8	1,480	10
	2,72	44	2,05	18	1,420	3
	2,65	75	1,84	31	1,390	10
	-	-	-	-	1,365	3
Серпентин - $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	7,51	10	2,290	1	1,450	1
	5,20	1	2,205	1	1,407	1
	4,59	5	2,140	5	1,322	1
	3,94	1	1,814	1	1,300	3
	3,73	10	1,780	3	1,268	3
	3,105	3	1,725	1	1,238	1
	2,750	1	1,686	1	1,208	1
	2,635	1	1,657	1	1,159	2
	2,580	1	1,550	1	1,099	1
	2,490	9	1,525	5	1,068	2
	2,420	1	1,497	5	1,051	2

Кальций Ca	3,21	100	1,68	20	1,246	3
	2,80	30	1,61	10	1,238	5
	1,97	20	1,28	5	-	-
CaO	2,76	40	1,100	7	0,800	6
	2,39	100	1,071	25	0,759	2
	1,69	63	0,979	13	0,731	1
	1,445	20	0,922	3	0,723	2
	1,382	20	0,847	3	0,671	1
	1,200	10	0,810	3	0,666	1
CaCl ₂	4,49	100	2,09	16	1,490	4
	3,46	16	1,90	36	1,330	12
	3,05	80	1,79	8	1,243	12
	2,85	32	1,68	12	1,210	12
	2,33	60	1,56	4	1,165	4
	2,24	16	1,51	8	-	-
CaF ₂	3,16	67	1,117	30	0,835	2
	1,93	100	1,050	10	0,789	1
	1,65	50	0,968	5	0,767	2
	1,370	23	0,925	7	0,731	5
	1,256	23	0,866	5	0,731	3
	-	-	-	-	0,644	1
Ca (OH) ₂	4,93	50	1,55	2	1,063	10
	3,11	25	1,485	20	1,035	5
	2,63	100	1,450	20	1,012	8
	1,93	50	1,315	16	0,955	5
	1,79	40	1,178	2	0,850	2
	1,69	30	1,145	15	-	-
Кальцит CaCO ₃	3,86	12	2,095	18	1,604	8
	3,035	100	1,927	5	1,587	2
	2,845	3	1,913	17	1,525	5
	2,495	14	1,875	17	1,518	4
	2,285	18	1,626	4	1,510	3
Арагонит- CaCO ₃	3,40	100	2,49	48	1,88	64
	3,29	48	2,36	48	1,82	32
	3,05	2	2,19	11	1,74	40
	2,88	2	2,10	24	1,63	2
	2,70	64	1,98	100	1,56	6
Ватерит- CaCO ₃	4,26	13	2,06	63	1,480	8
	3,58	63	1,866	15	1,367	8
	3,29	75	1,827	63	1,318	10
	2,73	100	1,650	31	1,289	13
	2,31	8	1,550	8	1,145	8
	-	-	-	-	1,112	5

CaO·Al ₂ O ₃	5,6	3	3,20	4	2,41	27
	4,69	13	2,97	100	2,33	7
	4,41	2	2,85	7	2,27	3
	4,05	5	2,75	1	2,20	10
	3,88	1	2,69	1	2,13	5
	3,71	7	2,60	1	1,92	20
	3,50	1	2,52	42	1,53	20
	3,30	3	-	-	-	-
3CaO·Al ₂ O ₃	4,847	7	2,402	4	1,523	2,5
	4,142	2	2,298	5,5	1,356	5
	3,784	10	2,193	5	1,347	20
	3,120	2	1,933	6	1,206	27
	3,043	15	1,906	36,5	1,100	97
	2,991	5,5	1,664	59	1,067	2
	2,696	100	1,555	24	1,047	3,5
	-	-	-	-	1,016	8
3CaO·5Al ₂ O ₃	4,46	40	2,44	47	1,76	33
	3,50	100	2,31	13	1,68	13
	3,31	7	2,18	20	1,62	40
	3,09	40	2,05	40	1,52	13
	2,96	27	2,00	20	1,53	67
	2,87	33	1,44	13	1,478	13
	2,73	40	1,90	20	1,455	27
	2,60	100	1,85	13	1,370	27
5CaO·3Al ₂ O ₃	2,51	20	1,80	33	1,337	13
	4,95	67	1,73	13	1,309	17
	3,19	20	1,66	42	1,261	7
	3,01	23	1,59	50	1,236	7
	2,68	100	1,52	13	1,209	10
	2,44	50	1,478	10	1,174	10
	2,19	50	1,395	27	1,141	7
	1,94	50	1,344	10	1,112	13
α-CaO·SiO ₂	-	-	-	-	1,091	3
	5,7	5	1,83	8	1,293	3
	3,42	15	1,69	3	1,250	8
	3,23	100	1,61	8	1,180	3
	2,80	75	1,54	3	1,140	3
	2,45	10	1,476	8	1,110	3
	1,98	63	1,400	5	1,040	3

α - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	5,6	8	2,74	100	2,02	6
	4,32	24	2,60	6	1,90	48
	4,05	6	2,51	9	1,80	32
	3,80	24	2,44	6	1,75	20
	3,38	9	2,32	6	1,68	20
	3,01	48	2,24	5	1,63	28
	2,89	9	2,18	6	1,53	8
β - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,77	100	1,98	32	1,485	12
	2,62	40	1,90	16	1,370	8
	2,43	16	1,80	12	1,290	4
	2,28	12	1,70	8	1,250	4
	2,19	50	1,62	16	1,180	4
	2,03	16	1,52	12	1,125	4
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,02	44	1,92	10	1,441	20
	3,75	100	1,81	3	1,380	18
	2,61	75	1,76	38	1,195	8
	2,30	8	1,63	31	1,160	3
	2,18	50	1,54	10	1,130	3
	1,48	5	1,480	31	1,094	5
Фториапатит- $10\text{CaO} \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{F}_2$	8,12	8	3,067	18	2,218	4
	5,25	4	2,800	100	2,140	6
	4,684	1	2,772	55	2,128	4
	4,055	8	2,702	60	2,061	6
	3,872	8	2,624	30	2,028	2
	3,492	1	2,517	6	1,997	4
	3,442	40	2,289	8	1,937	25
	3,167	14	2,250	20	1,884	14
Перовскит — $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$	3,81	3	2,03	1	1,345	6
	2,69	10	1,903	8	1,203	5
	2,57	1	1,846	2	1,136	2
	2,42	1	1,704	3	1,100	4
	2,29	3	1,665	2	1,017	7
	2,20	3	1,552	8	0,897	6
	2,11	1	-	-	-	-
CaY_2O_4	4,96	15	2,82	100	2,01	45
	3,55	14	2,75	12	1,778	18
	3,13	14	2,47	20	1,722	32
	2,94	13	2,30	15	1,664	35
	2,89	78	2,28	11	1,653	16
	2,84	72	2,14	12	1,578	11
CaHo_2O_4	5,04	8	2,82	66	1,788	14
	4,96	25	2,75	10	1,772	18
	3,77	7	2,47	21	1,664	19
	3,55	10	2,30	16	1,653	21
	3,13	11	2,15	11	1,639	15
	2,89	100	2,04	8	1,580	8
	2,84	75	2,01	37	-	-

CaYb_2O_4	4,983	53	2,492	15	1,614	18
	4,870	44	1,992	34	1,431	13
	2,901	68	1,963	24	1,416	13
	2,833	100	1,661	24	1,252	8
	2,763	72	1,647	19	1,173	6
	2,742	38	1,625	24	1,093	3
$\text{Ca}_2\text{Yb}_2\text{O}_5$	6,916	17	2,299	26	1,613	7
	5,505	15	2,155	24	1,534	7
	3,534	4	2,124	10	1,462	21
	3,457	5	2,071	4	1,424	12
	3,048	27	1,854	7	1,409	4
	2,926	100	1,827	4	1,402	4
	2,894	12	1,809	4	1,376	5
	2,849	19	1,764	6	1,234	2
	2,755	35	1,726	12	1,165	5
	2,585	20	1,696	14	1,150	5
	2,469	9	1,668	15	1,128	3
	2,436	5	1,630	10	1,126	3
	2,402	25	1,620	18	-	-
$\text{Ca}_3\text{Yb}_2\text{O}_6$	7,900	5	2,488	13	1,690	20
	5,488	5	2,420	8	1,635	7
	2,372	5	2,398	12	1,617	13
	3,948	5	2,345	12	1,442	4
	3,391	5	2,298	5	1,423	9
	2,921	21	2,262	8	1,407	4
	2,883	100	2,176	4	1,376	4
	2,761	31	2,154	7	1,149	3
CaY_4O_7	3,29	27	2,66	6	1,716	14
	3,13	75	2,47	11	1,678	47
	3,06	19	2,31	12	1,653	24
	2,94	87	2,24	22	1,642	14
	2,91	59	2,17	19	1,600	35
	2,89	33	2,13	37	1,566	9
	2,82	100	1,866	42	1,554	19
	2,79	49	1,781	41	-	-
	2,75	85	1,722	15	-	-
CaCd_4O_7	3,192	59	2,270	18	1,674	24
	2,986	100	2,160	59	1,630	24
	2,868	82	1,899	47	1,593	18
	2,840	85	1,705	50	1,579	15
	2,792	68	1,680	26	1,549	26
CaHo_4O_7	3,29	24	2,24	24	1,722	20
	3,13	100	2,22	12	1,678	47
	2,94	85	2,17	28	1,653	28
	2,92	51	2,14	14	1,600	39
	2,89	29	2,13	54	1,580	8
	2,82	71	2,01	25	1,568	20
	2,79	88	1,866	41	1,551	19
	2,75	90	1,781	35	-	-

CaYb ₄ O ₇	5,81	4	2,747	59	1,693	7
	5,02	4	2,702	71	1,657	22
	3,72	4	2,274	5	1,637	9
	3,24	18	2,211	11	1,631	11
	3,084	54	2,138	13	1,579	12
	2,906	100	2,098	33	1,503	13
	2,880	42	1,840	30	1,500	16
	2,784	32	1,754	28	1,121	10
CaO · Ca ₂ O ₃ - I	6,288	3	2,623	7	1,966	2
	4,511	3	2,589	4	1,947	2
	3,875	6	2,488	4	1,932	2
	3,675	2	2,195	2	1,710	2
	2,950	10	2,173	2	-	-
CaO · Ca ₂ O ₃ - II	5,327	7	3,006	4	2,493	2
	4,564	2	2,806	10	1,846	2
	2,155	2	2,661	3	1,561	2
	3,319	2	2,559	2	1,525	2
CaO · WO ₃	4,76	53	2,844	14	2,256	3
	3,10	100	2,622	23	2,0864	5
	3,072	31	2,326	19	-	-
4CaO · Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	2,78	33	1,93	47	1,326	7
	2,66	100	1,58	13	1,212	7
	2,05	27	1,53	7	-	-
2CaO · Al ₂ O ₃ · SiO ₂	5,44	3	2,300	15	1,545	2
	5,04	7	2,291	15	1,515	17
	3,70	22	2,037	15	1,435	3
	3,44	2	1,921	7	1,424	1
	3,06	25	1,862	5	1,390	2
	2,841	100	1,852	5	1,376	7
	2,718	3	1,811	8	1,359	3
	2,554	7	1,752	37	1,279	2
	2,428	17	1,718	2	1,267	2
	2,407	26	1,633	4	1,252	4
	2,401	26	1,615	3	1,1241	30
	-	-	-	-	1,0080	15
2CaO · MgO 2SiO ₂	5,57	10	3,09	29	2,321	10
	4,25	12	2,881	100	2,285	6
	3,95	5	2,488	10	2,040	16
	3,72	14	2,430	6	1,961	5
	3,52	6	2,392	12	1,903	5
	-	-	-	-	1,848	8

Монтичеллит - $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	5,56	15	2,586	40	1,777	10
	4,19	35	2,543	30	1,751	7
	3,854	10	2,401	24	1,721	15
	3,637	40	2,355	7	1,704	5
	3,188	15	2,209	5	1,687	5
	2,935	35	1,916	15	1,600	15
	2,666	100	1,818	30	-	-
Диопсид — $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	2,231	30	2,215	14	1,968	8
	2,992	100	2,198	14	1,835	10
	2,291	30	2,156	12	1,754	14
	2,894	40	2,133	18	1,673	6
	2,566	25	2,108	10	1,658	6
	2,524	65	2,042	20	1,624	35
	2,518	65	2,014	14	1,617	35
	2,301	16	2,006	10	-	-
Мервинит — $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	2,84	50	2,03	50	1,53	70
	2,74	50	1,90	70	1,43	30
	2,66	100	1,87	60	1,39	30
	2,41	30	1,75	30	1,34	50
	2,30	50	1,69	30	1,32	50
	2,20	50	1,61	50	1,23	50
	2,16	50	1,57	50	1,19	30
Сфен — $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	4,87	2	2,05	6	1,410	9
	3,57	5	1,932	2	1,343	5
	3,20	10	1,801	2	1,302	5
	2,98	9	1,734	5	1,274	5
	2,85	5	1,693	6	1,225	2
	2,59	10	1,630	7	1,131	5
	2,26	7	1,553	6	1,106	5
	2,09	2	1,488	7	1,074	2
$\text{CaLaAl}_3\text{O}_7$	5,11	8	2,473	20	1,835	10
	4,49	3	2,441	10	1,784	30
	3,75	22	2,338	10	1,545	25
	3,48	10	2,329	10	1,500	7
	3,11	25	2,233	10	1,404	7
	2,889	100	2,079	30	1,400	7
	2,868	5	1,892	10	0,9517	50
	2,583	18	1,842	10	0,9164	25

CaNdAl ₃ O ₇	5,11	14	2,419	7	1,767	31
	3,73	16	2,312	9	1,723	8
	3,47	7	2,134	6	1,530	18
	3,09	18	2,057	27	1,492	7
	2,868	100	1,938	8	1,385	12
	2,550	22	1,881	9	0,9460	50
	2,455	11	1,876	7	0,9092	25
	2,434	8	1,829	5	-	-
CaSmAl ₃ O ₇	3,71	25	2,403	6	1,525	20
	3,43	10	2,302	10	1,486	5
	3,07	20	2,044	27	1,382	15
	2,850	100	1,935	10	1,274	10
	2,635	5	1,821	12	0,9434	50
	2,539	7	1,761	35	0,9059	25
	2,439	12	1,714	5	-	-
Ca.YAl ₃ O ₇	5,43	4	2,394	20	1,711	10
	5,04	5	2,283	14	1,542	3
	3,86	4	2,189	6	1,511	23
	3,70	22	2,114	2	1,474	6
	3,33	4	2,037	25	1,447	2
	3,05	31	1,921	8	1,375	10
	2,841	100	1,864	6	1,360	3
	2,713	3	1,850	5	1,323	2
	2,613	4	1,813	10	0,9379	50
	2,522	10	1,750	40	0,8999	25
	2,432	18	1,720	4	-	-
Ca ₆ La ₄ (SiO ₄) ₆	4,22	11	3,19	18	2,19	11
	4,06	10	2,94	100	2,03	25
	3,66	20	2,88	40	-	-
	3,29	26	2,35	13	-	-
Ca _{0,67} La _{0,33} Al _{0,33} · Si _{0,67} O ₃	4,17	10	3,15	20	2,12	10
	4,00	10	2,88	100	1,99	17
	3,55	8	2,78	18	-	-
	3,27	20	2,27	13	-	-
Ca _{0,67} Nd _{0,33} Al _{0,33} · Si _{0,67} O ₃	4,10	16	3,12	50	2,09	6
	3,93	16	2,83	100	1,97	24
	3,51	8	2,75	32	-	-
	3,22	20	2,27	13	-	-
Ca _{0,67} Sc _{0,33} Al _{0,33} · Si _{0,67} O ₃	3,37	16	2,60	14	1,69	33
	3,04	70	2,49	25	1,63	75
	2,84	10	2,39	10	-	-
	2,73	100	1,99	12	-	-

Геролит – $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9,6	6	3,02	2	2,12	4
	7,9	4	2,92	2	2,095	4
	6,4	4	2,85	8	2,060	2
	4,68	4	2,65	6	1,990	2
	4,24	8	2,58	2	1,940	2
	3,84	6	2,52	2	1,884	8
	3,54	4	2,45	4	1,813	3
	3,36	10	2,29	4	-	-
	3,15	6	2,25	6	-	-
$3\text{CaO} \cdot \text{Ga}_2\text{O}_3$	10,589	2	3,110	5	1,837	1
	8,043	1	2,983	10	1,826	1
	7,748	1	2,959	8	1,791	2
	6,207	1	2,827	1	1,684	1
	6,046	1	2,626	4	1,635	2
	5,271	6	2,523	4	1,579	1
	4,964	2	2,493	4	1,553	1
	4,409	2	2,402	1	1,487	1
	3,579	1	2,269	3	1,451	1
	3,443	4	2,195	1	1,389	3
	3,378	1	1,964	2	1,359	1
	3,217	4	1,882	1	1,268	2
$\text{CaO} \cdot 2\text{Ga}_2\text{O}_3$	7,481	1	2,666	6	1,676	1
	6,784	1	2,601	4	1,650	2
	4,738	3	2,471	5	1,624	1
	4,568	9	2,428	2	1,586	4
	3,837	1	2,387	4	1,560	1
	3,703	3	2,328	1	1,480	1
	3,545	10	2,120	3	1,422	1
	3,168	8	2,060	1	1,392	1
	2,955	2	1,960	1	1,371	1
	2,860	3	1,837	1	1,284	1
	2,831	3	1,806	1	-	-
	2,709	4	1,733	3	-	-
Спуррит – $2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) \cdot \text{CaCO}_3$	3,81	3	2,701	10	2,635	7
	3,019	7	2,663	5	2,170	4
Анортит – $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (Ромбик)	5,94	3	2,415	1	1,855	3
	4,83	9	2,383	8	1,849	8
	4,29	5	2,363	15	1,773	7
	4,20	10	2,327	13	1,732	2
	4,17	85	2,296	4	1,685	10
	4,11	70	2,241	13	1,672	15
	3,75	50	2,152	3	1,621	3
	3,21	100	2,115	7	1,598	8
	3,13	3	2,087	40	1,578	6
	2,97	35	2,056	15	1,558	6

	2,94	50	2,042	12	1,533	8
	2,701	30	2,026	10	1,510	3
	2,601	6	1,965	20	-	-
	2,532	12	1,907	3	-	-
CaO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ (Гексагонал)	7,37	85	2,414	3	1,501	2
	4,43	7	2,417	11	1,495	14
	3,80	30	2,119	4	1,475	3
	3,68	100	1,842	100	1,399	12
	2,84	40	1,770	9	1,277	8
	2,555	9	1,701	1	1,183	5
	2,456	14	1,658	1	1,152	1
CaO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ (Триктин)	4,08	3	2,097	3	1,410	2
	3,89	3	2,021	3	1,385	4
	3,63	2	1,926	3	1,360	3
	3,37	2	1,877	2	1,342	3
	3,26	1	1,836	5	1,317	2
	3,20	10	1,797	4	1,274	2
	3,15	2	1,762	5	1,211	3
	2,948	4	1,714	2	1,166	4
	2,832	4	1,626	3	1,127	2
	2,648	2	1,532	2	1,079	3
	2,509	6	1,480	4	1,064	4
	2,135	6	1,451	3	-	-
Волтас- тонит — β - CaO SiO ₂	7,7	40	2,33	40	1,72	60
	4,05	10	2,29	40	1,602	40
	3,83	80	2,18	60	1,531	10
	3,52	80	2,08	5	1,515	5
	3,40	5	2,01	20	1,478	20
	3,31	80	1,98	20	1,455	30
	3,16	5	1,91	20	1,426	5
	3,09	30	1,88	20	1,387	5
	2,97	100	1,86	10	1,358	30
	2,80	10	1,83	60	1,332	10
	2,72	10	1,80	5	1,312	5
	2,55	30	1,79	5	-	-
	2,47	60	1,75	40	-	-
Ранкинит — 3CaO·2SiO ₂	4,39	80	2,47	70	1,74	20
	4,04	80	2,34	20	1,72	20
	3,76	100	2,26	20	1,67	20
	3,51	50	2,15	20	1,62	30
	3,33	50	2,10	20	1,59	30
	3,15	100	2,03	20	1,54	20
	2,97	70	1,98	20	1,52	20
	2,85	70	1,94	20	1,47	70
	2,74	30	1,90	70	1,44	30
	2,68	100	1,84	70	1,42	20
	2,54	80	1,80	80	-	-

Шеннонит, кальциоолит ин-γ - 2CaO· SiO ₂	5,66	У.кз.	1,754	У.кз.	1,185	Ж.кз.
	4,33	У.	1,685	У.кз.	1,161	Кз.
	4,05	Кз.	1,672	Ж.ж.кз.	1,138	У.кз.
	3,82	У.	1,631	У.	1,106	Ж.ж.кз.
	3,39	Кз.	1,618	Ж.ж.кз.	1,095	Кз.
	3,01	Ку.	1,574	Ж.ж.кз.	1,078	Ж.кз.
	2,89	Ж.кз.	1,541	Ж.кз.	1,059	Ж.ж.кз.
	2,74	Ж.кз.	1,527	Кз.	1,050	Ж.ж.кз.
	2,60	Кз.	1,501	Кз.	1,038	Ж.ж.кз.
	2,53	Кз.	1,471	У.кз.	1,026	Ж.кз.
	2,46	Кз.	1,440	Кз.	1,014	Кз.
	2,33	Кз.	1,411	Кз.	1,001	Ж.кз.
	2,25	Ж.кз.	1,375	Ж.кз.	0,988	Ж.ж.кз.
	2,18	Кз.	1,349	Ж.кз.	0,978	Ж.ж.кз.
	2,05	Ж.кз.	1,303	Ж.кз.	0,953	Кз.
	2,02	Кз.	1,273	Кз.	0,942	Ж.ж.кз.
	1,964	Ж.кз.	1,253	У.кз.	0,933	Ж.кз.
	1,908	Ку.	1,233	Ж.кз.	0,921	Ж.кз.
	1,873	Ж.кз.	1,218	Ж.ж.кз.	0,808	Ж.ж.кз.
	1,805	У.ку.	1,207	Ж.ж.кз.	0,900	Ж.кз.
	-	-	-	-	0,891	Кз.
Сульфатли спуррит — 2(2CaO SiO ₂)· CaSO ₄	7,68	10	2,704	10	1,954	20
	5,676	10	2,605	40	1,889	50
	5,319	10	2,561	50	1,836	15
	4,559	25	2,476	10	1,819	10
	4,073	20	2,403	10	1,806	10
	3,939	30	2,380	5	1,776	15
	3,490	30	2,353	5	1,755	20
	3,336	45	2,281	20	1,699	15
	3,190	65	2,227	10	1,688	10
	3,118	30	2,199	10	1,612	10
	3,035	30	2,169	20	1,561	5
	2,981	35	2,078	10	1,529	15
	2,838	100	2,060	15	-	-
	2,736	10	2,017	20	-	-
3CaO·Fe ₂ O ₃ · 3CaSO ₄ · 32H ₂ O	7,43	1	2,98	10	2,06	4
	4,71	4	2,73	1	1,89	4
	4,30	1	2,65	3	1,84	5
	3,85	3	2,45	4	1,61	1
	3,60	1	2,26	5	1,51	3
	3,41	1	2,19	4	1,40	2
Стронций — Sr	3,50	100	2,14	20	1,74	20
	3,03	60	1,83	100	-	-
SrO	2,97	100	1,55	43	1,182	29
	2,58	86	1,485	14	1,151	14
	1,82	71	1,290	14	1,050	29

SrF ₂	3,37	100	1,68	5	1,189	20
	2,91	5	1,455	10	1,121	15
	2,06	100	1,336	15	1,029	5
	1,75	50	1,302	5	0,979	10
SrCO ₃	3,53	100	2,18	8	1,90	16
	2,56	8	1,05	40	1,81	32
	2,45	40	1,98	8	-	-
Sr(NO ₃) ₂	4,50	100	2,24	100	1,50	17
	3,91	33	1,94	17	1,376	17
	3,48	33	1,78	17	1,315	17
	3,18	33	1,75	17	-	-
	2,35	100	1,58	17	-	-
SrO-SiO ₂	5,07	18	2,07	68	1,603	13
	3,07	65	1,914	33	1,527	17
	3,37	38	1,783	10	1,460	17
	2,92	100	1,759	3	1,350	5
	2,53	17	1,686	17	1,307	17
2SrO SiO ₂	4,87	20	2,55	40	2,01	60
	4,02	50	2,37	50	1,90	10
	3,61	10	2,29	80	1,87	50
	3,28	70	2,21	40	1,82	60
	2,97	50	2,16	60	1,77	60
	2,81	100	2,04	40	1,70	50
	-	-	-	-	1,66	60
3SrO Al ₂ O ₃	5,6	4	3,25	2	2,13	7
	5,4	5	2,92	5	1,99	11
	4,4	2	2,81	100	1,81	1
	4,3	5	2,51	4	1,77	3
	3,98	2	2,39	2	1,74	1
	3,49	4	2,29	7	1,62	20
	-	-	-	-	1,40	6
3SrO SiO ₂	3,61	6	1,89	4	1,56	9
	2,97	35	1,81	15	1,55	4
	2,90	100	1,77	6	1,52	10
	2,69	15	1,70	7	1,49	4
	2,45	25	1,69	3	1,46	3
	2,34	55	1,66	14	1,38	3
	2,19	25	1,59	12	1,34	5

SrO·Al ₂ O ₃	6,07	5	2,46	12	1,90	7
	4,42	48	2,42	16	1,86	11
	4,00	9	2,21	20	1,67	6
	3,90	13	2,19	14	1,63	6
	3,83	13	2,15	14	1,60	13
	3,14	100	2,10	17	1,58	5
	3,04	88	2,03	5	1,57	7
	2,98	76	2,01	8	1,56	8
	2,56	33	1,95	16	1,53	14
	2,55	72	1,92	21	1,48	12
	-	-	-	-	1,47	7
SrO·6Al ₂ O ₃	4,71	10	2,39	3	1,72	10
	4,42	16	2,35	2	1,61	4
	3,66	20	2,29	27	1,58	31
	2,78	44	2,20	19	1,54	59
	2,75	24	2,11	65	1,52	4
	2,70	9	2,01	38	1,46	3
	2,63	100	1,85	52	1,39	43
	2,48	95	1,81	2	1,35	2
	2,41	5	1,74	2	-	-
5SrO·Al ₂ O ₃	5,11	3	2,75	11	2,04	2
	4,98	3	2,56	2	1,96	12
	4,29	3	2,49	3	1,70	7
	3,92	2	2,42	2	1,69	4
	3,35	3	2,34	5	1,63	11
	2,89	100	2,31	5	1,61	8
	2,84	4	2,15	12	1,44	4
	2,79	17	2,07	2	1,34	5
SrO·CeO ₂	5,29	3	1,740	3	1,383	2
	2,99	100	1,718	22	1,245	10
	2,38	3	1,668	2	1,166	5
	2,26	8	1,537	17	1,153	5
	2,11	33	1,501	7	1,128	12
	1,795	7	1,457	2	1,086	5
	-	-	-	-	1,020	7
SrO·TiO ₂	2,76	100	1,589	30	1,173	2
	2,25	10	1,376	23	1,122	3
	1,944	30	1,230	18	1,041	15
SrO·ZrO ₂	2,90	100	1,667	67	1,293	24
	2,04	40	1,446	27	1,180	3
	-	-	-	-	1,094	27

SrO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	6,44	34	2,55	65	1,916	3
	5,77	11	2,47	5	1,895	11
	4,55	16	2,40	9	1,872	7
	4,11	8	2,34	9	1,846	7
	3,75	38	2,31	9	1,834	7
	3,58	21	2,22	11	1,794	11
	3,47	21	2,19	12	1,784	19
	3,43	68	2,16	8	1,744	7
	3,27	100	2,10	7	1,657	6
	3,22	100	2,06	11	1,621	9
	2,97	46	2,04	11	1,564	10
	2,89	26	1,965	3	1,505	7
	2,74	35	1,929	3	1,491	13
	-	-	-	-	-	-
6SrO·9Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	5,60	21	2,40	12	1,89	15
	4,49	26	2,37	7	1,87	7
	3,03	100	2,32	11	1,85	10
	2,97	79	2,30	16	1,80	10
	2,94	74	2,25	5	1,78	11
	2,91	47	2,21	9	1,57	21
	2,82	29	2,16	28	1,56	21
	2,79	58	2,04	17	1,48	13
	2,75	32	2,02	49	1,47	11
	2,56	11	1,96	7	1,46	8
	2,45	30	1,92	17	1,40	11
	-	-	-	-	1,38	8
2SrO·MgO· 2SiO ₂	5,68	32	2,590	24	2,000	10
	5,18	5	2,539	36	1,946	15
	4,35	5	2,462	12	1,915	8
	4,02	9	2,366	10	1,891	12
	3,82	23	2,280	10	1,822	14
	3,59	9	2,225	5	1,795	27
	3,17	45	2,175	7	1,778	10
	2,950	100	2,100	43	1,727	5
	2,838	7	2,050	7	1,586	5
	-	-	-	-	1,555	15
2SrO·Al ₂ O ₃ · SiO ₂	5,53	5	2,625	24	1,953	7
	5,24	5	2,488	10	1,891	10
	3,90	5	2,471	14	1,838	10
	3,80	15	2,370	3	1,798	22
	3,48	4	2,329	5	1,779	10
	3,13	22	2,234	3	1,746	7
	2,914	100	2,179	5	1,736	7
	2,753	2	2,100	31	1,672	4
	-	-	-	-	1,568	22
SrLaAl ₃ O ₇	5,59	6	2,181	10	1,743	8
	5,24	16	2,174	10	1,562	34
	3,82	19	2,096	43	1,411	8
	3,53	12	1,967	8	1,306	7

	3,15 2,923 2,614 2,489 2,354 2,249	22 100 37 19 9 6	1,912 1,897 1,858 1,800 1,761 1,753	9 14 10 30 6 10	1,198 1,157 0,9626 0,9275 - -	6 4 50 25 - -
$\text{SrGdAl}_3\text{O}_7$	5,13 3,76 3,50 3,11 2,889 2,571 2,480 2,451	23 12 13 20 100 20 15 18	2,438 2,325 2,238 2,226 2,068 1,952 1,896 1,841	15 8 18 18 40 14 5 9	1,779 1,738 1,537 1,497 1,394 0,9508 0,9132 -	36 8 15 5 8 50 25 -
SrYAl_3O_7	5,12 3,75 3,70 3,49 3,09 2,871 2,742 2,555 2,453	8 20 15 8 16 100 5 25 18	2,425 2,417 2,305 2,269 2,216 2,052 1,945 1,882 1,831	18 18 10 5 10 37 10 7 10	1,766 1,724 1,527 1,487 1,387 1,373 1,278 0,9497 0,9114	35 10 25 7 15 2 4 50 25
$\text{SrNdGa}_3\text{O}_7$	3,87 3,20 2,961 2,833 2,642 2,536 2,524 2,393	14 23 100 8 33 33 30 3	2,128 2,002 1,945 1,938 1,888 1,824 1,791 1,778	10 10 5 5 10 47 5 6	1,581 1,543 1,430 1,415 1,335 1,324 0,9764 0,9395	22 8 18 9 6 5 30 15
SrGd_2O_4	3,01 2,94 2,88 2,54 2,37	68 100 73 20 12	2,34 2,23 2,08 2,04 1,728	17 13 45 47 42	1,716 1,692 1,681 1,647 1,603	28 40 30 20 15
SrSm_2O_4	3,00 2,93 2,897 2,878 2,791 2,544 2,378	У. Ку. Ку. Кз. Ж.ж.кз. Ж.кз. Ж.ж.кз.	2,345 2,231 2,078 2,041 1,862 1,855 1,796	Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ку У.ку. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз.	1,751 1,727 1,717 1,696 1,681 1,651 -	У. Ку. Ку. У. У.ку. Кз. -

Беловит — (Sr,Ce,Na, Ca) ₁₀ [PO ₄] ₆ (OH,O) ₂	3,56	3	1,843	7	1,209	3
	3,28	5	1,830	7	1,184	3
	3,15	6	1,787	7	1,166	1
	2,87	10	1,560	2	1,158	3
	2,78	7	1,509	4	1,148	4
	2,31	3	1,494	4	1,132	4
	2,19	1	1,467	2	1,105	3
	2,14	3	1,316	5	1,070	6
	1,998	8	1,306	5	1,064	3
	1,943	7	1,275	6	1,037	8
	1,900	8	1,252	6	1,010	4
Анкилит — Sr ₂ LaCe (H ₂) ₂ [CO ₃] ₄ (OH) ₂	4,40	5	2,95	8	1,318	5
	3,79	10	2,35	6	1,207	5
	-	-	-	-	-	-
Лимпрофил- лит- Sr ₂ (Na ₃ Ti) Ti ₂ (Si ₂ O ₇) ₂ O ₂ F	3,17	10	2,12	5	1,59	3
	2,75	9	1,76	3	1,44	3
	-	-	-	-	-	-
Витчит — Sr ₃ B ₁₆ O ₂₇ · 5H ₂ O	10,3	10	2,76	1	1,932	6
	5,64	6	2,69	1	1,859	2
	5,12	6	2,59	8	1,832	1
	4,46	4	2,52	2	1,797	2
	4,40	6	2,39	6	1,757	4
	3,47	4	2,20	6	1,673	1
	3,32	9	2,147	4	1,650	1
	3,19	4	2,078	6	1,583	2
	2,98	4	2,033	6	1,534	2
	2,86	6	1,992	2	1,506	2
Барий — Ва	3,55	100	1,451	5	1,026	1
	2,513	20	1,343	14	0,986	6
	2,051	40	1,185	5	0,917	2
	1,776	18	1,124	4	0,861	8
	1,590	12	1,072	3	-	-
BaO	3,20	100	1,380	10	0,975	5
	2,75	88	1,265	20	0,933	10
	1,95	75	1,231	25	0,920	5
	1,66	50	1,128	15	-	-
	1,59	25	1,060	5	-	-

Ba(OH)_2	5,77	8	2,75	14	1,818	6
	5,20	6	2,71	25	1,729	6
	4,70	25	2,55	20	1,670	20
	4,38	12	2,46	30	1,600	10
	4,03	40	2,32	30	1,515	14
	3,59	25	2,16	10	1,488	2
	3,39	100	2,05	20	1,440	10
	3,19	14	2,00	6	1,391	6
	3,02	10	1,945	30	-	-
	2,94	18	1,895	18	-	-
BaF_2	3,58	100	1,420	32	1,031	3
	3,09	25	1,382	18	0,978	6
	2,19	100	1,262	32	0,944	3
	1,86	80	1,190	20	0,933	2
	1,78	15	1,095	5	0,866	3
	1,55	15	1,045	15	0,859	2
	-	-	-	-	0,827	5
BaCO_3	4,56	9	2,749	3	2,150	28
	4,45	4	2,656	11	2,104	12
	3,72	100	2,628	24	2,048	10
	3,68	53	2,590	23	2,019	21
	3,215	15	2,281	6	1,940	15
	2,025	4	2,226	2	1,859	3
$\text{BaCa(CO}_3)_2$	3,96	50	2,14	30	1,642	13
	3,16	100	1,998	30	1,568	13
	2,54	40	1,940	25	1,505	3
$\text{BaO} \cdot \text{SO}_2$	4,20	63	2,08	45	1,490	5
	3,44	100	1,99	10	1,380	5
	3,20	75	1,77	10	1,320	5
	2,75	63	1,69	10	1,260	5
	2,33	35	1,59	5	1,182	5
$\text{BaO} \cdot \text{SO}_3$	4,35	20	2,31	10	1,58	10
	3,89	25	2,20	15	1,52	25
	3,57	10	2,10	100	1,465	7
	3,44	63	2,04	10	1,420	20
	3,31	35	1,92	5	1,255	18
	3,10	63	1,85	15	1,190	8
	2,83	40	1,74	8	1,093	13
	2,72	45	1,67	15	1,028	5
	2,47	15	1,63	8	-	-

BaCrO ₄	4,50	11	1,97	1	1,380	7
	4,00	27	1,91	17	1,350	3
	3,54	40	1,80	10	1,325	3
	3,19	83	1,71	33	1,288	13
	2,90	33	1,66	11	1,250	4
	2,78	27	1,62	11	1,225	5
	2,53	8	1,56	23	1,170	8
	2,37	7	1,50	5	1,120	10
	2,25	7	1,450	13	1,055	4
	2,16	100	1,410	3	-	-
BaO·TiO ₂	4,03	12	2,019	12	1,786	7
	3,99	25	1,997	37	1,642	15
	2,830	100	1,802	6	1,634	35
	2,314	46	1,790	8	1,419	12
	-	-	-	-	1,412	10
BaO·Al ₂ O ₃	4,0468	Кз.	1,6768	Ў.	1,3023	Ў.
	3,1560	Ку.	1,6731	Ў.	1,2748	Ку.
	2,6084	Ку.	1,6386	Кз.	1,2509	Ж.кз.
	2,5008	Кз.	1,5890	Ку.	1,2485	Кз.
	2,4539	Ж.кз.	1,5719	Ў.	1,2399	Ку.
	2,2570	Кз.	1,5042	Ў.	1,2383	Кз.
	2,2421	Ў.	1,4728	Ж.кз.	1,2266	Кз.
	2,9970	Ў.	1,4624	Ж.кз.	1,2224	Кз.
	2,1829	Ж.кз.	1,4218	Ж.кз.	1,2028	Ку.
	2,0065	Ў.	1,3909	Ў.	-	-
	1,9724	Ў.	1,3841	Кз.	-	-
	1,9453	Кз.	1,3451	Ў.	-	-
BaO·CeO ₂	3,44	1	1,794	50	1,174	30
	3,10	100	1,552	15	1,098	2
	2,18	35	1,389	20	1,034	10
	2,10	4	1,269	8	0,980	8
BaO·6Al ₂ O ₃	4,74	57	3,02	15	2,23	25
	4,44	59	2,79	85	2,13	67
	4,09	11	2,70	84	2,04	45
	3,68	27	2,51	100	1,992	11
	3,32	27	2,42	15	1,760	15
	3,09	12	2,30	20	-	-
3BaO·Al ₂ O ₃	4,12	34	2,47	5	2,15	7
	3,78	10	2,38	23	2,06	25
	3,06	9	2,31	6	1,944	4
	2,91	100	2,20	5	1,841	12
Паст ҳароратли форма BaO·SiO ₂	5,082	Ж.кз.	1,747	Ку.	1,119	Кз.
	3,682	Ку.	1,654	Кз.	1,096	Кз.
	3,470	Ж.ж.кз.	1,573	Кз.	1,075	Ж.кз.
	3,305	Ж.кз.	1,512	Кз.	1,053	Ж.кз.
	2,999	Ж.ку.	1,404	Кз.	1,033	Ж.кз.
	2,600	Ў.	1,355	Ку.	1,011	Ку.
	2,349	Ў.	1,305	Ж.ж.кз.	0,961	Ку.

	2,135 1,980 2,854	Ж.ку. Ку. Кз.	1,270 1,238 1,209	Ж.ж.кз. Ку. Кз.	0,943 0,916 0,902 0,890	Ж.ж.кз. Ў. Ж.ж.кз. Ж.ж.кз.
Юқори ҳароратли форма — BaO·SiO ₂	3,637 3,354 3,070 2,789 2,660 2,326 2,280	Ў. Ку. Ў. Кз. Кз. Ў. Ў.	2,205 2,070 2,017 1,883 1,836 1,747 1,687	Ў. Ў. Ў. Ку. Кз. Ж.ж.кз. Кз.	1,598 1,561 1,524 1,501 1,463 1,421 —	Кз. Кз. Кз. Кз. Кз. Ж.ж.кз. —
Юқори ҳароратли форма — BaO·2SiO ₂	6,66 5,49 4,66 4,09 3,95 3,86 3,84 3,75 3,51 —	50 12 16 16 100 20 39 38 45 —	3,39 3,34 3,30 3,23 3,17 3,13 3,11 3,07 2,83 —	14 29 44 63 33 60 85 47 27 —	2,77 2,74 2,58 2,34 2,32 2,24 2,20 2,19 2,15 2,11	34 65 17 11 20 42 63 81 25 8
Паст ҳароратли форма — BaO·2SiO ₂	6,75 5,05 3,95 3,80 3,71 3,41 3,33 3,26	25 23 100 41 32 66 73 44	3,22 3,09 2,77 2,72 2,70 2,56 2,39 2,32	50 92 34 50 43 14 10 13	2,22 2,16 2,12 2,02 1,986 1,916 1,901 —	36 36 41 25 15 14 15 —
2BaO·SiO ₂	4,16 3,39 3,12 3,08 3,00	21 64 26 24 93	2,91 2,88 2,41 2,38 2,23	100 62 39 34 25	2,11 2,09 2,01 1,963 1,895	24 32 11 17 20
2BaO·3SiO ₂	4,38 3,87 3,75 3,66 3,27 3,24 —	6 12 100 56 52 48 —	3,10 2,77 2,75 2,38 2,34 2,26 —	31 37 34 6 27 25 —	2,22 2,20 2,13 2,07 2,03 1,973 1,911	19 13 37 14 7 13 13
5BaO·8SiO ₂	6,85 5,99 4,287 3,795 3,735 3,264 3,209	11 13 31 78 89 100 56	3,099 2,852 2,820 2,778 2,761 2,345 2,265	38 11 22 78 40 18 27	2,224 2,195 2,173 2,141 2,071 1,984 1,906	27 18 31 13 18 22 18

Ba LaGa ₃ O ₇	3,93	17	2,035	14	1,564	8
	3,64	8	1,974	14	1,528	4
	3,245	28	1,940	10	1,509	4
	3,01	100	1,920	20	1,455	27
	2,880	16	1,863	56	1,440	6
	2,622	29	1,817	10	1,356	5
	2,573	44	1,805	12	1,345	5
	2,167	16	1,610	26	-	-
Ba Nd Ga ₃ O ₇	3,90	16	2,148	12	1,597	20
	3,62	7	2,022	5	1,549	8
	3,22	30	1,962	8	1,446	14
	2,995	100	1,910	11	1,431	5
	2,863	6	1,846	38	1,384	5
	2,670	33	1,810	6	1,347	5
	2,551	30	1,797	8	-	-
Цинк-Zn	2,472	30	1,172	70	0,859	30
	2,293	10	1,152	5	0,827	10
	2,077	100	1,121	40	0,773	20
	1,684	20	1,088	5	0,756	10
	1,339	100	1,044	10	0,737	20
	1,332	100	0,947	20	0,717	5
	1,235	5	0,910	20	0,703	5
ZnO	2,816	71	1,301	3	0,9555	1
	2,602	56	1,225	5	0,9382	4
	2,476	100	1,1812	3	0,9069	12
	1,911	29	1,0929	10	0,8826	6
	1,626	40	1,0639	4	0,8675	1
	1,477	35	1,0422	10	0,8369	6
	1,407	6	1,0158	5	0,8290	2
	1,379	28	0,9848	4	0,8237	2
	1,359	14	0,9764	7	0,8125	5
ZnO ₂	2,81	60	1,467	40	1,088	6
	2,43	100	1,405	10	0,993	4
	1,721	36	1,116	8	0,936	6
ZnCO ₃	3,54	66	1,698	80	1,202	3
	2,73	100	1,486	40	1,179	10
	2,32	33	1,405	40	1,100	8
	2,10	27	1,367	5	1,069	13
	1,937	40	1,338	27	1,050	4
	1,769	13	1,248	3	-	-

ZnO AL ₂ O ₃	4,67 2,861 2,438 2,335 2,021	3 84 100 1 8	1,855 1,650 1,556 1,429 1,367	10 24 40 43 1	1,278 1,233 1,219 1,1670 1,1322	6 9 1 1 1
ZnO B ₂ O ₃	5,29 3,74 3,048 2,364 2,158	6 3 100 23 1	1,997 1,869 1,761 1,672 1,594	20 13 38 2 3	1,526 1,466 1,364 1,321 1,282	25 5 8 4 3
ZnO Cr ₂ O ₃	2,92 2,50 2,40 2,07 1,692	48 100 3 10 25	1,597 1,465 1,312 1,266 1,199	50 60 5 8 1	1,110 1,082 1,037 - -	7 12 4 - -
Кадмий — Cd	2,80 2,58 2,34 1,89 1,51 1,486	40 30 100 20 25 18	1,400 1,310 1,286 1,252 1,228 1,170	3 27 2 20 2 3	1,060 1,020 0,959 0,921 0,863 0,821	5 4 10 2 4 2
CdO	2,712 2,349 1,661 1,416	100 88 43 28	1,355 1,1742 1,0772 1,0499	13 5 9 13	0,9584 0,9036 0,8300 -	11 9 5 -
CdCO ₃	3,77 2,94 2,46 2,23 2,06 1,88 1,83 1,58	80 100 50 3 45 33 80 40	1,50 1,470 1,419 1,355 1,295 1,260 1,230 1,190	17 5 15 5 5 17 5 8	1,142 1,120 1,022 0,976 0,942 0,880 - -	8 8 8 7 7 7 - -
Cd(OH) ₂	4,70 3,02 2,55 1,86 1,74 1,63	100 63 100 40 30 30	1,51 1,440 1,400 1,271 1,165 1,139	13 20 20 15 7 8	1,110 1,090 1,028 1,005 0,980 0,925	13 3 10 3 4 5
CdSO ₄	4,93 3,74	50 14	2,30 2,11	22 8	1,630 1,559	24 8

	3,57	100	2,06	8	1,525	6
	3,21	26	1,948	2	1,465	6
	3,10	4	1,860	4	1,444	6
	2,51	60	1,773	4	1,407	4
	2,43	6	1,717	10	1,329	8
	2,38	50	1,682	8	1,269	4
	-	-	-	-	1,169	4
CdO-WO ₃	5,9	25	2,93	50	1,76	13
	5,0	38	2,53	75	1,53	25
	3,80	100	1,91	38	1,465	13
	3,05	100	1,81	38	1,410	13
Синюб - Hg	2,771	80	1,379	20	1,035	10
	2,255	10	1,235	20	0,943	10
	1,750	60	1,125	10	-	-
	1,474	40	1,085	10	-	-
HgO	2,96	100	1,468	38	1,103	5
	2,83	75	1,440	20	1,079	3
	2,75	38	1,413	8	1,050	3
	2,40	75	1,378	5	1,026	3
	1,81	63	1,200	13	0,982	3
	1,75	8	1,187	10	0,943	3
	1,64	15	1,161	5	-	-
	1,60	10	1,148	3	-	-
HgSO ₄	3,90	100	2,25	17	1,80	17
	3,40	50	2,13	17	1,64	17
	3,26	17	2,04	33	1,53	17
	3,01	33	1,99	33	1,477	17
	2,81	33	1,93	17	1,381	17
	2,37	33	1,84	17	1,304	17
Hg ₂ SO ₄	4,42	63	2,73	10	1,89	25
	4,19	63	2,55	25	1,80	10
	3,61	10	2,37	10	1,73	15
	3,47	5	2,20	30	1,66	5
	3,11	10	2,08	30	1,62	5
	3,03	100	2,01	5	1,52	10
	2,85	5	1,96	10	-	-
Hg ₃ (PO ₄) ₂	4,01	71	2,85	43	2,05	14
	3,52	29	2,71	14	2,01	29
	3,19	29	2,41	29	-	-
	3,01	100	2,12	14	-	-
Hg ₃ PO ₄	7,2	11	2,72	22	1,81	17
	6,3	22	2,60	100	1,77	17
	5,5	22	2,45	22	1,66	22
	4,83	44	2,28	44	1,62	11
	4,40	56	2,18	17	1,57	22
	3,85	44	2,12	22	1,52	22
	3,60	33	2,01	17	1,50	22
	3,48	44	1,94	22	1,440	22

	3,09 2,94	67 89	1,89 1,86	11 17	1,384 1,346	11 11
H_3BO_3	5,9 3,16 2,90 2,81 2,62	28 100 3 2 6	2,55 2,49 2,23 2,16 2,08	2 2 13 3 6	2,02 1,68 1,63 1,58 -	3 3 2 3 -
$B(OH)_3$	7,66 6,84 6,07 4,59 4,24 4,035 3,858 3,382 3,178 3,099	2 4 7 1 2 1 5 2 10 1	2,94 2,846 2,631 2,561 2,490 2,433 2,367 2,297 2,238 2,175	3 3 3 1 3 2 2 4 5 1	2,101 1,982 1,902 1,868 1,825 1,783 1,753 1,724 1,693 1,647	4 1 4 1 2 3 3 3 4 3
BPO_4	3,62 3,07 2,25 1,965 1,865 1,817	100 7 53 3 17 7	1,534 1,460 1,375 1,319 1,269 1,211	4 17 3 9 5 4	1,185 1,093 1,059 1,039 - -	5 4 3 4 - -
Сингалит — $BMgAlO_4$	4,93 3,97 3,73 3,43 3,24 2,82 2,62 2,46 2,38	7 5 2 1 9 1 9 2 7	2,30 2,14 1,93 1,868 1,801 1,764 1,705 1,621 1,576	7 10 2 2 1 1 4 10 1	1,534 1,514 1,420 1,384 1,360 1,340 1,320 - -	4 4 7 2 1 4 1 - -
Майергоф- ферит $B_6Ca_2O_{11}$ $7H_2O$	8,39 6,51 5,03 4,17	100 100 50 8	3,65 3,50 3,30 3,17	18 12 35 100	3,09 2,974 2,900 2,641	18 18 1 18
B_4C	4,00 3,79 3,39 2,57 2,38 2,03	5 15 100 23 38 38	1,81 1,69 1,54 1,50 1,450 1,400	3 3 3 3 5 5	1,320 1,260 1,230 1,158 - -	5 3 5 5 - -

Алюминий- Al	2,33	100	1,219	30	0,928	4
	2,02	40	1,168	7	0,905	4
	1,430	30	1,011	2	0,826	1
	-	-	-	-	0,778	1
Корунд- α -Al ₂ O ₃	3,479	72	1,1898	6	0,9345	3
	2,552	92	1,1601	1	0,9178	2
	2,379	41	1,1470	4	0,9076	12
	2,085	100	1,1382	1	0,9052	3
	1,740	41	1,1255	5	0,8991	16
	1,601	83	1,0988	6	0,8804	4
	1,546	7	1,0831	3	0,8698	2
	1,510	2	1,0781	7	0,8580	12
	1,404	38	1,0426	13	0,8502	4
	1,374	42	1,0175	1	0,8303	22
	1,276	6	0,9976	11	0,8137	4
	1,239	16	0,9819	2	0,8075	11
	-	-	-	-	-	-
Юқори ҳароратли γ -Al ₂ O ₃	2,86	6	1,988	50	1,440	3
	2,72	25	1,937	19	1,389	100
	2,595	19	1,790	6	1,285	3
	2,445	41	1,596	6	1,235	3
	2,290	31	1,533	9	1,176	3
	2,160	6	1,497	13	1,134	9
Паст ҳароратли γ -Al ₂ O ₃	2,39	19	1,520	6	0,882	6
	2,275	13	1,396	100	0,806	6
	1,975	72	1,139	13	-	-
	1,862	6	0,987	6	-	-
ν -Al ₂ O ₃	2,835	41	1,900	41	1,400	25
	2,710	50	1,794	13	1,386	100
	2,570	3	1,734	3	1,289	6
	2,445	50	1,605	3	1,258	3
	2,300	41	1,536	25	1,231	3
	2,245	31	1,479	13	1,108	3
	2,015	50	1,449	19	-	-
χ -Al ₂ O ₃	3,03	13	2,115	41	1,483	9
	2,80	19	2,001	3	1,435	41
	2,71	13	1,900	3	1,390	100
	2,57	41	1,868	19	1,340	13
	2,43	19	1,638	19	1,308	9
	2,325	25	1,600	3	1,264	3
	2,245	3	1,548	3	-	-
	-	-	-	-	-	-
Гидрат- гилит (гиб- сит)- Al ₂ O ₃ · 3H ₂ O	4,82	10	1,798	8	1,298	1
	4,34	6	1,747	8	1,248	2
	3,512	2	1,686	8	1,235	1
	3,317	2	1,657	2	2,215	4
	3,184	2	1,639	1	2,195	3

	3,080	1	1,458	9	1,183	2
	2,451	8	1,441	4	1,145	3
	2,378	10	1,408	4	1,124	3
	2,288	1	1,401	2	1,110	3
	2,153	6	1,380	2	1,084	3
	2,044	8	1,360	4	1,039	1
	1,992	8	1,337	2	1,024	3
	1,919	6	1,316	2	-	-
Байерит — $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	4,79	10	2,22	10	1,60	1
	4,34	10	2,00	1	1,55	2
	3,19	4	1,89	2	1,44	3
	2,47	2	1,77	1	1,39	3
	2,37	3	1,72	7	1,33	4
	2,26	1	1,65	1	1,21	2
Глинозем гидрати- диапор- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4,690	2	1,630	10	1,283	3
	3,988	6	1,605	3	1,262	2
	3,249	1	1,567	2	1,240	2
	2,554	6	1,517	2	1,221	2
	2,313	6	1,477	8	1,201	4
	2,130	8	1,426	3	1,176	2
	2,072	8	1,400	3	1,171	4
	1,887	1	1,372	6	1,144	2
	1,792	2	1,337	2	1,091	3
	1,707	4	1,325	2	-	-
	1,673	2	1,300	3	-	-
Глинозем гидрати- Бемит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6,2	6	1,577	2	1,221	2
	3,6	8	1,521	6	1,206	2
	2,344	10	1,452	8	1,175	4
	1,975	3	1,430	4	1,156	4
	1,849	10	1,379	5	1,131	6
	1,766	3	1,306	10	1,113	3
	1,646	7	1,248	2	1,026	2
$\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$	3,52	100	2,77	7	1,76	13
	2,98	7	2,11	10	1,58	10
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	7,0	20	3,60	50	2,36	75
	6,8	30	3,43	10	2,30	10
	6,3	50	3,25	50	2,25	10
	5,7	63	3,10	10	2,18	25
	5,3	5	3,01	75	2,12	5
	4,90	30	2,90	20	2,07	10
	4,50	40	2,77	10	2,03	20
	4,05	100	2,59	63	2,95	20
	3,78	40	2,52	40	1,88	25

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	5,396	33	2,112	42	1,414	8
	3,423	100	1,869	42	1,392	33
	3,368	100	1,833	33	1,327	50
	2,893	5	1,678	58	1,306	8
	2,687	50	1,597	50	1,272	50
	2,546	83	1,568	25	1,254	33
	2,284	17	1,518	83	-	-
	2,204	100	1,441	50	-	-
Мулит - $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	5,413	50	2,208	100	1,523	83
	3,423	100	2,123	50	1,455	17
	3,386	100	1,882	25	1,441	42
	2,888	42	1,839	33	1,404	8
	2,693	75	1,690	50	1,335	25
	2,546	83	1,597	50	1,276	33
	2,296	33	1,580	17	1,260	33
	-	-	-	-	-	-
Кюлин - γ -форма $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ $2\text{H}_2\text{O}$	7,2	80	2,56	48	1,80	8
	4,45	80	2,50	48	1,67	40
	4,30	64	2,34	80	1,54	16
	4,20	48	1,99	32	1,490	56
	4,04	32	1,90	8	1,310	8
	3,59	100	1,85	8	1,289	16
	-	-	-	-	1,240	16
	-	-	-	-	-	-
Диксит- β - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7,24	10	1,885	5	1,292	5
	4,99	2	1,872	3	1,262	3
	4,48	6	1,793	3	1,240	3
	4,18	4	1,659	8	1,110	3
	3,59	8	1,564	4	1,079	3
	2,597	5	1,498	5	1,035	4
	2,534	5	1,461	4	-	-
	2,347	8	1,323	7	-	-
Накрит- α - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7,15	10	2,416	10	1,676	4
	4,42	8	2,305	2	1,618	4
	4,16	6	2,100	6	1,489	8
	3,59	10	1,980	5	1,466	4
	3,38	4	1,922	6	1,372	6
	3,07	4	1,788	6	1,318	1
	2,540	6	1,740	2	1,282	2
	-	-	-	-	1,270	4

Монтморил- лонит- (Al, Mg) ₂ (OH) ₂ [Si ₄ O ₁₀] H ₂ O	6,30	Ж.кз.	3,06	У	1,71	У
	6,09	Ж.кз.	2,60	Ку.	1,67	У.
	5,49	Ж.кз.	2,45	Ж.кз.	1,55	Ж.кз.
	4,47	Ку.	2,22	Кз.	1,51	Ж.ку.
	4,05	Кз.	2,13	Кз.	1,29	Ку.
	3,78	Кз.	2,00	Кз.	1,25	Ку.
	3,42	У.	1,77	Кз.	-	-
Бейделлит- Al ₂ [Si ₄ O ₁₀] (OH) ₂ ·nH ₂ O	9,09	Ж.кз.	3,53	Ку.	1,72	У. кз.
	8,15	Ж.кз.	3,28	Ж.кз.	1,67	Ку.
	6,96	Ж.кз.	2,58	Ку.	1,51	Ж.ку.
	5,76	Ж.кз.	2,36	У.	1,31	У. ку.
	4,45	Ку.	2,00	Ж.кз.	1,27	У.
Галлуазит (енделлит)- Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ ·4H ₂ O	11,50	Ж.ку.	3,21	Кз.	2,03	Ж.кз.
	8,06	Ж.кз.	2,69	Ж.кз.	1,92	Ж.кз.
	5,80	Кз.	2,58	Ку.	1,69	Ку.
	4,40	Ку.	2,49	У.	1,65	Ку.
	4,15	Ж.кз.	2,39	У.	1,50	Ж.ку.
	3,98	Кз.	2,32	У.	1,47	Ж.кз.
	3,50	У.	2,22	Ж.кз.	1,29	Ку.
	-	-	-	-	1,24	Ку.
Пирофил- лит- Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ ·H ₂ O	11,80	Ж.кз.	3,00	Кз.	1,76	Кз.
	10,50	Кз.	2,91	Ж.кз.	1,67	Ку.
	8,80	Ку.	2,72	Ж.кз.	1,65	У.
	6,38	Ж.кз.	2,60	У. Ку.	1,55	Ку.
	5,89	Ж.кз.	2,43	У.	1,51	Ку.
	5,52	Ж.кз.	2,40	У.	1,44	У.
	4,58	Ку.	2,11	Кз.	1,40	Ку.
	4,08	Ж.кз.	2,09	У.	1,38	У.
	3,52	Кз.	2,00	Ку.	1,37	У.
	3,33	Ку.	1,98	Ж.кз.	1,35	У.
	3,19	Кз.	1,91	Ж.кз.	1,32	У.
	3,08	Ж.ку.	1,85	Ку.	-	-
Галлий-Ga	3,831	28	1,2766	4	0,9706	7
	2,953	100	1,2475	20	0,9626	3
	2,925	50	1,2379	14	0,9515	1
	2,262	60	1,2276	5	0,9369	1
	1,996	85	1,2216	17	0,8986	4
	1,957	56	1,1928	15	0,8948	2
	1,947	17	1,1853	4	0,8923	4
	1,916	16	1,1302	5	0,8817	7
	1,789	21	1,1119	8	0,8802	7
	1,763	6	1,0866	3	0,8690	4
	1,599	11	1,0540	1	0,8654	3
	1,586	3	1,0496	3	0,8383	8
	1,476	3	1,0355	4	0,8376	4
	1,461	14	1,0111	2	0,8247	5

	1,406 1,404 1,391	9 8 4	0,9976 0,9775 0,9735	2 1 5	0,8179 0,8080 -	6 3 -
GaP	3,14 2,72 1,924 1,641	100 15 65 50	1,572 1,362 1,250 1,218	17 13 35 3	1,112 1,049 - -	15 8 - -
Ga ₂ O ₃	3,630 2,651 2,491 2,238 2,177 2,052 1,814 1,665	26 100 80 4 16 3 36 45	1,565 1,466 1,438 1,325 1,282 1,245 1,209 1,1696	9 33 30 4 11 9 4 4	1,1396 1,1266 1,0878 1,0366 1,0266 0,9738 0,9487 -	6 8 6 8 3 3 7 -
GaSb	3,520 3,048 2,156 1,838 1,759 1,524 1,399	100 11 67 44 3 11 17	1,363 1,244 1,1738 1,0776 1,0304 1,0158 0,9638	3 20 10 5 9 1 4	0,9294 0,9188 0,8796 0,8534 0,8452 0,8144 0,7936	5 1 2 5 1 7 7
Индий-In	2,72 2,46 2,29 1,68 1,62 1,462	100 25 40 30 15 20	1,395 1,355 1,144 1,088 1,055 1,040	30 15 2 10 2 2	1,025 0,980 0,948 0,905 0,888 -	2 2 6 2 2 -
In ₂ O ₃	4,11 2,91 2,69 2,51 2,37 2,25 2,142 1,973 1,843 1,780 1,729 1,677 1,634 1,593 1,552 1,519	12 100 2 24 6 2 7 13 4 49 4 4 7 4 8 42	1,260 1,242 1,225 1,205 1,189 1,175 1,158 1,129 1,115 1,103 1,088 1,065 1,042 1,031 1,021 1,009	6 7 3 2 2 6 14 9 8 2 5 5 4 9 4 2	0,9144 0,9003 0,8931 0,8792 0,8725 0,8666 0,8602 0,8538 0,8410 0,8418 0,8361 0,8306 0,8251 0,8196 0,8141 0,8038	5 6 2 3 3 2 2 6 2 3 5 2 2 4 3 4

	1,486 1,456 1,425 1,398 1,371 1,350 1,281	10 10 4 3 4 2 6	0,9899 0,9806 0,9720 0,9624 0,9457 0,9376 0,9292	7 2 8 6 8 8 5	0,7988 0,7939 0,7891 0,7844 0,7796 - -	4 2 8 2 5 - -
In Cl ₃	5,8 5,3 5,0 4,50 4,01 3,82 3,58 3,41 3,00 2,84	100 13 20 24 24 6 32 10 40 32	2,68 2,55 2,44 2,32 2,23 2,10 2,05 2,00 1,92 1,84	10 48 10 24 13 3 16 13 10 24	1,76 1,63 1,59 1,51 1,475 1,445 1,390 1,328 - -	8 11 3 3 3 6 6 6 - -
Таллий-П	3,00 2,75 2,62 2,02	40 23 100 23	1,73 1,56 1,460 1,445	29 29 23 17	1,158 1,105 1,074 0,962	11 17 6 6
П ₂ О ₃	4,304 3,042 2,816 2,635 2,484 2,357 2,248 2,149 2,068 1,924 1,863 1,808 1,758	11 100 3 42 6 2 4 1 8 3 33 2 1	1,710 1,668 1,628 1,589 1,554 1,522 1,491 1,462 1,434 1,409 1,339 1,318 1,298	5 2 4 27 6 6 3 1 3 2 3 3 4	1,279 1,2597 1,2428 1,2261 1,2094 1,1789 1,1646 1,1371 1,1110 1,0874 1,0764 1,0649 -	2 2 1 3 6 2 1 2 1 1 2 1 -
ТlNO ₃	5,60 4,88 4,40 4,01 3,259 3,145 3,080 3,048 2,962 2,612	4 2 68 31 5 28 34 10 100 3	2,495 2,474 2,442 2,426 2,293 2,199 2,118 2,066 2,004 1,984	5 24 29 6 1 17 3 2 9 8	1,951 1,939 1,928 1,835 1,824 1,778 1,754 1,745 1,691 1,688	10 2 14 4 14 9 13 1 6 7

П ₂ SO ₄	5,32	6	2,78	10	1,966	12
	5,17	9	2,664	1	1,957	3
	4,40	17	2,630	15	1,941	7
	4,32	28	2,533	26	1,926	17
	3,91	2	2,457	15	1,884	4
	3,67	14	2,321	12	1,873	1
	3,53	57	2,308	10	1,858	6
	3,266	26	2,200	9	1,837	7
	3,237	21	2,186	13	1,832	13
	3,154	53	2,181	12	1,802	7
	3,122	100	2,158	27	1,778	23
	3,045	88	2,103	9	1,767	4
	2,961	55	2,056	16	1,739	10
Скандий алюминати- Sc ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	2,842	29	2,241	5	1,7051	21
	2,687	100	2,138	7	1,6350	28
	2,359	21	2,004	9	1,4180	12
	2,265	5	1,8436	5	1,3990	5
3Sc ₂ O ₃ 5Ga ₂ O ₃	4,73	12	2,231	8	1,4890	10
	3,404	36	2,144	14	1,4839	49
	3,110	39	2,131	24	1,4447	54
	3,034	8	1,830	6	1,4328	11
	2,889	29	1,7905	52	1,4281	24
	2,878	100	1,7836	39	1,4158	42
	2,852	100	1,7077	46	1,3966	48
	2,653	88	1,6800	100	1,3640	9
	2,598	16	1,6017	52	1,3496	11
	2,486	11	1,5858	10	1,3466	11
	2,385	88	1,5793	28	1,3267	13
	2,365	90	1,5167	24	1,3048	18
	2,247	13	1,4933	10	-	-
Sc ₂ O ₃ Nb ₂ O ₅	5,77	10	3,002	100	2,550	40
	4,84	40	2,950	100	2,482	70
	3,79	40	2,828	40	2,404	40
	3,667	70	-	-	-	-
Тортвейтит - Sc ₂ [Si ₂ O ₇]	5,13	100	2,55	80	1,594	20
	4,57	5	2,17	30	1,572	10
	4,48	5	2,13	5	1,522	10
	4,29	5	2,09	10	1,509	20
	3,45	5	2,05	30	1,422	20
	3,36	10	1,932	10	1,358	40
	3,14	90	1,875	10	1,186	10
	3,12	100	1,700	40	1,174	5
	2,93	80	1,694	30	-	-
	2,60	30	1,646	30	-	-

Sc_2O_3 SiO_2	3,687	20	2,294	25	1,779	40
	3,439	20	2,182	10	1,647	25
	3,317	40	2,112	30	1,620	15
	2,980	60	2,097	35	1,526	10
	2,847	55	2,080	35	1,506	25
	2,792	100	2,060	20	1,463	15
	2,555	20	1,989	20	1,439	15
	2,436	10	1,926	30	-	-
Иттрий (III) оксид- Y_2O_3	4,31	14	1,933	5	1,562	11
	3,06	100	1,873	61	1,528	10
	2,646	31	1,816	3	1,498	4
	2,494	7	1,767	2	1,469	3
	2,366	2	1,718	8	1,442	6
	2,258	9	1,675	2	1,416	4
	2,160	2	1,634	8	-	-
	2,076	14	1,597	43	-	-
$\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	8,4	100	2,79	15	1,92	20
	5,7	60	2,61	20	1,89	10
	5,3	80	2,53	30	1,86	10
	4,65	20	2,39	20	1,83	10
	4,24	20	2,30	20	1,79	15
	3,91	20	2,22	10	1,76	15
	3,23	30	2,12	60	1,70	15
	3,04	15	2,05	15	1,65	10
	2,98	20	1,98	20	1,61	10
	2,92	20	1,95	10	1,54	10
$2\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	7,41	63	2,486	21	1,8426	80
	5,26	16	2,470	39	1,8298	85
	4,69	100	2,454	37	1,8164	81
	4,54	16	2,291	43	1,7921	32
	3,705	19	2,274	28	1,7317	32
	3,326	100	2,129	12	1,7235	61
	3,011	100	2,090	13	1,6279	27
	2,908	100	2,063	87	1,6236	20
	2,884	47	2,046	41	1,6126	23
	2,615	48	1,9811	16	1,5759	41
	2,559	64	1,9449	15	1,5661	45
	2,538	29	1,9163	12	1,5621	60
	2,523	61	1,9027	16	-	-
$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	6,01	15	3,11	60	2,580	15
	5,87	20	3,003	100	2,538	40
	4,03	10	2,916	45	2,410	20
	3,86	50	2,880	85	2,261	30
	3,64	10	2,772	30	2,187	35
	3,51	65	2,655	15	2,172	54
	3,34	15	2,625	15	2,041	10

Y ₂ O ₃ GeO ₂	5,93	15	2,973	75	2,300	25
	3,70	30	2,951	60	2,220	25
	3,59	35	2,826	100	2,208	30
	3,38	70	2,620	25	2,059	10
	3,16	10	2,547	40	-	-
	3,033	85	2,438	25	-	-
Лантан-La	3,23	100	1,61	20	1,23	30
	2,86	70	1,55	40	1,17	30
	2,27	50	1,52	10	1,11	30
	1,86	50	1,45	20	1,08	10
	1,70	20	1,36	20	0,98	30
La ₂ O ₃	3,41	34	1,642	17	1,1879	4
	3,063	31	1,532	3	1,1538	4
	2,980	100	1,490	5	1,1396	2
	2,278	58	1,398	2	1,1367	4
	1,968	63	1,309	7	1,0901	7
	1,753	52	1,289	2	1,0658	4
	1,705	4	1,261	12	1,0220	1
	1,656	24	1,209	6	0,9952	3
	-	-	-	-	-	-
La ₂ Ga ₂ BeO ₇	5,14	11	2,487	44	1,585	8
	3,765	20	2,064	22	1,557	8
	3,520	10	1,967	14	1,531	15
	3,130	32	1,909	8	1,400	18
	2,905	100	1,858	8	1,312	7
	2,755	24	1,781	50	1,268	7
	2,564	24	1,741	18	-	-
	-	-	-	-	-	-
La ₂ Ti ₃ O _{8,7}	3,980	15	1,751	10	1,177	10
	3,600	10	1,593	65	1,129	15
	2,770	100	1,382	40	1,083	5
	2,273	25	1,300	5	1,044	30
	1,954	70	1,233	35	-	-
Вайншенкит -(La,Nd)[PO ₄] 2H ₂ O	7,55	9	2,036	4	1,437	4
	5,22	4	2,005	1	1,408	1
	4,70	5	1,964	4	1,390	2
	4,20	10	1,927	1	1,344	4
	3,74	8	1,855	5	1,326	1
	3,01	9	1,820	4	1,317	1
	2,83	6	1,773	6	1,301	2
	2,61	5	1,755	5	1,249	4
	2,52	2	1,689	1	1,216	4
	2,47	2	1,640	5	1,197	1
	2,44	2	1,596	5	1,180	1
	2,37	4	1,557	1	1,160	1
	2,162	5	1,530	1	1,139	2
	2,083	1	1,503	2	1,125	1
	-	-	-	-	-	-

	2,059	4	1,489	2	1,118	5
Церий-α-Ce	2,97	100	1,481	28	1,049	8
	2,57	60	1,288	12	0,990	4
	1,815	40	1,179	16	0,910	4
	1,550	40	1,143	12		
CeO ₂	3,11	100	1,237	25	0,899	2
	2,69	25	1,207	16	0,853	4
	1,90	80	1,101	20	0,816	2
	1,62	60	1,037	18	0,756	4
	1,55	10	0,954	4	0,722	4
	1,347	10	0,912	14	0,703	2
CeCl ₃	8,6	12	3,82	30	2,30	8
	7,9	8	3,31	20	2,21	30
	6,8	100	3,17	12	2,08	2
	5,7	6	3,07	2	2,01	8
	5,3	30	2,83	12	1,93	8
	5,0	12	2,63	16	1,89	8
	4,50	16	2,53	4	1,82	4
	4,30	30	2,48	16	1,73	8
	3,99	25	2,38	10	-	-
Ce(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	11,5	24	4,39	100	2,53	48
	10,0	16	3,97	80	2,45	40
	8,7	16	3,80	48	2,41	32
	8,1	64	3,64	32	2,30	40
	6,8	80	3,35	64	2,25	40
	6,3	100	3,25	64	2,19	32
	5,8	64	3,00	32	2,11	64
	5,4	80	2,91	64	2,03	24
	5,2	48	2,84	64	2,00	16
	4,70	100	2,62	80	1,95	48
	-	-	-	-	1,86	32
Ce(SO ₄) ₂ ·4H ₂ O	6,8	13	2,98	7	2,05	7
	5,8	5	2,91	3	2,00	10
	5,4	3	2,82	10	1,88	3
	4,65	100	2,70	13	1,83	7
	4,41	13	2,60	7	1,76	5
	3,96	7	2,48	3	1,67	5
	3,69	7	2,39	3	1,62	5
	3,45	17	2,33	3	1,54	3
	3,33	3	2,23	3	-	-
	3,22	33	2,10	10	-	-

Ce ₂ SiO ₅	3,580	11	1,859	22	1,3105	18
	3,279	27	1,834	35	1,2836	27
	3,153	33	1,813	37	1,2625	25
	2,879	100	1,6856	11	1,2120	5
	2,790	25	1,6483	7	1,1932	5
	2,619	5	1,6380	9	1,1550	11
	2,557	5	1,5800	14	1,1412	5
	2,419	3	1,5660	14	1,0779	11
	2,300	11	1,5210	24	1,0672	9
	2,208	7	1,5097	20	1,0460	12
	2,147	11	1,4760	20	1,0309	7
	2,099	5	1,3943	5	1,0192	5
	2,006	31	1,3630	7	1,0068	7
	1,954	20	1,3450	9	-	-
	1,910	38	1,3235	12	-	-
Ce ₂ Si ₂ O ₇	3,760	6	1,8930	24	1,2798	27
	3,353	100	1,8300	57	1,2595	24
	3,258	24	1,7260	27	1,2355	21
	3,138	21	1,6656	33	1,2058	9
	3,067	24	1,6120	15	1,1688	27
	2,842	27	1,5770	12	1,1577	21
	2,684	36	1,5500	18	1,1290	18
	2,657	36	1,5157	15	1,1193	18
	2,506	24	1,4728	6	1,1045	12
	2,395	12	1,4558	9	1,0823	15
	2,297	6	1,4256	15	1,0700	24
	2,175	33	1,4058	9	1,0531	21
	2,156	39	1,3770	21	1,0412	9
	2,1196	18	1,3560	18	1,0052	12
	2,0260	69	1,3240	21	-	-
	1,9330	21	1,2955	15	-	-
CeO _{1.6} ·2TiO ₂	3,282	95	2,170	30	1,4368	15
	3,208	100	1,965	25	1,4058	15
	3,097	55	1,896	55	1,3850	15
	2,938	45	1,803	55	1,3440	20
	2,783	15	1,763	45	1,2378	30
	2,680	30	1,690	45	1,2174	15
	2,611	20	1,673	55	1,1787	15
	2,518	30	1,620	65	1,1646	20
	2,373	15	1,569	50	1,1038	25
	2,196	25	1,470	30	1,0423	25
Ce ₂ Ti ₃ O _{8.7}	3,90	10	1,743	10	1,172	10
	3,503	10	1,583	55	1,123	10
	2,752	100	1,372	30	1,080	5
	2,243	20	1,294	5	1,039	30
	1,934	65	1,228	25	-	-

Ce AlO ₃	3,75	1	1,34	4	1,01	5
	2,64	5	1,26	4	0,910	2
	2,20	4	1,20	5	0,887	4
	1,90	4	1,14	3	0,864	2
	1,70	2	1,10	2	0,841	4
	1,55	5	1,05	2	-	-
Ce ₂ O ₃	3,408	20	1,642	45	1,2018	20
	3,016	100	1,630	45	1,1810	10
	2,930	90	1,524	30	1,1476	35
	2,257	40	1,480	15	1,1330	10
	1,947	35	1,3898	15	1,0832	20
	1,735	65	1,3010	20	1,0587	15
	1,685	5	1,2535	20	1,0167	10
Ce ₂ O ₃ 11Al ₂ O ₃	3,67	20	1,81	10	1,230	20
	2,76	45	1,71	25	1,185	10
	2,62	85	1,575	60	1,160	10
	2,47	70	1,538	100	1,143	15
	2,28	30	1,459	5	1,120	15
	2,20	35	1,388	35	1,107	16
	2,12	65	1,349	5	1,080	10
	2,00	55	1,316	35	1,042	35
	1,85	15	1,288	5	1,032	35
Ce ₂ Zr ₂ O ₇	6,23	3	1,614	80	1,0926	40
	3,23	5	1,545	30	1,0302	45
	3,10	100	1,501	2	0,9463	20
	2,68	42	1,390	2	0,9359	2
	2,46	10	1,338	20	0,9047	30
	2,20	3	1,304	3	0,8923	20
	2,060	4	1,226	54	0,8462	15
	1,893	90	1,197	38	0,8160	10
	1,811	10	1,172	4	0,8068	10
Цералит — (Ce ⁴⁺ , Ca ²⁺)· Al ³⁺ (O ²⁻ , F ¹⁻) ₃	3,7	1	1,38	1	0,936	1
	2,9	2	1,32	4	0,909	2
	2,61	5	1,24	4	0,885	4
	2,16	4	1,20	5	0,861	2
	2,06	2	1,13	3	0,838	4
	1,85	4	1,11	2	0,816	2
	1,66	2	1,08	2	0,802	2
	1,52	5	1,04	2	-	-
	1,48	1	1,00	5	-	-
Nd ₂ O ₃	3,30	30	1,453	20	1,041	10
	2,99	30	1,367	10	0,974	20
	2,90	100	1,278	20	0,960	20
	2,22	30	1,229	20	0,914	10
	1,916	40	1,183	20	0,890	10
	1,714	50	1,156	10	0,868	10
	1,616	40	1,131	20	0,838	10
	1,598	30	1,107	10	0,832	10
	1,502	10	1,064	20	-	-

$\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	7,66 6,88 5,14 5,01 4,76 4,56 4,42	100 20 30 15 5 10 15	4,19 4,05 4,02 3,74 3,46 3,38 3,24	10 5 15 5 10 20 40	3,18 3,16 3,10 3,07 2,95 2,83 -	10 50 25 5 10 15 -
NdAlO_3	3,74 2,64 2,15 1,86	40 100 43 55	1,66 1,53 1,33 1,32	33 61 23 25	1,25 1,09 - -	48 5 - -
$\text{Nd}(\text{OH})_3$	7,89 3,93 3,46 3,38 3,16 2,970	60 100 20 55 25 70	2,614 2,084 1,993 1,906 1,876 1,774	80 30 30 5 30 10	1,640 1,582 1,565 1,553 1,364 1,303	15 15 5 5 5 5
NdCl_3	6,08 3,47 2,85 2,59 2,25 2,18 2,00 1,96 1,92 1,77	20 75 75 100 4 30 50 1 7 25	1,73 1,59 1,56 1,50 1,453 1,420 1,390 1,353 1,313 1,270	30 50 15 10 6 13 1 2 7 8	1,248 1,230 1,202 1,190 1,124 1,103 1,080 1,060 1,050 -	6 10 1 6 4 7 8 7 7 -
$\text{Nd}_2\text{Ti}_3\text{O}_{17}$	3,900 3,488 2,733 2,240 1,931	10 10 100 25 50	1,728 1,578 1,368 1,289 1,220	10 65 30 5 25	1,168 1,118 1,072 1,034 -	5 10 5 35 -

Европий (III) Оксид — Eu ₂ O ₃ (куб)	4,43	50	1,716	10	1,298	50
	3,133	100	1,675	50	1,280	20
	2,711	90	1,636	80	1,262	60
	2,557	50	1,601	60	1,246	70
	2,425	20	1,566	60	1,214	70
	2,312	50	1,536	40	1,200	20
	2,214	10	1,506	10	1,185	20
	2,127	70	1,477	50	1,172	60
	1,982	40	1,451	20	1,145	60
	1,918	80	1,379	40	1,121	60
	1,860	30	1,357	60	1,109	70
	1,806	10	1,337	60	-	-
	1,760	50	1,317	40	-	-
Eu ₂ O ₃ (моноклин)	5,91	30	2,310	60	1,736	20
	4,988	10	2,268	40	1,704	80
	3,989	40	2,201	60	1,670	50
	3,408	50	2,175	30	1,660	30
	3,268	30	2,140	80	1,654	60
	3,176	80	2,054	10	1,640	20
	3,034	80	1,975	10	1,615	30
	2,965	100	1,923	80	1,592	20
	2,882	70	1,876	30	1,579	60
	2,832	80	1,859	20	1,549	60
	2,768	80	1,814	10	1,538	60
	2,652	20	1,798	60	1,526	60
	2,517	20	1,760	50	1,522	30
EuO	4,87	20	2,309	20	1,753	2
	4,01	50	2,294	25	1,705	8
	3,32	10	2,291	40	1,663	18
	3,26	70	2,207	6	1,640	16
	2,995	35	2,152	8	1,629	18
	2,940	16	2,126	20	1,621	25
	2,862	100	2,039	25	1,581	4
	2,824	80	2,010	25	1,562	14
	2,807	100	1,906	6	1,520	8
	2,718	4	1,873	6	1,500	4
	2,549	12	1,836	6	1,483	2
	2,428	4	1,824	14	1,458	4
	2,386	12	1,780	12	1,433	6

Eu ₃ O ₄	5,05	2	2,225	2	1,678	18
	3,86	8	2,079	14	1,647	2
	3,35	4	2,076	12	1,602	2
	3,18	6	2,043	12	1,572	2
	3,01	70	2,015	2	1,559	2
	2,934	100	1,984	2	1,527	4
	2,895	50	1,866	10	1,513	2
	2,872	14	1,847	4	1,507	8
	2,795	10	1,748	4	1,503	6
	2,551	16	1,725	20	1,491	4
	2,375	6	1,717	8	1,468	8
	2,337	4	1,693	6	1,433	2
	2,324	6	1,681	20	1,404	2
	-	-	-	-	1,102	32
Eu (OH) ₃	5,52	70	1,733	6	1,194	10
	3,18	55	1,589	2	1,189	2
	3,05	100	1,585	14	1,171	2
	2,757	20	1,527	4	1,114	4
	2,399	6	1,524	4	1,099	2
	2,202	50	1,410	8	1,051	8
	2,083	6	1,374	6	1,039	2
	1,837	16	1,295	8	1,004	8
	1,828	20	1,262	2	1,002	10
	1,810	35	1,201	10	-	-
3Eu ₂ O ₃ 5Ga ₂ O ₃	5,063	14	1,6874	4	1,1323	8
	4,384	6	1,6573	35	1,1049	4
	3,314	8	1,5749	6	1,0962	6
	3,099	30	1,5504	14	1,0713	2
	2,773	100	1,3866	10	1,0336	4
	2,531	45	1,3534	18	1,0196	6
	2,432	4	1,3374	4	1,0128	4
	2,264	10	1,3224	8	1,0060	8
	2,192	4	1,2796	2	0,9867	4
	2,012	12	1,2531	2	0,9627	1
	1,829	2	1,2162	2	0,9349	6
	1,790	14	1,1827	2	0,9244	10
	1,7196	30	1,1517	18	0,9194	1
	-	-	-	-	0,9142	6
Eu ₂ O ₃ ·Al ₂ O ₃	3,72	70	1,668	70	1,245	20
	3,30	40	1,631	60	1,243	70
	2,63	100	1,522	100	1,228	50
	2,489	40	1,492	20	1,183	30
	2,245	20	1,387	50	1,181	50
	2,151	70	1,323	20	1,179	90
	2,066	20	1,319	80	1,168	70
	1,862	70	1,303	30	1,166	60
	1,810	50	1,283	10	-	-
	1,712	10	1,260	30	-	-

Eu ₂ O ₃ · 11Al ₂ O ₃	2,76	42	2,095	59	1,563	31
	2,73	35	2,066	39	1,529	61
	2,617	100	1,994	39	1,516	45
	2,602	24	1,851	25	1,452	14
	2,469	66	1,722	18	1,395	21
	2,355	17	1,699	18	1,385	48
	2,264	24	1,658	21	1,309	28
	2,137	36	1,589	34	1,234	24
	-	-	-	-	1,224	21
EuCa Al ₃ O ₇	5,46	8	2,38	21	1,75	50
	5,09	15	2,29	12	1,68	9
	3,71	35	2,28	8	1,64	12
	3,46	5	2,18	12	1,52	44
	3,08	40	2,14	9	1,48	9
	2,86	100	2,04	33	1,45	9
	2,76	15	1,98	12	1,42	9
	2,54	9	1,92	24	1,38	35
	2,44	24	1,86	24	1,31	15
	2,41	21	1,82	12	1,28	9
	-	-	-	-	1,24	12
EuS	3,26	80	1,33	70	0,909	10
	2,94	100	1,22	70	0,920	50
	2,10	80	1,15	60	0,898	40
	1,80	60	1,05	20	0,861	10
	1,70	50	1,01	40	0,836	60
	1,49	50	0,997	50	0,828	60
	1,37	50	0,941	50	0,799	80
Галатиний (III)—Оксид Gd ₂ O ₃	5,900	3	2,961	100	2,258	5
	3,965	4	2,868	50	2,195	20
	3,396	10	2,820	75	2,131	45
	3,155	70	2,752	75	1,915	40
	3,028	60	2,308	10	1,784	25
3Gd ₂ O ₃ · Ga ₂ O ₃	4,53	20	2,301	15	1,7672	17
	4,11	13	2,241	17	1,7184	17
	3,204	14	2,199	13	1,6808	17
	3,054	100	2,032	39	1,6450	24
	3,025	57	2,005	30	1,5788	24
	2,990	27	1,9918	15	1,5456	17
	2,908	22	1,9027	15	1,5276	25
	2,824	29	1,8349	32	-	-
	2,630	17	1,8097	14	-	-
	-	-	-	-	-	-
Gd ₃ Ga ₂ (GaO ₄) ₃	5,05	16	2,77	100	1,53	40
	-	-	-	-	1,65	3

$Gd_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,880	70	1,916	40	1,453	70
	3,831	10	1,890	50	1,426	20
	3,461	80	1,827	50	1,416	10
	2,810	70	1,757	20	1,380	40
	2,725	100	1,741	10	1,365	70
	2,677	70	1,720	80	1,346	30
	2,636	50	1,700	10	1,337	40
	2,304	30	1,659	30	1,282	20
	2,268	40	1,604	50	1,272	70
	2,200	50	1,583	50	1,266	20
	2,134	50	1,558	20	1,230	20
	2,083	10	1,553	90	1,226	70
	1,936	70	1,544	40	1,223	40
Иттербий(III) -Оксид Yb_2O_3	4,23	8	2,042	16	1,572	52
	2,997	100	1,901	5	1,538	13
	2,775	3	1,843	57	1,504	17
	2,606	30	1,787	3	1,474	7
	2,453	7	1,739	7	1,444	4
	2,327	2	1,691	11	1,418	8
	2,217	8	1,647	3	1,395	5
	2,127	3	1,609	10	-	-
$2Yb_2O_3$ Al_2O_3	3,26	37	2,026	26	1,548	18
	2,95	100	1,827	15	1,537	27
	2,86	77	1,797	29	1,521	12
	2,567	24	1,778	31	1,478	10
	2,481	17	1,667	22	1,463	8
	2,241	14	1,565	15	-	-
$3Yb_2O_3$ $5Al_2O_3$	4,18	19	1,752	18	1,265	15
	3,20	30	1,712	22	1,223	17
	3,16	21	1,644	56	1,166	16
	2,92	31	1,616	21	1,104	52
	2,64	100	1,585	53	1,085	16
	2,414	29	1,485	30	1,051	16
	2,155	24	1,326	14	0,887	40
	1,914	59	1,295	39	0,8118	33
YbB_{12}	4,30	100	1,320	6	0,972	18
	3,725	85	1,262	20	0,9336	2
	2,636	50	1,244	20	0,9123	4
	2,249	90	1,181	6	0,9056	4
	2,153	30	1,139	10	0,8801	10
	1,865	13	1,126	4	0,8623	6
	1,712	30	1,078	2	0,8566	2
	1,669	20	1,046	6	0,8350	2
	1,523	20	1,035	4	0,8198	10
	1,437	12	0,998	8	0,8149	10
	-	-	-	-	0,7962	4

Карбон - С (Алмаз)	2,05	100	0,558	15	0,409	8
	1,26	50	0,538	6	0,397	5
	1,072	40	0,507	3	0,389	8
	0,885	10	0,496	8	0,378	5
	0,813	25	0,473	20	0,372	5
	0,721	40	0,462	15	0,363	7
	0,680	20	0,442	5	0,358	20
	0,625	10	0,432	3	-	-
	0,597	20	0,417	12	-	-
С-(Графит)	3,38	100	1,150	9	0,796	1
	2,12	5	1,120	1	0,707	1
	2,02	10	1,049	1	0,695	1
	1,69	10	1,991	3	-	-
	1,227	18	0,828	1	-	-
Эвенкит - $C_{21}H_{48}$	9,36	1	2,245	8	1,571	1
	4,66	5	2,150	3	1,515	4
	4,183	10	2,124	6	1,460	2
	3,744	9	2,079	3	1,426	2
	3,348	1	2,015	3	1,386	3
	3,024	5	1,914	5	1,299	4
	2,783	3	1,866	3	1,243	4
	2,627	1	1,751	6	1,214	4
	2,515	7	1,718	1	1,116	4
	2,461	2	1,658	5	1,102	2
	2,415	4	1,623	3	1,026	3
Кертисит - $C_{24}H_{18}O$	18,1	10	5,62	7	3,78	5
	9,4	1	5,06	10	3,42	10
	8,4	5	4,59	5	-	-
	6,23	2	4,09	9	-	-
$[C_2O_4]Ca \cdot H_2O$	5,95	100	2,497	20	1,850	1
	5,81	5	2,455	1	1,848	1
	4,53	5	2,422	1	1,826	1
	3,773	5	2,388	1	1,818	1
	3,652	90	2,357	80	1,794	1
	3,414	1	2,262	20	1,737	1
	3,321	1	2,213	5	1,693	1
	3,105	5	2,135	1	1,644	1
	3,002	1	2,076	10	1,588	1
	2,971	50	1,978	5	1,552	1
	2,906	10	1,955	5	1,528	1
	2,842	10	1,930	5	1,505	1
	2,639	1	1,891	5	1,480	1
	-	-	-	-	1,458	1

Кремний — Si	3,138	100	1,246	13	0,9178	11
	1,920	60	1,1083	17	0,8586	9
	1,638	35	1,0450	9	0,8281	5
	1,357	8	0,9599	5	-	-
β — кварц SiO ₂	4,25	25	1,66	8	1,180	8
	3,35	100	1,54	20	1,155	1
	2,45	15	1,450	2	1,080	4
	2,29	10	1,375	25	1,048	2
	2,23	6	1,299	4	1,035	1
	2,12	9	1,256	3	1,015	1
	1,97	8	1,228	3	-	-
	1,82	25	1,200	6	-	-
α — кварц SiO ₂	4,43	60	1,85	90	1,277	60
	3,42	100	1,71	40	1,225	40
	2,55	60	1,57	80	1,296	60
	2,30	40	1,421	80	1,190	40
	2,22	60	1,393	80	1,113	20
	2,05	60	1,292	60	1,105	20
	-	-	-	-	1,044	20
γ — тридимит SiO ₂	4,30	100	2,305	11	1,399	7
	4,08	33	2,080	5	1,360	3
	3,81	67	1,840	3	1,305	4
	3,43	1	1,690	8	1,244	3
	3,21	1	1,635	4	1,192	5
	2,96	17	1,598	4	1,153	3
	2,80	3	1,530	5	1,097	1
	2,49	27	1,439	3	-	-
α — триди- мит-SiO ₂	4,39	10	2,07	2	1,394	5
	4,12	10	1,95	5	1,371	2
	3,73	9	1,88	2	1,336	2
	3,23	5	1,77	2	1,305	5
	2,94	5	1,69	7	1,243	2
	2,77	2	1,62	5	1,226	2
	2,49	7	1,591	5	1,196	6
	2,28	5	1,528	7	1,153	5
	2,11	2	1,432	5	1,096	2
Юқори ҳароратли кристобалит- SiO ₂	4,15	100	1,793	5	1,209	30
	2,92	5	1,688	5	1,130	20
	2,53	80	1,639	60	1,089	5
	2,17	10	1,469	50	1,029	5
	2,07	30	1,379	20	1,000	10
	1,99	5	1,265	30	0,956	10
					0,929	10

Паст	4,04	100	1,692	3	1,345	1
ҳароратли	3,138	12	1,642	1	1,336	1
β — кристо-	2,845	14	1,612	5	1,301	2
балит-	2,489	18	1,604	2	1,282	2
SiO ₂	2,468	6	1,574	1	1,235	1
	2,342	1	1,535	2	1,224	1
	2,121	4	1,495	3	1,207	1
	2,024	3	1,432	2	1,1842	2
	1,932	4	1,423	1	1,1762	1
	1,874	4	1,401	1	1,1659	1
	1,756	1	1,368	1	1,1556	1
	1,736	1	1,353	1	1,1112	1
	-	-	-	-	1,0989	3
Китилт-	7,46	10	2,516	5	1,667	5
SiO ₂	5,64	5	2,246	5	1,636	5
	5,28	5	2,174	5	1,589	5
	4,50	20	2,148	5	1,562	5
	3,72	70	2,067	5	1,489	5
	3,42	100	1,988	5	1,441	5
	3,33	20	1,879	5	1,412	5
	3,11	20	1,864	10	1,389	5
SiC	2,51	100	1,087	6	0,768	2
	2,17	20	0,998	18	0,735	6
	1,54	63	0,972	6	0,724	2
	1,310	50	0,887	13	0,688	3
	1,255	5	0,837	10	0,663	1
ZrSi ₂	7,372	Ж.кз.	1,821	У.	1,228	У.
	3,682	Кз.	1,639	Ку.	1,204	Ж.кз.
	3,600	Кз.	1,615	Кз.	0,915	Кз.
	3,279	Ку.	1,589	Кз.	0,908	Ж.кз.
	2,960	Кз.	1,527	У.	0,888	У.
	2,563	Ку.	1,509	Ж.кз.	0,874	Кз.
	2,456	У.	1,473	У.	0,868	У.
	2,299	Ж. ку.	1,434	У.	0,857	Ж.кз.
	2,039	У.	1,386	Кз.	0,854	У.
	1,953	Кз.	1,303	У.	0,850	Кз.
	1,841	У.	1,259	Кз.	0,843	У.
Германий —	3,266	100	1,298	10	0,956	11
Ge	2,000	57	1,155	17	0,895	6
	1,706	39	1,089	7	0,863	4
	1,414	7	1,000	3	0,817	2
	-	-	-	-	0,792	8
GeO ₂	4,31	20	1,87	25	1,386	8
	3,41	100	1,71	12	1,339	10
	2,48	14	1,62	2	1,301	2
	2,35	25	1,56	25	1,277	10
	2,28	16	1,495	8	1,248	2
	2,15	20	1,445	4	1,228	6
	2,00	2	1,410	25	-	-

GeJ ₄	6,95	4	2,5679	3	1,5047	4
	5,384	8	2,3605	4	1,3812	7
	4,918	12	2,1286	35	1,3466	6
	3,4740	100	1,8148	27	1,2287	5
	3,0104	41	1,7652	3	1,1585	3
	2,6270	4	1,7378	7	-	-
Ge ₇ B ₄ O ₁₂	4,24	Ү	1,798	Ү	1,431	Ү
	3,26	Ku.	1,704	Ү	1,404	Ү
	2,76	Ku.	1,661	Ү	1,335	Ү
	2,59	Ү	1,619	Ү	1,296	Ү
	2,12	Ү	1,548	Ү	1,258	Kз.
	2,04	Ү	1,514	Kз.	-	-
	1,915	Kз.	1,486	Ү	-	-
GeO ₂ · 2ZnO	4,10	60	1,58	60	1,17	20
	3,54	80	1,55	60	1,14	40
	2,89	100	1,50	10	1,11	40
	2,69	100	1,44	100	1,08	10
	2,38	80	1,42	20	1,07	20
	2,04	40	1,38	80	1,05	10
	1,96	40	1,36	80	1,02	60
	1,87	100	1,28	20	1,01	20
	1,73	40	1,25	20	0,998	20
	1,66	40	1,22	40	0,983	10
	1,63	60	1,19	40	-	-
7GeO ₂ 2Fe ₂ O ₃	3,342	80	2,036	50	1,470	30
	3,077	60	1,859	40	1,427	80
	3,037	100	1,735	10	1,364	10
	2,960	90	1,692	60	1,335	10
	2,602	70	1,650	60	1,289	10
	2,518	90	1,601	10	1,255	10
	2,324	10	1,575	20	-	-
	2,260	10	1,549	70	-	-
Қалай — α- Sn	3,751	100	1,325	21	0,9895	4
	2,294	83	1,249	11	0,9365	3
	1,956	53	1,1470	6	0,9087	7
	1,622	12	1,0968	10	0,8671	13
	1,489	20	1,0260	9	0,8490	12
β - Sn	2,91	100	1,450	20	0,980	3
	2,79	80	1,298	16	0,927	6
	2,05	32	1,200	20	0,885	2
	2,01	80	1,092	11	0,847	3
	1,65	24	1,040	8	0,805	2
	1,480	24	1,022	6	-	-

SnO	4,85	10	1,225	4	0,9674	1
	2,989	100	1,209	3	0,9507	3
	2,688	37	1,202	4	0,9371	3
	2,418	14	1,1747	6	0,9056	4
	2,039	1	1,1697	8	0,8988	4
	1,901	13	1,1520	1	0,8824	5
	1,797	27	1,1026	4	0,8524	4
	1,604	25	1,0766	6	0,8503	4
	1,494	11	1,0303	4	0,8405	6
	1,484	12	1,0201	3	0,8062	1
	1,382	3	0,9965	1	0,8020	1
	1,344	5	0,9852	1	0,8002	1
SnO ₂	3,34	100	1,412	15	1,035	2
	2,64	63	1,315	6	0,948	8
	2,36	18	1,213	10	0,929	1
	1,75	63	1,180	2	0,905	4
	1,67	10	1,150	6	0,880	4
	1,58	5	1,110	3	0,845	2
	1,492	10	1,085	8	-	-
	1,435	10	1,057	3	-	-
Sn ₃ (PO ₄) ₂	6,9	7	2,68	27	1,90	17
	6,1	3	2,48	27	1,77	33
	4,39	33	2,39	17	1,71	7
	3,98	100	2,30	20	1,65	7
	3,42	20	2,06	3	1,482	7
	3,11	100	2,01	13	1,445	8
	2,78	20	1,96	17	-	-
Кургошин — Рб	2,85	100	1,490	50	1,105	17
	2,47	50	1,428	17	-	-
	1,74	50	1,134	17	-	-
РбО (сарик)	5,893	6	2,278	1	1,724	15
	3,067	100	2,203	1	1,640	13
	2,946	31	2,008	12	1,596	1
	2,744	28	1,963	2	1,534	9
	2,493	1	1,850	14	1,514	2
	2,377	20	1,797	14	1,474	11
РбО (қизил)	5,018	5	1,872	37	1,282	2
	3,115	100	1,675	24	1,256	3
	2,809	62	1,558	6	1,226	4
	2,510	18	1,542	11	1,219	5
	2,124	1	1,438	2	1,1977	1
	1,988	8	1,405	5	1,1462	2

PbO ₂	3,49	100	1,56	20	1,145	8
	2,78	100	1,51	24	1,125	8
	2,46	28	1,480	24	1,000	12
	1,84	100	1,390	12	0,948	4
	1,74	20	1,268	16	-	-
	1,68	8	1,210	8	-	-
Pb ₃ O ₄	3,35	100	1,58	14	2,47	30
	2,88	43	1,51	14	2,41	46
	2,76	43	1,405	14	2,35	29
	2,62	28	2,89	55	2,05	22
	1,95	14	2,84	65	1,95	56
	1,89	28	2,80	31	1,89	10
	1,82	28	2,74	68	1,87	24
	1,74	43	2,64	38	1,84	15
	1,62	14	2,60	42	-	-
PbCO ₃	4,427	17	2,522	20	1,859	21
	4,255	7	2,487	32	1,847	8
	3,593	100	2,213	7	1,796	4
	3,498	43	2,129	2	1,750	2
	3,074	24	2,081	27	1,693	1
	2,893	2	2,009	11	1,642	2
	2,644	2	1,981	9	1,632	6
	2,589	11	1,933	19	1,615	2
2PbO·ZnO 2SiO ₂	5,26	50	2,12	35	1,489	5
	4,01	20	1,943	18	1,432	10
	3,85	20	1,928	8	1,336	8
	3,58	35	1,887	14	1,331	8
	3,19	75	1,868	8	1,302	12
	2,96	100	1,823	40	1,296	8
	2,83	15	1,777	20	1,285	10
	2,63	30	1,752	6	1,232	10
	2,53	25	1,575	16	1,219	10
	2,28	8	1,562	15	1,192	8
	2,20	8	1,533	8	-	-
PbO·TiO ₂	3,83	4	1,73	1	1,18	5
	3,54	2	1,64	4	1,15	5
	3,01	1	1,59	9	1,12	2
	2,81	10	1,51	1	1,096	2
	2,74	6	1,41	5	1,080	9
	2,45	1	1,38	4	1,057	9
	2,28	8	1,35	1	1,044	9
	2,05	2	1,33	5	1,012	2
	2,01	1	1,29	5	1,000	2
	1,93	7	1,23	3	-	-

Pb ₃ [AsO ₄ PO ₄] ₃ Cl	4,36	1	2,96	10	1,94	6
	4,13	4	2,91	8	1,91	6
	3,67	1	2,24	4	1,88	6
	3,38	4	2,08	8	1,84	6
	3,28	6	2,03	4	-	-
	3,00	10	1,97	6	-	-
PbFe ₂ [AsO ₄] ₂ (OH) ₂	6,01	6	3,04	6	2,31	1
	4,59	6	2,96	8	1,91	6
	4,52	1	2,81	6	1,81	6
	4,18	6	2,73	6	1,73	1
	3,52	8	2,55	10	1,68	1
	3,31	1	2,46	4	1,61	4
	3,24	10	2,45	4	-	-
	3,07	6	2,32	1	-	-
Дюфтит — PbCu[AsO ₄] (OH)	5,01	2	3,17	10	2,26	5
	4,76	1	2,94	1	2,08	4
	4,18	6	2,91	8	1,861	7
	4,00	1	2,63	9	1,745	6
	3,78	2	2,52	2	1,635	8
	3,51	2	2,42	2	1,584	4
	3,32	1	2,32	1	1,559	4
Титан-Тi	2,556	40	1,336	50	1,065	20
	2,341	40	1,249	40	0,989	30
	2,241	100	1,233	30	0,942	30
	1,728	40	1,176	10	0,917	30
	1,477	40	1,125	10	0,880	10
TiO ₂ (анатаз)	3,52	100	1,480	24	1,045	3
	2,37	24	1,362	8	0,950	2
	1,88	40	1,335	8	0,913	2
	1,70	28	1,262	11	0,894	2
	1,66	24	1,164	6	-	-
TiO ₂ (рутил)	3,24	80	1,449	20	0,903	2
	2,49	60	1,355	30	0,890	8
	2,29	4	1,245	4	0,875	4
	2,19	30	1,170	8	0,843	2
	2,05	12	1,147	4	0,832	4
	1,69	100	1,091	8	0,822	4
	1,62	30	1,040	8	-	-
	1,485	20	0,964	4	-	-
TiO ₂ (брукит)	3,46	6	2,45	8	1,681	10
	3,22	10	2,17	4	1,619	6
	2,87	6	1,881	4	1,356	8
Браннерит- UTi ₂ O ₆	3,42	10	2,276	7	1,623	6
	3,32	6	1,903	8	-	-
	2,455	7	1,861	6	-	-

Титанит- CaTi(SiO ₄)O	3,21	9	1,647	8	1,110	7
	2,97	7	1,498	8	-	-
	2,59	10	1,135	7	-	-
Циркелит- CaZrTi ₂ O ₇	2,96	10	2,53	2	1,752	3
	2,83	3	1,817	3	-	-
Ческинит- Ce ₄ (Fe, Ti) ₃ [TiO ₄] ₂ [SbO ₇] ₂	3,156	8	2,702	10	2,163	8
	2,850	7	2,600	5	1,960	8
Эвксенит- Y(Nb, Ta, Ti) ₂ (O, OH) ₆	3,66	5	2,43	4	1,723	5
	2,98	10	1,823	5	1,487	5
Цирконий — Zr	2,798	33	1,287	4	0,9474	2
	2,573	32	1,2296	4	0,9327	3
	2,459	100	1,1689	3	0,9003	5
	1,894	17	1,0842	4	0,8771	3
	1,616	17	1,0588	2	0,8577	1
	1,463	18	1,0360	6	0,8292	2
	1,399	3	1,0063	3	0,8201	2
	1,368	18	0,9783	2	-	-
	1,350	12	0,9660	4	-	-
ZrO ₂	5,1	5	1,81	40	1,330	8
	3,69	24	1,70	20	1,307	3
	3,19	100	1,66	24	1,270	12
	2,85	80	1,62	5	1,219	5
	2,63	32	1,59	6	1,167	6
	2,55	16	1,55	24	1,113	6
	2,34	8	1,51	8	1,036	4
	2,21	24	1,486	16	1,001	6
	2,01	16	1,426	16	-	-
	1,85	32	1,363	5	-	-
ZrO ₂ SiO ₂	4,434	45	1,651	14	1,1672	2
	3,302	100	1,547	4	1,1079	5
	2,650	7	1,495	3	1,1006	5
	2,518	45	1,477	8	1,0682	1
	2,336	10	1,381	10	1,0590	7
	2,217	8	1,362	7	1,0506	7
	2,066	20	1,290	5	1,0442	5
	1,908	14	1,259	8	1,0015	1
	1,751	11	1,248	3	0,9745	5
	1,712	40	1,1883	11	0,9713	5

$Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$	9,6 6,9 6,1 5,2 4,73 4,21 3,64 3,49 3,25 3,03	100 100 5 10 50 18 20 15 38 10	2,56 2,43 2,33 2,17 2,13 2,07 1,98 1,91 1,81 1,74	18 15 15 15 15 13 13 8 10 8	1,70 1,64 1,59 1,55 1,51 1,476 1,390 1,360 1,295 1,228	5 10 3 3 3 3 3 3 3 3
Гфний — Нг	2,768 2,531 2,428 1,866 1,599 1,440 1,385 1,351	27 34 100 16 14 16 2 16	1,336 1,256 1,214 1,1303 1,0697 1,0464 1,0247 0,9917	12 4 3 3 4 1 6 5	0,9671 0,9502 0,9336 0,8991 0,8668 0,8428 0,8168 0,8060	2 5 3 5 4 1 2 3
HfO_2	5,07 3,68 3,61 3,15 2,82 2,59 2,52 2,48 2,32 2,196 2,171 2,006 1,981 1,838 1,807 1,794 1,768	30 40 30 100 100 60 50 20 50 60 30 40 40 60 60 20 30	1,684 1,653 1,634 1,600 1,580 1,533 1,501 1,486 1,467 1,439 1,410 1,352 1,318 1,299 1,295 1,263 1,256	50 60 40 40 30 50 40 40 50 20 50 20 40 10 30 10 20	1,237 1,203 1,172 1,160 1,153 1,143 1,134 1,121 1,108 1,099 1,084 1,070 1,049 1,039 1,025 - -	10 30 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 - -

$HfOCl_2 \cdot 8H_2O$	12,1 8,51 7,03 6,03 5,39 4,74 4,57 4,42 4,27 4,138 4,027 3,855 3,818	100 20 65 10 8 2 2 6 2 6 50 12 12	3,676 3,512 3,418 3,444 3,168 3,120 3,068 3,017 2,926 2,842 2,806 2,781 2,736	14 2 18 2 12 30 2 18 6 6 4 2 8	2,712 2,636 2,536 2,542 2,517 2,447 2,412 2,375 2,340 2,325 2,289 2,259 2,242	2 2 4 8 2 4 2 4 4 2 2 10 6
NH_4F	3,85 3,59 3,39 2,62 2,22	100 60 60 20 60	2,02 1,88 1,490 1,450 1,420	40 16 4 2 2	1,340 1,270 1,240 - -	4 2 4 - -
NH_4Cl	3,85 2,72 2,22 1,92 1,72	15 100 2 12 8	1,57 1,370 1,288 1,221 1,165	25 5 3 7 1	1,115 1,033 0,912 0,864 -	1 4 1 1 -
NH_4NO_3	4,93 3,95 3,09 2,86 2,72 2,47 2,38	40 50 100 5 75 13 10	2,25 2,10 1,97 1,83 1,78 1,73 1,63	75 5 5 5 6 5 9	1,57 1,51 1,495 1,463 1,430 - -	10 10 10 15 5 - -
$(NH_4)HSO_4$	4,75 3,90 3,69 3,15 3,06 2,84 2,61	100 83 100 40 40 40 100	2,43 2,35 2,24 2,18 2,11 2,01 1,95	27 7 13 13 20 7 27	1,87 1,80 1,66 1,62 1,58 1,493 -	7 20 13 13 7 27 -
$(NH_4)_2AlF_6$	4,85 4,20 2,969 2,535 2,423 2,100 1,928 1,879	100 66 50 25 83 100 2 3	1,717 1,614 1,485 1,420 1,329 1,269 1,213 1,189	1 83 50 33 17 1 2 33	1,166 1,123 1,093 0,991 0,970 0,940 0,895 -	4 17 17 3 8 3 3 -

(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	6,6	58	2,48	30	1,82	25
	5,1	100	2,33	18	1,50	10
	3,77	16	2,05	25	1,465	10
	3,37	83	2,00	10	1,425	10
	3,04	40	1,92	10	1,350	7
	2,77	27	1,87	10	1,290	7
Фосфор- Р-қизил	4,22	100	3,24	60	2,32	30
	3,64	60	2,59	60	-	-
Фосфор- Р-қора	5,24	30	1,75	20	1,270	10
	3,36	80	1,640	80	1,249	20
	2,62	60	1,618	70	1,200	30
	2,56	100	1,483	20	1,180	10
	2,25	20	1,400	40	1,156	40
	2,19	10	1,364	10	1,067	40
	2,11	10	1,330	10	1,062	50
	1,80	20	1,300	10	-	-
P ₂ O ₅	5,4	100	2,00	1	1,357	1
	5,2	53	1,95	23	1,335	3
	3,72	4	1,79	3	1,299	7
	3,39	11	1,75	1	1,266	3
	3,27	33	1,69	1	1,252	3
	3,15	20	1,67	2	1,236	3
	3,02	53	1,63	1	1,210	1
	2,57	8	1,59	1	1,185	3
	2,43	17	1,56	1	1,155	1
	2,32	8	1,52	4	1,140	1
	2,24	33	1,485	5	1,124	2
	2,11	3	1,428	3	1,099	1
	2,06	3	1,401	3	1,084	1
PCl ₅	6,7	3	2,78	100	1,79	5
	5,8	13	2,44	20	1,67	3
	4,98	100	2,32	10	1,60	13
	4,69	75	2,19	10	1,57	5
	3,98	20	2,08	5	1,472	5
	3,66	5	2,01	15	1,420	5
	3,47	15	1,94	13	1,300	3
	2,95	50	1,86	3	1,212	3
	2,87	25	1,82	3	-	-

(PNCL ₂) ₄	7,63	39	2,88	6	2,12	8
	5,25	26	2,71	9	2,04	2
	4,72	2	2,68	13	2,01	2
	4,00	5	2,54	7	1,953	1
	3,83	55	2,47	3	1,910	1
	3,77	11	2,42	6	1,859	1
	3,43	100	2,40	6	1,759	3
	3,23	8	2,35	5	1,713	13
	3,10	8	2,30	2	1,670	3
	2,98	18	2,25	1	1,631	3
Мишгьяк - As	3,555	76	1,368	20	1,023	96
	3,180	100	1,286	28	0,998	40
	2,780	4	1,223	92	0,955	64
	2,054	12	1,201	24	0,942	72
	1,891	8	1,182	84	0,929	44
	1,781	16	1,119	36	0,922	44
	1,764	16	1,107	36	0,908	88
	1,662	48	1,088	56	0,891	52
	1,562	32	1,068	60	0,854	68
	1,387	20	1,041	80	-	-
As ₂ O ₃	6,3	56	1,95	24	1,301	8
	3,18	100	1,66	16	1,266	8
	2,75	24	1,59	8	1,205	8
	2,53	32	1,54	16	1,064	8
	2,24	8	1,438	8	-	-
	2,12	16	1,343	8	-	-
As ₂ O ₅	7,1	30	3,05	50	2,02	10
	5,6	30	2,70	20	1,89	10
	4,88	100	2,62	40	1,84	10
	4,01	10	2,34	10	1,77	10
	3,58	60	2,26	20	1,71	20
	3,40	60	2,18	20	-	-
	3,21	20	2,10	10	-	-
As ₂ S ₃	4,82	100	2,70	53	1,91	13
	4,42	7	2,55	7	1,85	13
	4,00	47	2,45	47	1,74	13
	3,70	47	2,31	13	1,68	27
	3,19	20	2,12	13	1,64	7
	3,05	13	2,07	13	-	-
	2,85	47	2,02	7	-	-

AsI ₃	7,15	1	1,9880	15	1,4375	4
	5,40	12	1,7984	16	1,3558	5
	3,578	49	1,7880	2	1,3376	6
	3,536	2	1,7477	10	1,2687	4
	3,220	100	1,6096	6	1,1914	1
	2,538	20	1,6014	5	-	-
	2,0800	31	1,4986	1	-	-
Сурма - Sb	3,71	15	1,470	13	1,190	3
	3,10	100	1,410	20	1,120	3
	2,24	63	1,360	25	1,075	10
	2,14	63	1,310	8	1,047	3
	1,86	15	1,258	15	1,031	8
	1,76	44	1,243	10	-	-
	1,55	20	1,215	3	-	-
Sb ₂ O ₃	6,4	10	1,61	10	1,247	10
	3,22	100	1,56	10	1,217	1
	2,78	30	1,450	2	1,184	1
	2,56	8	1,394	6	1,138	4
	1,96	50	1,355	4	1,073	8
	1,68	50	1,283	15	-	-
Sb ₂ O ₄	3,49	1	1,856	20	1,371	1
	3,44	33	1,778	17	1,323	9
	3,07	100	1,719	27	1,251	8
	2,93	23	1,683	3	1,199	5
	2,65	17	1,633	7	1,157	7
	2,46	3	1,568	1	1,112	15
	2,39	7	1,525	2	1,055	8
	2,22	1	1,475	15	1,012	3
	1,990	2	1,428	12	0,995	4
Sb ₂ O ₅	6,0	100	1,82	50	1,180	8
	3,10	80	1,73	16	1,150	4
	2,97	80	1,55	36	1,075	4
	2,58	16	1,480	8	1,075	4
	2,36	4	1,440	8	1,048	4
	1,98	16	1,340	12	0,990	-

$\text{Sb}_2(\text{SO}_4)_3$	5,4	20	2,46	3	1,70	5
	5,2	15	2,41	5	1,65	5
	4,25	100	2,34	10	1,57	5
	3,45	3	2,27	5	1,51	3
	3,30	31	2,13	18	1,475	8
	3,15	50	2,04	31	1,420	5
	2,90	15	1,97	8	1,370	5
	2,80	3	1,89	18	1,320	5
	2,69	20	1,82	15	1,260	5
	2,61	10	1,78	3	-	-
Висмут – Bi	3,28	100	1,63	20	1,135	10
	2,35	50	1,54	3	1,089	7
	2,27	50	1,490	20	1,073	7
	2,01	7	1,440	27	1,045	3
	1,96	13	1,327	13	1,020	3
	1,86	30	1,180	3	-	-
Bi_2O_3	3,42	5	1,87	15	1,305	5
	3,25	100	1,82	5	1,270	5
	2,69	88	1,75	20	1,225	5
	2,54	5	1,66	10	1,195	5
	2,39	15	1,58	10	1,120	5
	2,03	5	1,490	10	-	-
	1,95	25	1,395	5	-	-
$\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	4,68	40	2,60	20	1,81	40
	4,20	60	2,45	20	1,73	40
	3,52	20	2,33	20	1,58	20
	3,30	20	2,18	20	1,53	40
	3,08	100	2,12	20	-	-
	2,87	100	1,95	20	-	-
$\text{Bi}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,73	17	2,74	33	1,75	17
	3,20	17	2,14	17	1,62	33
	2,95	100	1,93	17	-	-
$\text{BiO}_2 \cdot \text{CrO}_4$	10,5	50	2,80	5	2,05	5
	4,90	5	2,70	5	1,88	5
	3,55	5	2,58	10	1,65	5
	3,20	100	2,40	5	1,58	10
	2,93	5	2,32	5	-	-

$\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$	5,6	75	2,45	13	1,67	13
	5,2	75	2,36	13	1,60	13
	4,30	100	2,17	25	1,53	13
	3,36	37	2,07	25	1,490	13
	3,13	50	1,99	13	1,440	13
	2,94	13	1,91	13	1,360	13
	2,74	75	1,87	13	1,225	13
	2,62	25	1,71	13	-	-
Ванадий — V	2,14	100	1,072	3	0,810	3
	1,51	7	0,958	3	0,759	1
	1,236	20	0,875	1	0,714	1
V_2O_3	3,65	60	1,69	100	1,218	2
	2,70	80	1,61	2	1,193	2
	2,47	60	1,57	3	1,170	6
	2,32	2	1,470	25	1,125	3
	2,18	20	1,429	30	1,093	6
	2,03	2	1,330	10	1,057	6
	1,83	25	1,235	4	-	-
V_2O_5	5,7	33	2,76	13	1,92	13
	4,38	100	2,68	7	1,86	7
	4,09	13	2,61	13	1,77	10
	3,39	83	2,18	7	1,65	7
	2,87	53	1,99	7	1,56	7
VC	2,40	100	1,199	10	0,849	5
	2,07	100	1,039	5	0,800	3
	1,469	50	0,952	5	-	-
	1,251	25	0,929	10	-	-
VCl_3	11,4	100	2,78	75	1,67	10
	5,6	100	2,63	25	1,63	10
	5,2	5	2,52	25	1,55	3
	4,30	25	2,42	3	1,51	8
	4,00	18	2,34	3	1,440	3
	3,68	5	2,24	8	1,390	3
	3,50	10	2,15	8	1,330	3
	3,30	8	2,00	10	1,260	3
	3,11	3	1,93	5	-	-
	3,01	3	1,82	5	-	-

(VO) ₂ (SO ₄) ₃ 16H ₂ O	6,3	32	3,30	28	2,03	8
	5,8	32	3,16	16	1,98	8
	5,4	32	3,04	28	1,92	20
	5,1	8	2,82	28	1,88	8
	4,55	100	2,70	24	1,75	4
	4,35	50	2,64	28	1,64	4
	3,90	24	2,47	12	1,55	4
	3,70	16	2,34	20	1,450	6
	3,51	50	2,18	20	-	-
Ннубий— Nb	2,33	100	1,16	6	0,879	6
	1,65	20	1,041	10	0,775	2
	1,34	32	0,950	1	0,736	1
Nb ₂ O ₅	5,181	20	2,814	100	1,811	20
	5,049	50	2,747	100	1,773	20
	4,678	10	2,686	100	1,740	50
	4,081	10	2,603	1	1,728	20
	3,955	10	2,518	50	1,706	10
	3,781	20	2,461	50	1,674	100
	3,703	100	2,426	10	1,646	1
	3,571	100	2,306	50	1,610	20
	3,455	100	2,068	100	1,589	100
	3,390	20	2,039	100	1,575	100
	3,322	50	1,986	10	1,553	50
	3,216	10	1,901	100	1,523	50
	3,054	10	1,850	10	1,511	10
NbCl ₅	8,88	16	3,31	10	2,354	5
	6,19	10	2,93	10	2,123	35
	5,78	100	2,81	10	1,914	15
	5,34	50	2,72	95	1,881	5
	4,95	40	2,61	10	1,779	15
	4,46	40	2,55	10	1,766	25
	4,27	25	2,515	5	-	-
	3,61	10	2,456	10	-	-
Nb ₂ O ₅ MnO	7,3	20	2,703	100	2,080	10
	3,84	20	2,541	100	2,050	10
	3,694	100	2,501	100	2,000	10
	3,608	40	2,405	40	1,950	10
	2,990	100	2,245	20	1,903	60
	2,881	60	2,221	40	1,845	60
	2,754	40	2,090	60	1,784	60

Nb ₂ O ₅ Fe ₂ O ₃	4,58	10	2,759	20	2,162	60
	3,740	10	2,497	100	2,045	60
	3,582	100	2,446	60	2,015	40
	2,907	100	2,322	60	1,973	40
	2,806	10	2,196	40	1,864	60
	-	-	-	-	1,788	60
Тантал — Та	2,33	100	1,346	30	1,042	5
	1,65	20	1,165	5	0,881	5
Ta ₂ O ₅	6,2	3	2,81	58	1,71	7
	5,7	17	2,61	23	1,66	10
	4,48	3	2,45	3	1,62	27
	3,96	100	2,29	3	1,52	3
	3,49	27	2,15	3	1,470	5
	3,23	23	1,98	42	1,400	5
	3,05	33	1,87	17	1,360	5
	2,95	13	1,77	50	1,322	13
TaO _x	2,374	50	1,399	40	0,962	30
	2,327	100	1,184	10	0,892	30
	1,678	50	1,170	30	0,881	30
	1,626	30	1,058	30	-	-
	1,364	60	1,035	30	-	-
TaO _x	2,411	100	1,415	40	1,014	30
	2,287	50	1,334	60	0,966	30
	1,795	40	1,190	30	0,923	30
	1,627	40	1,143	20	0,896	30
	1,594	40	1,125	20	0,866	30
TaO ₂	4,719	60	1,927	50	1,309	30
	2,722	100	1,669	70	1,285	20
	2,521	10	1,572	40	1,261	20
	2,352	60	1,491	10	1,146	30
	2,229	30	1,458	30	1,114	50
	2,112	30	1,423	40	1,084	30
	2,012	20	1,396	20	-	-
(Ta, Co, Ge) O	2,384	100	2,008	80	1,430	50
	2,357	50	1,950	20	1,417	20
	2,270	100	1,826	20	1,278	50
	2,225	50	1,768	20	-	-

Хром-Сг	2,052	100	0,909	60	0,6775	40
	1,436	40	0,829	20	0,6420	30
	1,172	80	0,768	70	0,6120	30
	1,014	50	0,718	10	0,5865	30
CrO ₃	4,20	75	1,84	5	1,50	5
	3,40	100	1,74	15	1,470	1
	2,86	25	1,71	3	1,431	3
	2,36	20	1,68	1	1,405	5
	2,25	20	1,60	3	1,376	2
	2,00	7	1,56	1	-	-
	1,96	10	1,54	1	-	-
Cr ₂ O ₃	3,62	45	1,58	6	1,148	6
	2,67	70	1,465	30	1,123	6
	2,47	70	1,432	45	1,087	12
	2,17	30	1,294	16	1,041	10
	2,03	4	1,236	6	1,025	2
	1,81	45	1,209	6	0,946	6
	1,67	100	1,172	5	-	-
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	6,7	75	2,92	15	1,90	40
	6,3	75	2,78	10	1,82	10
	5,7	5	2,61	75	1,78	20
	4,90	35	2,54	30	1,73	5
	4,51	50	2,39	75	1,69	25
	4,04	100	2,32	5	1,62	10
	3,80	50	2,25	15	1,58	10
	3,63	50	2,20	20	1,53	5
	3,43	10	2,13	10	1,490	5
	3,27	45	2,09	35	1,460	10
	3,13	5	2,04	30	1,410	10
	3,01	45	1,95	10	1,367	10
	-	-	-	-	1,319	10
CrK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	7,0	12	2,87	2	2,03	12
	5,5	16	2,81	12	1,97	6
	4,98	8	2,72	12	1,93	16
	4,31	100	2,59	6	1,85	4
	4,08	30	2,48	12	1,74	4
	3,68	60	2,34	6	1,69	8
	3,26	35	2,25	6	1,63	10
	3,04	30	2,15	4	-	-
Молибден- Мо	2,22	100	0,908	7	0,672	9
	1,57	56	0,841	23	0,643	6
	1,281	37	0,787	3	0,617	14
	1,114	17	0,742	14	-	-
	0,995	23	0,704	11	-	-

Mo ₂ O ₃	3,42	100	1,405	20	1,032	2
	2,42	80	1,350	2	1,015	1
	2,22	40	1,305	2	0,997	6
	2,17	3	1,285	24	0,976	2
	1,84	6	1,211	16	0,955	2
	1,71	80	1,180	2	0,920	6
	1,57	6	1,141	6	0,880	2
	1,53	16	1,114	6	0,857	5
	1,470	3	1,087	4	0,842	5
MoO ₂	4,78	20	2,405	40	1,833	35
	3,41	100	2,398	50	1,718	55
	2,804	30	2,176	30	1,704	80
	2,433	50	2,171	10	1,692	50
	2,420	85	2,147	30	-	-
MoO ₃	7,0	15	2,528	15	1,822	35
	3,82	85	2,377	30	1,788	20
	3,47	20	2,312	20	1,754	5
	3,44	40	2,277	25	1,735	65
	3,27	100	2,135	25	1,720	5
	3,01	10	1,982	40	1,694	40
	2,707	40	1,965	50	1,666	70
	2,657	70	1,907	5	1,630	40
	2,613	5	1,852	80	-	-
Mo(PO ₃) ₃	5,546	5	3,002	5	2,334	15
	5,379	40	2,927	5	2,299	5
	4,750	25	2,857	25	2,268	20
	3,950	100	2,785	25	2,217	5
	3,752	10	2,690	5	2,140	5
	3,661	20	2,658	5	2,116	5
	3,505	45	2,482	30	2,070	15
	3,350	20	2,438	5	2,011	5
	3,136	10	2,403	5	1,9741	10
	3,075	5	2,381	10	-	-
Волифрам — W	2,23	100	1,000	29	0,707	6
	1,58	29	0,913	6	0,674	6
	1,290	71	0,846	34	0,622	6
	1,117	17	0,745	11	-	-
WO ₂	4,78	15	2,418	80	1,731	40
	3,45	100	2,393	50	1,724	65
	2,828	20	2,181	15	1,709	45
	2,446	45	2,150	10	1,698	50
	2,436	55	1,847	20	-	-
	2,428	20	1,827	20	-	-

WO ₃	3,835	100	2,684	75	2,149	60
	3,762	95	2,661	60	2,098	10
	3,642	100	2,617	90	2,038	40
	3,342	50	2,528	35	2,020	30
	3,109	50	2,509	40	2,011	25
	3,076	50	2,172	50		
W ₂ C	2,35	70	1,27	20	1,08	20
	1,77	70	1,26	20	1,00	100
	1,35	100	1,19	70	-	-
W ₂ Zr	4,40	20	1,46	80	1,07	20
	2,69	10	1,35	80	1,02	10
	2,30	100	1,28	20	0,99	100
	2,20	90	1,20	10	0,95	30
	1,90	30	1,16	50	0,93	10
	1,74	20	1,15	90	-	-
	1,55	10	1,10	10	-	-
W ₄ H ₂ O ₁₃	5,3	50	2,10	3	1,410	5
	3,48	100	1,97	8	1,305	3
	2,93	8	1,84	20	1,276	3
	2,69	5	1,73	15	1,245	3
	2,60	10	1,69	3	1,215	3
	2,55	25	1,63	13	1,189	3
	2,37	10	1,60	8	1,157	5
	2,31	8	1,50	5	-	-
	2,23	3	1,470	5	-	-
Марганец- α-Mn	2,36	2	1,258	10	0,834	2
	2,22	2	1,210	28	0,820	2
	2,09	100	1,190	2	0,813	2
	1,89	20	1,130	3	0,801	2
	1,81	10	1,048	6	0,793	2
	1,74	16	0,983	2	0,770	2
	1,340	2	0,960	2	-	-
	1,283	7	0,936	3	-	-
β-Mn	2,81	7	1,68	7	1,170	20
	2,10	100	1,485	3	1,064	3
	2,00	66	1,410	3	1,051	3
	1,90	27	1,237	30	-	-
MnO	2,56	66	1,281	17	0,906	7
	2,22	100	1,110	7	0,853	3
	1,57	66	1,019	7	-	-
	1,339	23	0,994	17	-	-

Mn ₂ O ₃	3,82	30	1,609	1	1,276	3
	2,68	100	1,520	3	1,252	1
	2,32	23	1,447	6	1,171	2
	1,991	12	1,414	60	1,155	3
	1,836	17	1,383	6	1,139	1
	1,707	1	1,353	4	1,076	8
	1,656	72	1,300	1	1,049	6
MnO ₂	3,11	100	1,98	4	1,390	4
	2,40	50	1,62	50	1,303	16
	2,21	4	1,56	12	1,050	4
	2,12	12	1,440	8	1,001	4
Mn ₃ O ₄	4,92	20	2,03	15	1,384	4
	3,08	31	1,79	18	1,340	8
	2,87	8	1,70	5	1,300	3
	2,75	63	1,64	5	1,277	13
	2,56	8	1,57	50	1,237	4
	2,48	100	1,54	50	1,192	5
	2,36	13	1,466	3	1,123	4
	2,22	31	1,438	18	-	-
MnAl ₂ O ₄	2,92	17	2,49	50	2,39	50
	-	-	-	-	1,398	100
MnCO ₃	3,65	30	2,00	12	1,452	4
	2,84	100	1,82	2	1,365	4
	2,36	14	1,76	50	1,298	2
	2,16	12	1,53	6	-	-
Иод - I ₂	3,69	100	2,11	15	1,71	20
	3,09	100	2,02	20	1,51	10
	2,52	8	1,97	30	1,460	8
	2,44	18	1,81	10	1,400	5
	2,33	15	1,76	10	-	-
I ₂ O ₅	4,03	15	2,44	13	1,79	8
	3,79	50	2,35	5	1,74	5
	3,40	75	2,28	5	1,71	13
	3,28	100	2,18	13	1,66	5
	3,18	15	2,08	10	1,62	3
	2,92	5	2,02	5	1,59	10
	2,83	3	1,96	5	1,56	13
	2,74	5	1,90	5	-	-
	2,53	13	1,83	10	-	-
	-	-	-	-	-	-

HIO ₃	4,69	15	2,173	2	1,567	5
	4,51	31	2,157	11	1,563	10
	4,035	100	2,104	22	1,561	18
	3,868	9	2,017	3	1,551	4
	3,577	38	1,950	17	1,531	9
	3,233	43	1,934	3	1,490	2
	3,172	53	1,900	7	1,478	3
	2,941	7	1,888	5	1,454	5
	2,790	31	1,838	6	1,450	9
	2,768	16	1,830	30	1,444	10
	2,746	26	1,798	26	1,396	5
	2,608	19	1,788	9	1,369	6
	2,596	32	1,762	14	1,359	8
	2,506	11	1,744	14	1,3476	4
	2,462	23	1,718	9	1,3368	6
	2,385	9	1,669	5	1,3280	6
	2,362	7	1,665	7	1,3161	2
	2,340	8	1,603	10	1,3037	1
	2,252	2	1,586	4	-	-
I ₃ Y	6,92	40	2,401	10	2,002	10
	3,752	30	2,309	20	1,971	50
	3,463	50	2,224	10	1,874	10
	3,301	100	2,164	80	1,837	50
	3,095	20	2,117	10	1,809	50
	2,624	10	2,066	20	1,734	40
	2,549	60	2,021	10	1,700	10
Темир-α-Fe	2,0268	100	1,1702	30	0,9064	12
	1,4332	19	1,0134	9	0,8275	6
Темир - γ - Fe	2,07	100	1,26	32	1,018	4
	1,80	50	1,081	32	-	-
FeO	2,47	50	1,293	15	0,984	3
	2,14	100	1,238	8	0,959	5
	1,51	63	1,072	3	0,876	3
Fe ₂ O ₃	3,68	18	1,452	50	1,104	10
	2,69	100	1,351	3	1,056	8
	2,51	75	1,308	18	0,962	10
	2,20	18	1,259	13	0,954	5
	1,84	63	1,230	3	0,900	3
	1,69	63	1,190	8	0,881	5
	1,60	13	1,163	5	0,843	5
	1,485	50	1,140	13	-	-

Fe_3O_4	4,85 2,97 2,53 2,42 2,10 1,71 1,61 1,483	6 28 100 11 32 16 64 80	1,326 1,279 1,210 1,121 1,092 1,049 0,970 0,966	6 20 5 10 32 10 16 8	0,940 0,880 0,859 0,853 0,825 0,814 0,809 -	6 10 20 8 2 10 5 -
Магнетит- $\text{Fe Fe}_2\text{O}_4$	4,21 2,99 2,541 1,428 2,098	1 6 10 3 7	1,710 1,612 1,479 1,325 1,277	5 9 9 3 5	1,264 1,174 1,119 1,091 1,047	2 1 4 8 6
FeSO_4	4,78 3,58 3,25 2,56 2,40 2,28 2,23 2,05 -	24 13 100 13 2 13 10 11 -	1,99 1,83 1,78 1,70 1,63 1,59 1,55 1,440 -	20 16 2 3 20 20 10 6 -	1,420 1,361 1,281 1,251 1,200 1,140 1,110 1,014 1,000	2 5 13 2 8 3 2 3
$3\text{FeO Al}_2\text{O}_3$ 3SiO_2	2,61 1,84	100 80	1,17 -	60 -	1,06 -	55 -
Кобальт — $\alpha - \text{Co}$	2,182 1,920 1,490 1,250 1,145	80 100 20 70 30	1,064 1,045 0,953 0,839 0,788	60 30 10 20 20	0,752 0,738 0,717 - -	10 10 10 - -
$\beta - \text{Co}$	2,04 1,77 1,253 1,066	100 44 22 22	1,021 0,886 0,813 0,792	5 3 3 3	0,723 0,682 - -	3 3 - -
CoO	2,45 2,12 1,50 1,281	67 100 100 40	1,227 1,060 0,975 0,951	40 10 10 30	0,869 0,819 - -	20 7 - -
Co(OH)_2	4,40 2,44 2,31 1,80	100 23 83 40	1,50 1,425 1,367 1,215	8 40 27 5	1,196 1,162 1,120 -	1 4 4 -

CoCO ₃	3,64	40	2,12	11	1,50	11
	2,76	100	1,96	11	1,415	11
	2,34	11	1,71	71	1,355	6
CoB ₂ O ₄	2,88	75	1,745	6	1,278	6
	2,53	6	1,649	24	1,232	12
	2,44	100	1,600	12	1,081	6
	2,08	3	1,555	75	1,052	12
	2,03	12	1,427	75	1,010	4
	1,856	3	1,367	3	-	-
CoFe ₂ O ₄	4,89	8	1,608	45	1,087	20
	2,95	40	1,476	65	1,045	40
	2,51	100	1,320	3	0,985	2
	2,41	5	1,275	13	0,965	8
	2,08	15	1,204	3	-	-
	1,702	8	1,117	5	-	-
CoCrO ₄	3,30	50	2,62	100	1,73	50
	3,10	50	2,36	50	1,65	25
	2,89	50	2,04	25	1,55	50
CoCr ₂ O ₄	4,84	4	1,796	2	1,266	10
	2,94	33	1,696	19	1,200	1
	2,83	5	1,652	1	1,110	5
	2,51	100	1,599	43	1,082	23
	2,40	4	1,467	60	1,038	4
	2,07	27	1,312	3	-	-
Никель - Ni	2,03	100	1,061	32	0,788	8
	1,76	50	1,017	4	0,719	8
	1,244	32	0,808	8	0,678	8
NiF ₂	3,30	100	1,719	62	1,383	15
	2,55	62	1,650	15	1,257	5
	2,23	20	1,516	10	1,120	5
Ni (OH) ₂	4,60	67	1,75	7	1,348	7
	2,70	100	1,56	53	1,295	7
	2,33	67	1,48	33	-	-
NiO	2,40	60	1,203	12	0,852	3
	2,08	100	1,042	2	0,802	2
	1,474	60	0,957	4	-	-
	1,258	24	0,933	6	-	-
NiSO ₄	4,30	40	1,96	6	1,480	13
	3,92	24	1,87	10	1,431	6
	3,58	40	1,78	24	1,398	24
	3,33	24	1,67	14	1,350	8
	3,15	2	1,62	2	1,309	11
	2,55	100	1,58	8	1,285	3
	2,33	40	1,55	3	1,219	3
	2,00	20	1,51	3	-	-
NiAl ₂ O ₄	2,43	75	2,01	75	1,55	13
	-	-	-	-	1,421	100

NiMnO ₄	4,85	12	1,71	8	1,207	8
	2,97	30	1,61	40	1,119	4
	2,53	100	1,480	60	1,090	10
	2,41	25	1,280	8	1,048	4
	2,09	50	1,260	12	-	-
Ni ₃ (PO ₄) ₂ 8H ₂ O	7,8	36	2,66	40	1,856	8
	6,6	100	2,56	12	1,775	8
	4,80	40	2,47	20	1,740	16
	4,47	28	2,37	24	1,634	20
	4,00	20	2,26	20	1,550	20
	3,78	36	2,18	20	1,489	8
	3,58	8	2,14	20	1,450	8
	3,13	32	2,03	16	1,384	4
	2,91	50	1,89	16	1,313	8
Уран (IV)оксид- UO ₂	3,157	100	1,579	13	1,1163	13
	2,735	48	1,368	9	1,0523	15
	1,934	49	1,255	18	-	-
	1,649	47	1,223	15	-	-
Ураноксид — U ₃ O ₈	4,10	4	1,673	4	1,277	5
	3,38	10	1,578	4	1,238	4
	2,61	7	1,547	3	1,219	3
	2,06	3	1,501	1	1,134	1
	1,971	5	1,431	2	1,123	2
	1,943	6	1,415	3	1,100	5
	1,782	2	1,376	1	0,991	5
	1,760	8	1,314	2	-	-
	1,702	5	1,297	4	-	-
Кислород— O ₂	3,17	Кз.	2,58	Ки.	1,60	Ки.
	3,04	У.	1,91	У.	1,46	Кз.
	2,92	Кз.	1,72	Кз.	1,36	У.
	2,75	Ки	1,65	Кз.	-	-
Муз — I — H ₂ O	3,92	10	2,26	10	1,368	2
	3,67	100	2,065	50	1,300	3
	3,44	20	1,920	10	1,250	3
	2,68	15	1,516	15	1,167	5
Муз — II — H ₂ O	3,8	9	1,85	6	1,34	6
	3,0	10	1,74	6	1,29	8
	2,7	8	1,70	6	1,26	6
	2,19	9	1,59	6	1,18	4
	2,10	9	1,46	6	1,14	6
	1,94	6	1,43	6	-	-
Муз — III — H ₂ O	3,60	10	1,92	8	1,46	6
	3,39	8	1,86	6	1,43	6
	2,90	8	1,79	6	1,38	4
	2,66	6	1,68	7	1,36	7
	2,55	8	1,62	4	1,32	4
	2,28	6	1,58	6	1,28	6
	2,10	8	1,53	5	1,23	6
	2,07	8	1,48	6	1,20	6

Такрорлаш учун саволлар

1. Рентген нури қачон ва ким томонидан кашф этилган?
2. Рентген нурларининг тўлқин узунлигини мкм ва Å лар ўлчовида келтиринг.
3. «Қаттиқ» ва «юмшоқ» рентген нурлари деб қандай тўлқин узунлигига эга бўлган нурларга айтилади?
4. Ота-бола Брегглар томонидан тақдим қилинган рентген нури дифракциясига оид формулани ёзиб беринг.
5. Рентген нури ёрдамида бажариладиган рентгенологик текшириш усулларини санаб беринг.
6. Фотоусул ишлари учун мулжалланган қандай рентгенотузилма таҳлили аппаратларини биласиз?
7. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларини номи ва русумини келтиринг.
8. Рентген аппаратларининг асосий қисмларининг номлари ва тузилиши ҳақида маълумотлар беринг.
9. Рентген трубкиси рентгенографик аппаратларда қандай ролни бажаради, улар конструктив қандай деталлардан ташкил топган?
10. Кенотрон, чуғланиш реостати, юқори вольтли трансформатор каби рентген аппарати қисмларининг тузилиши ва вазифалари ҳақида маълумотлар келтиринг.
11. РКД-57 камерасининг тузилиши ва асосий қисмлари ҳақида фикрингизни билдиринг.
12. УРС-50И ионизацион рентген қурилмасининг принципиал блок-сизмасини келтиринг.
13. Рентгенографик таҳилдан фойдаланиш имкониятлари қандай?
14. Рентгенографик таҳлил афзалликларини санаб беринг.
15. Рентгенографик усул камчиликлардан холими?

ФЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎХАТИ

1. Азимов Ш.Ю., Тожиев Ф.Х. Анорганик моддаларнинг физика - кимёвий анализи. -Тошкент: Ўқитувчи, 1977.-132 б.
2. Азимов Ш.Ю., Исматов А.А., Федоров Н.Ф. Апатиты их редкоземельные аналоги.- Ташкент: ФАН, 1990.-116 с.
3. Алексеев А.Г., Варгин В.В. Катализиrowанная регулируемая кристаллизация стекол литиевоалюмосиликатной системы.-М.-Л.: Химия, 1964.-120с.
4. Берг Л.Г. Введение в термографию. -М.: АН СССР, 1961.
5. Берг Л.Г., Бурмистров Н.П., Озерова М.И., Цуриков Г.Г. Практическое руководство по термографии. -Казан: КазанГУ, 1967.
6. Вегман Е.Ф., Руфанов Ю.Г., Федорченко И.Н. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография. — М.: Металлургия, 1990. - 262 с.
7. Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. — М.: Мир, 1967.-526 с.
8. Васильев Е.К., Кашаева Г.М., Ушаповская З.Ф. Рентгенографический определитель минералов. —М.: Наука, 1974.
9. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. — М.: Высшая школа, 1981.-281 с.
10. Драго Р. Физические методы в неорганической химии.- М.: Мир, 1967.
11. Егунов В.П. Введение в термический анализ.- Самара. Самара ГУ, 1996. -270 с.
12. Зинюк Р.Ю., Балыков А.Г., Гавриленко И.В. ИК спектроскопия в неорганической технологии. —Л.: Химия, 1983.
13. Исматов А.А., Сиражиддинов Н.А. Свойства и изоморфизм мелилитов. -Ташкент: ФАН, 1983.-152с.
14. Исматов А.А., Юнусов М.Ю., Максудов Д.И. Полевошпатное сырье Средней Азии для производства фарфора -М.: Легпромбытиздат, 1988.-136с.
15. Исматов А.А. Синтез и физико-химическое исследование некоторых классов неорганических соединений. — Дисс. на соис. уч. ст. доктора химических наук.- Л.: ЛТИ, 1972. — 347с.
16. Исматов А.А., Шерназарова М.Т., Якубов Т.Н. Стеновая керамика с использованием палеоглин и лессовых пород. — Ташкент: ФАН, 1993. — 118с.

17. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. — М.: Металлургия, 1982.-632с.
18. Козлова О.Г. Морфолого — генетический анализ кристаллов. — М.: МГУ, 1991. — 223 с.
19. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. — М.: МГУ, 1969-160 с.
20. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. — Л.: Наука, 1968.-347 с.
21. Леонов А.И. Высокотемпературная химия кислородных соединений церия. — Л.: Наука, 1969.-201с.
22. Липовский В.Н., Берёзкин В.Т. Автоматические газовые потоковые хроматографы. —М.: Химия, 1982.
23. Минералогическая энциклопедия. — Л.: Недра, 1985.-512с.
24. Минералогический справочник технолога — обогатителя. —Л.: Недра, 1985.-264с.
25. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. — М.: Физматгиз, 1961.-863 с.
26. Михеев В.И., Сальдау Э.П. Рентгенофический определитель минералов [Т.II]. — Л.: Недра, 1965.-364с.
27. Славин В. Атомно-абсорбционная спектрометрия - М.: Химия, 1971.
28. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры силикатов. - М.: МГУ, 1967.-189с.
29. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры минералов. - М.: МГУ, 1977.-174с.
30. Справочник по электротехническим материалам / Под. ред. Кориского Ю.М., Пасынкова В.В., Тареева Б.М. в 3-х томах. —М.: Энергоатомиздат, 1986 т. 1; 1987 т.2; 1988 т.3
31. Таблица физических величин. Справочник / Под. ред. И.К.Кикоина.- М.: Атомиздат, 1976.-106 с.
32. Торопов Н.А., Барзаковский В.П., Лапин В.В., Курцева Н.Н. Диаграмма состояния силикатных систем. Справочник. Выпуск первый. Двойные системы. — Л.: Наука, 1969. — 822с.
33. Фекличев В.Г. Диагностические спектры минералов.- М.:Недра, 1977.-228с.
34. Юнусов М.Ю., Ильганаев В.Б., Исмаев А.А. Мало-и многожелезистые оксидные стекла.-Ташкент: Узбекистан, 1991.-128 с.
35. Қўшмуродов О.Қ., Зоҳидов К.С. Элементлар геохимёси.-Тошкент: ТДТУ, 1996.-72 бет.

36. Ҳамробоев И.Ҳ, Ражабов Ф.Ш. Петрография асослари.
-Тошкент: Ўқитувчи, 1984.-184 б.

37. Schaumburg H. (Hrsg.). Keramik. — Stuttgart, B.G.Teub-
ner, 1994. — 654p.

МУНДАРИЖА

СЎЗ БОШИ.....	3
---------------	---

КИРИШ.....	4
------------	---

БИРИНЧИ БОБ. ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАҲЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

1-§. Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривож- лантиришда жаҳон. Марказий Осиё ва Ўзбекистон олимларининг ҳиссаси.....	7
2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи	8
3-§. Фанда қўлланиладиган асосий тушунча- лар.....	10
4-§. Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усулла- ри.....	11
5-§. Физик-кимёвий, термик ва бошқа таҳлил усуллари ёрдамида аниқланадиган кўрсаткичлар.....	14
Такрорлаш учун саволлар.....	15

ИККИНЧИ БОБ. МИКРОСКОПИК ТАҲЛИЛ

6-§. Микроскопик текшириш усули аҳамияти ва ривожи.....	16
7-§. Кристаллооптика усули.....	18
8-§. Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар..	19
9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари.....	23
10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари.....	24
11-§. Микроскопия усули аппаратлари.....	25
12-§. Микроскоплар учун мосламалар.....	30
13-§. Препаратларни тайёрлаш усуллари.....	32
14-§. Микрофотография намуналари.....	34
15-§. Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди-кремний оксиди тизимидаги фаза- ларнинг оптик характеристикалари.....	38
16-§. Диагностика мақсадларида фойдаланилади- ган микроскопик кўрсаткичлар.....	41
Такрорлаш учун саволлар.....	73

Product Name: _____

How much does your dog weigh in lb?

● 1997年12月1日

三、**《说文解字》**

100

1

1

A. A. Bhowmik

**Comments on *Hydrolytic stability of
interpenetrating polymer networks (IPNs) in
interfacial polymerization***

Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry

Volume 42, Issue 1, 2004
Pages 1-2
DOI: 10.1002/pola.20000