

А. А. ИСМАТОВ

**СИЛИКАТ ВА ЗЎРҒА СУЮЛУВЧАН МАТ
ЕРИАЛЛАР ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАХЛИ
ЛИНИНГ ЗАМОНАВИЙ
УСУЛЛАРИ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ**

А. А. И С М А Т О В

**СИЛИКАТ ВА ЗЎРҒАСУЮЛУВЧАН МАТ
ЕРИАЛЛАР ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАХЛИ
ЛИНИНГ ЗАМОНАВИЙ
УСУЛЛАРИ**

Ўзбекистон Республикаси олий ўқув юртларининг
кимёвий-технология факультетлари талабалари учун
ўқув қўлланмаси сифатида тавсия этилган

ТОШКЕНТ - 2005

А Н Н О Т А Ц И Я

Ўқув қўлланмасида кимёвий технология, шу жумладан ноорганик модда-лар, силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар, камёб, тарқоқ ва нодир метал-лар физик-кимёвий тахлилининг замонавий усуллари, айниқса микроскопия, рентгенография, ИК спектроскопия ва термография ҳақида маълумот бери-лади. Ҳар бир усул алоҳида ёритилиб, унга таалуқли аппаратлар, уларнинг ту-зилиши, ишлаш принципи ва уларда иш олиб бориш тартиби ҳақида маълумотлар киритилган. Текширилаётган объект намуналарини тайёрлаш йўллари ҳам кўрсатилган.

"Физик-кимёвий тахлилнинг замонавий усуллари" фани ўқув қўлланмаси

В 522400 – «Кимёвий технология» йўналишида ўқитиладиган "Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси" соҳасида таълим олаётган 4 курс кундузги ва 5 курс сиртқи бўлимларнинг талабалари учун мўлжалланган. Ундан «Ноорганик моддалар технологияси», "Камёб, нодир ва тарқоқ металллар технологияси" ва «Электрокимёвий ишлаб чиқариш ва коррозиядан сақлаш технологияси» соҳалари талабалари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Ўқув қўлланмасидан илмий мутахассислар, магистрантлар, ишлаб чиқаришдаги муҳандис ва техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Ўқув қўлланмаси Тошкент кимё-технология институтининг Илмий-услубий Кенгашида 27.11.2002 йил (баённома-2) кўриб чиқилган ва кўп нусхада чоп этишга тавсия этилган.

СЎЗ БОШИ.

В 522400 – «Кимёвий технология» йўналишининг асосий сохаларидан 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 ва ашёлар, уларнинг таркиби ва хусусиятларини аниқловчи усуллар ва асбоблар, кўп мақсадларга мўлжалланган боғловчи модда, керамика ва шишасимон буюмлар олишда қўлланиладиган жиҳозлар, юқори самарали технологик жараёнлар ва системалар, атроф-муҳит ҳолатини баҳолаш услублари ва воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ва транспорт таъсиридан атроф-муҳитни ҳимоялаш кабилар кирди.

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 юртлари-нинг ўқув планидан у мустақил фан сифатида урин эгаллаган.

Ушбу ўқув қўлланмаси олий техника ўқув юртлари “Боғловчи материал-лар кимёвий технологияси”, “Керамика ва ўтга чидамли материаллар кимёвий технологияси”, “Шиша ва ситаллар кимёвий

технологияси” ва “Электрон техника воситалари кимёвий технологияси” ихтисосликлари дастурларига мувофиқ ўзбек тилида ёзилган.

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

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

Мазкур ўқув қўлланмасини нашрга тайёрлашда фойдали маслаҳатлар ва танқидий фикр-мулоҳазалар билдирган акад. Н.Р. Юсупбеков, акад. С.Т. Тўх-таев, т.ф.н. П.А. Арипов ва к.ф.д., проф. К.А. Ахмеровларга муаллиф сами-мий миннатдорчилик билдиради.

Ўқув қўлланмаси биринчи бор нашр қилинаётганлиги сабабли фойдала-нувчиларнинг қуйидаги адресга юборилган барча истак, фикр ва танқидий мулоҳазалари мамнуният билан қабул қилинади: 700011, Тошкент, Навоий кўчаси, 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 олиш-да қўлланиладиган жиҳозлар, юқори самарали

технологик жараёнлар ва саноат системалари, уларни бошқариш; атроф-муҳит ҳолатини баҳолаш услублари ва воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ва транспорт таъсиридан атроф-муҳитни ҳимоялаш.

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

– технологик фаолият: цех, бўлим, участка технологи сифатида ишлаш; кўп мақсадларга мўлжалланган керамика, шишасимон ва боғловчи модалар ишлаб чиқариш соҳасидаги 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 ечимларни 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;

– 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 машина-созлик керамикаси, чинни, сопол, иссиқлик ҳимояловчи ва ўтга чидамли материаллар - шамот ва динас ғиштлари, таркибига магний, хром, цирконий ва бошқа қийин эрувчан элементлар кирган буюмлар ва бошқалар), шишасимон (шиша, қийин суюқланадиган 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 оҳакли боғловчи, автоклав материаллар ва ҳаказолар) 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 таҳлилинини ўтказиш.

Бакалавр В522400-«Кимёвий технология» йўналиши «Силикат ва қийин суюқланадиган материаллар технологияси» соҳаси бўйича магистратурада камида 2 йил муддатда қуйидаги мутахассисликлар бўйича ўқиш давом эттирилади:

М 522412 – Силикат ва зўргасуюлувчан материаллар кимёвий техноло-гияси

М 522413 – Керамик ва оловбардош буюмлар кимёвий технологияси

М 522414 – Шиша ва ситаллар кимёвий технологияси

М 522415 – Боғловчи материаллар кимёвий технологияси

М 522424 – Электрон техника буюм ва материаллари кимёвий техноло-гияси

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

Ўқув қўлланмасида 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 принципи, ҳисоблаш усуллари ҳамда усуллардан фойдаланишга асосланган мисоллар.

БИРИНЧИ БОБ. ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАХЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ.

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

Кириш қисмида қайд қилганимиздек, кимёвий модда, камёб, тарқоқ ва нодир металллар, силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар ва уларни ташкил қилган айрим хом ашёларнинг кимёвий-минералогик таркибини мукамал ўрганиш ва уларнинг вужудга келишини физик-кимёвий қонунлар асосида талқин этиш физик-кимёвий таҳлил усулларининг асосини ташкил қилади. Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривожлантиришда кўпгина 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. Рентгено-график 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 тўғрисида ривожланди. Термография усулининг ривож топишига Ле-Шателье, Де Кейзер, А.С. Курнаков, Л.Г. Берг каби жаҳон олимлари ҳисса қўшишди.

Физик-кимёвий таҳлил усуллари ривожда Марказий Осиё давлатлари, шу жумладан Ўзбекистон олимларининг хизматлари катта эканлигини ҳам кўрсатиб ўтиш зарур.Қозоғистон Фанлар Академиясининг хақиқий аъзоси С.Т. Сулейменов,фан докторлари Т.Абдувалиев,Б.О.Есимов, З.А.Естемесов, А.А.Мирзаходжаев,И.САхметов,Ўзбекистон Фанлар Академиясининг хақиқий аъзолари Ҳ.М.Абдуллаев, И.Ҳ.Ҳамрабоев, Н.А.Парпиев, М.Н.Набиев, С.Т.Тўхтаев,фан докторлари Н.А.Сирожиддинов,Т.А.Отақузиёв, Х.Т.Шарипов, Б.И.Нудельман,А.А.Исматов,С.С.Қосимова,ЮнусовМ.Ю.,А.П.Иркаходжаева, Д.Д.Фуломова, 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 таърифиди.

Физик-кимёвий таҳлил-тайёр маҳсулот олиш учун ишлаб чиқариш жараён-ларида қўлланиладиган усул ва методлар (хом ашё, материал ёки ярим фабри-катларга ишлов бериш, аралаштириш, қолиплаш, қуритиш, куйдириш каби жараёнлар орқали уларнинг ҳолати, шакли ва хусусиятини ГОСТ, ТУ каби техник ша-роитлар талаблари бўйича ўзгартиш) 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 ассосий анализ методлари группасидан, чунончи кимёвий (вазн, ҳажм, колори-метрик, газ хажмий ва бошқа), физик-кимёвий (электровазний, потенцио-метрик, амперометрик, полярографик, фотоколориметрик, хроматографик ва бошқа) ва физикавий (рентгеноспектраль, аланга фотометрияси, масса спек-троскопик, люминесцент, активацион, магнит каби) анализ методларидан фойдаланилади.

Физик-кимёвий таҳлил маҳсулот ишлаб чиқарувчи корхона талабларидан ке-либ чиққан ҳолда бир қатор турларга ажралади. Унинг маркировка методидида ис-теъмолчиларга узатилувчи 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 муасса билан истеъмолчи муасса ўртасида материалнинг кимёвий таркиби ёки бирор хосса-хусусияти (масалан пишиқ ғишт ва портланд цемент маркаси) тўғрисида келишмовчилик юз берган тақдирда ўтказилади.

Физик-кимёвий таҳлил кейинги вақтларда фан ва техниканинг турли соҳаларида кимёвий бирикма, минерал, тупроқ, қурилиш материаллари, керами-ка хом ашёси ва бошқаларни текширишда кенг қўлланмоқда. Айниқса саноатда технологик жараёнлар назорати ва материаллар анализидида у жуда ҳам қўл келмоқда.

Силикат ва қийин суюқланувчи моддалар, табиий ва сунъий минераллар ҳамда кимёвий бирикмаларнинг структуралари, фазовий

таркиблари, микротузилиши, иссиқлик таъсирида структураларини ўзгартиришлари физик-кимёвий текширишлар орқали аниқланади. Силикат моддалари асосида олинган барча маҳсулот тури, масалан цемент кукуни, керамика буюми, шиша ва турли турдаги электрон материаллари (цемент, шифер, гипс, оҳак, ғишт, оловбардош буюм, самарадор ғишт, кошин, қувур, дераза ойна, шишакристалл, диэлектрик, ўтказгич ва бошқалар) нинг структура ва хоссалари ҳам физик-кимёвий усулда текшириш орқали амалга оширилади.

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

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

Анъанавий ва 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 ва ишлатиладиган хом ашёлар ҳамда олинадиган материаллар ва маҳсулотларнинг кимёвий-минералогик таркиби, хоссалари ва уларнинг хусусиятларини аниқлаш, таҳлил қилиш, шунинг-дек патент излаш, адабиётлардаги маълумотларни тўплаш, ўрганиш ва бошқа-лар ҳам «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанининг асосий вазифалари қаторига киради.

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

3-§. Фанда қўлланиладиган асосий тушунчалар.

Силикат моддалар, минераллар, хом-ашъёлар ва маҳсулотларни физик-кимёвий усулда тахлил этишда жиҳозларни тўғри танлаш ҳамда шу жиҳозлар учун талаб асосида намуналарни тўғри тайёрлаш лозим бўлади.

Моддаларни микроскопия, электронмикроскопия, рентгенография, термография ва бошқа усулларда текшириладиганда техника хавфсизлиги қоида-ларига қатъий риоя қилиш, асбоб ва хоналарни нурларидан ҳимояловчи қопла-малар билан жиҳозлаш, хона ҳавосини янгилаб туриш муҳим аҳамиятга эга.

Физик-кимёвий тахлилнинг замонавий усулларида қўлланиладиган асосий қоида икки муҳит (физикавий ва кимёвий) - нур (тебраниш) билан кимёвий модда, камёб, тарқоқ ва нодир металл, силикат ёки зўрғасуюлувчан материал ўртасидан ўзаро мулоқат ва муносабатдир.

Нурлар (тебранишлар) ва уларнинг тўлқин узунликларига оид маълумотлар қуйида келтирилган 1 ва 2 жадвалларда берилган.

Ёруғлик нурлари ёки оқ нурларнинг таркиби мураккаб бўлиб, спектрнинг бизга маълум барча ранглари йиғиндисидан иборат, кўз билан кўриш мумкин бўлган рангларнинг тўлқин узунликлари 400 нм дан 760 нм гачадир. Улардан узун ва қисқа тўлқинлиги нурларни кўз билан кўриб бўлмайди.

1-жадвал

Электромагнит нурларининг тури ва уларга таалуқли тўлқин узунликлари

Нур турлари	Тўлқин узунлиги	
	А	Мк
Радиотўлқинлар	10^{13} - 10^7	10^9 -1000

Инфрақизил нурлар	$10^7 - 7,6 \times 10^3$	1000-0,76
Ёруғлик нурлари	$7,6 \times 10^3 - 4 \times 10^3$	0,76-0,40
Ультрабинафша нурлар	$4 \times 10^3 - 10^2$	0,04-0,01
Рентген нурлари	$10^2 - 10^{-1}$	0,01-0,00001
Гамма нурлари	$10^{-1} - 10^{-4}$	0,00001- 10^{-8}

Усулларда қўлланадиган асосий қоида - текширилаётган моддага йўналтирилган нурнинг қисмати. У қисман қайтади, қисман ютилади ва қисман ўтиб кетади. Турли мосламалар ёрдамида уларни ҳисобга олиш ва шу тариқа модданинг тузилиши ёки хоссаси ҳақида аниқ бир фикрга келиш физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари асосини ташкил этади.

2-жадвал

Ёруғлик нурларининг тури ва уларга таалуқли тўлқин узунликлари

Нур турлари	Тўлқин узунлиги	
	А	Мк
Қизил нурлар	$7,6 \times 10^3 - 6,4 \times 10^3$	0,76 - 0,64
Сариқ нурлар	$6,4 \times 10^3 - 5,8 \times 10^3$	0,64 - 0,58
Кўк нурлар	$5,8 \times 10^3 - 4,95 \times 10^3$	0,58 - 0,495
Ҳаворанг нурлар	$4,95 \times 10^3 - 4,4 \times 10^3$	0,495 - 0,44
Бинафша нурлар	$4,4 \times 10^3 - 4,0 \times 10^3$	0,44 - 0,40

Физик-кимёвий таҳлилнинг микроскопия усулида микроскоплар-поляризацион микроскоп ва металлографик микроскоп, шлиф ва аншлиф, кристалл формалари ва сингониялари каби тушунчалар кўп учрайди.

Рентгенография усулида рентген нури, рентген аппарати, рентген камераси, дифракция, дифрактограмма, рентгенструктуравий анализ, структуравий константалар, фазовий анализ кабилар кенг қўлланилади.

Термография усулида эндо- ва экзотермик эффектлар, дифференциал термик анализ, термогравиметрия, термограмма, дериватограмма, термик

эффeкт каби тушунчалар асосида тахлил олиб бoрилади. Эндoэффeкт ва экзo-эффeктлар пайдо бўлишининг негизида кимёвий ёки бошқа жараёнларда иссиқлик чиқиши ёки ютилиши ётади.

Инфрақизил спектроскопия усулида инфрақизил нури, ютилиш, ўтказиш ва қайтарилиш спектрлари, оптик призмалар ва уларнинг ўтказиш диапозони, спектрофотометрлар, глобар каби тушунчаларга асосланиб тадқиқотлар олиб бoрилади.

4-§. Физик-кимёвий тахлилнинг асосий усуллари.

Кимёвий модда, камёб, нодир ва тарқoқ металллар, силикатлар ва зўрға-суюлувчан материаллар, тоғ жинслари ва уларга ўхшаш сунъий маҳсулотлар жуда хилма-хил ва мураккаб. Шунинг учун уларнинг хусусиятлари ва тар-киблари ҳам турличадир. Бундай материалларни текшириш усуллари ҳам турлича бўлиб, улар-ни икки катта гpуппага ажратиш мумкин:

1. Оптика усуллари. Бу гpуппага умумий номи кристаллооптика деб ата-лувчи иммерсион тахлил, металлографик тахлил, монокристаллар тахлили кирган бўлиб, улар маҳсус оптика асбоблари-поляризацион ва металлографик микроскоп-лар орқали олиб бoрилади.

2. Кимёвий ва физик-кимёвий усуллар. Буларга петрографиянинг петро-кимё, петрургия, петрофизика каби сохалари киради. Бу усуллар ёрдамида силикат ва зўрғасуюлувчан 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 Ра-диометрик анализ усулларида фойдаланилади.

Петрокимё усули ёрдамида жинс ҳосил қилувчи элементларнинг тақсимланиши ҳисобга олинади. Минералогик - геокимё усулида эса жинслар

таркибига кирган тарқоқ холда ва миқдори оз бўлган минераллар аниқланади. Рентгеноэлек-трон 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 турди аппаратлар ёрдамида тектоник процесслар, уларнинг зичлиги, электр, ис-сиқлик ҳамда сейсмик тўлқинларнинг ўтказув-чанлиги каби хусусиятлари ўрганилади.

Силикат моддалар, бирикмалар ва материалларни физик-кимёвий тахли-лининг 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) магнетохимия;
- 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 ва мине-ралогик 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 ўта аниқ аниқлашда эса микроскопия усулидан кенг кўламда фойдаланилган.

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

Термография усули моддаларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процессларни ўрганади. Иссиқлик 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 чизиғи абсциса ўқидан пастга йўналтирилган, экзотермик реакциялар учун эса пол чизиғига нисбатан юқорига қараб оған бўлади. Шу жараёнларнинг бошланиш, максимал равишда ўтиш ва тугалланиш температуралари ўта аниқ аниқланади. Лекин бўлиб ўтган ўзгариш моҳиятини аниқлаш учун яна рент-генография, микроскопия каби усулларга мурожаат қилинади.

Кимёвий модда, камёб, тарқоқ ва нодир металл, силикат ва зўрғасуюлувчан моддалар тахлилини ўтказишда инфрақизил спектроскопия усули ҳам кенг қўлланилади. Бу ўринда кимёвий бирикмалар инфрақизил спектрнинг баъзи частоталарида уларни танлаб ютиш хусусиятига эга эканлиги қўл келди. ИК спектрнинг кўриниши модда табиати, 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 Å ёки 10^9 - 1000 мкм бўлган радио тўлқинларнинг резонанс ютилиши асосида ҳам ўрганиш методлари 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 -спек-троскопиясидан 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 Н нинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган энергия сатҳлари орасидаги ўтишларга асосланган радио-тўлқинларнинг 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, потен-циометрик титрлаш, полярография, анъанавий фотометрия, люминесценция киради.

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

Физик-механикавий таҳлил орқали аниқланадиган физик-механик кўрсат-кичлар: 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 тахлили орқали аниқланади: 1. Иссиқлик сиғими - кал/г град; 2. Иссиқлик ўтказиш коэффициентини - кал/см сек град ёки ккал/м час. град; 3. Ҳарорат ўтказиш коэффициентини - см²/сек ёки м³/соат; 4. Иссиқлик кенгайиш коэффициентини - 1/град x 10⁻⁷; 5. Иссиққа чидамлилиги - °С; 6. Оловбардошлиги - °С; 7. Кристалланиш - °С

Моддаларнинг электр тахлиliga асосланган хоссалари: 1. Ҳажмий электрўтказувчанлик - ом⁻¹ . см⁻¹; 2. Юзали электрўтказувчанлик - ом⁻¹; 3. Диэлектрик ўтказувчанлик; 4. Диэлектрик йўқотувчанлик; 5. Электр мустаҳкамлик - кв/см.

Модданинг оптик тахлиliga 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 тахлиliga асосланган хосса-хусусиятлар: 1. Сувга барқарорлик; 2. Кислотага бардошлиги; 3. Ишқорга турғунлиги; 4. Коррозиябардошлиги.

Бирикмаларнинг технологик тахлиliga асосланган хоссалар: 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 зўрғасуюлувчан 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 ва 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 усулларни биласиз?

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

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

10.Физик-кимёвий таҳлил усулларини 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 ривожи.

Анорганик моддалар кимёси ва технологиясида кимёвий моддаларнинг хоссалари ва сифатини ўрганишда кенг қўлланиладиган қадимий усул микроскопиядир. Микроскопия илмий-текшириш ишлари олиб боришда микроскопни қўллаш ва микроскопик препаратлар ёрдамида жуда кичик, майда, фақат микроскоп билангина кўринадиган зарарчаларнинг специфик

хосса-хусусиятларини аниқлашга қаратилган усулдир. У аниқ кимёвий метод-лардан фойдаланиб, жуда оз миқдордаги моддаларни анализ қилиш имконини беради.

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

Маида объектларни кўрсатувчи маъносини англатувчи “микроскоп” термини ҳаётга 1646 й. немис олими А. Кирхер ва поляк астрономи И. Гавелия томонидан тадбиқ этилди. Аммо микроскопия усулининг “отаси” сифатида бутун дунёда голландиялик А. Левенгук ва англиялик тадқиқотчи Р. Гук ҳисоб-ланади. А. Левенгук ўз қўли билан ясаган микроскоп орқали инсоният тарихи-нинг оламшумул ихтиросини яратади. У сув томчиларида шу давргача маълум бўлмаган жонли модда микроблар борлигини аниқлаб, янги фан “микро-биология” 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 ўзи яратган нурли микроскоп орқали ўсимлик ва ҳайвонларнинг хужайрали тузилишга эга эканлигини кашф этди.

Умуман олганда юз йилча давом этган бу даврда микроскопдан кенгрок 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 “Қимматбахо тошлар”, бухоролик Абу Али ибн Сино (980-1037) нинг “Тошлар ҳақидаги трактат” ва бошқа олимлар асарларида келтирилган мине-раллар тавсифи тасдиқ топди. Даниялик олим Эразма Бартолин 1669 й. ёруғ-лик нурини синдириш кўрсатгичи кристалларда иккита бўлиши мумкинлиги, француз мухандиси Этьен Малюс 1808й. 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 хисса қўшдилар.

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

Микроскопик тахлилнинг 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 англия-лик 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.Гес-сель тадқиқотлари туфайли 1831 йилда кристалларнинг 32 симметрияси, 1891 йили эса рус олими Е.С. Федоров ва

немес математиғи А.Шенфлис томонидан 230 хил симметриянинг фазовий группалари борлиғи тасдиқланди.

7-§. Кристаллооптика усули.

Табиий ва сунъий кимёвий бирикмалар, хом-ашъё, материал ва буюмлар, минерал ва композицияларнинг оптик кўрсаткичларини уларнинг кристалл шакллари, таркиби ва симметрия қонуниятларига бўғлиқ холда ўрганув-чи фан соҳаси кристаллооптика деб аталади. Бу соҳа физика, кристаллография ва минералогия фанлари билан боғлиқдир.

Кристаллооптикада кристалл тузилишига эга бўлган силикатлар ва зўрғасуюлувчан материаллардан нур тўлқинларининг ўтиши ходисалари ўрганилади. Унда тадқиқотлар нур ва унинг турли шароитда тарқалишини кузатиш ва тегишли хулоса чиқариш орқали олиб борилади.

Нур тўлқинлари электромагнит тўлқинларидан бирмунча қисқалиғи билан фарқланади. Инсон узунлиғи 400-760 ммк га тенг бўлган нур тўлқинларинигина кўра олади. Электромагнит тўлқинлари электр ($E-E_1$) ва магнит ($M-M_1$) тўлқинларидан иборат. Бу тўлқинлар бир-бирига ва шу билан бирга ёруғлик энергиясининг тарқалиш йўналишига перпендикулярдир. Мана шу ёруғлик энергияси тарқаладиган йўналиш нур деб аталади (1-расм). Кристаллооптика усулида нур тарқалишини кузатиш орқали олиб борилади.

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

1. Нур синдирилиши ва синдирилиш кўрсаткичи- N_g , N_m ва N_p ;
2. Нурни иккиланиб синдириш кучи – (N_g-N_p) ёки ΔN ;
3. Нур поляризацияси – бир текис поляризацияланган нурларни хосил қилувчи ва микроскопик столчаси остадаги поляризатор орқали бажарилади;
4. Нур интерференцияси – интерференцион рангларнинг пайдо бўлиши;

5. Нисбий миқдорни аниқлаш–окуляр сетка ва интеграцион столча орқали;

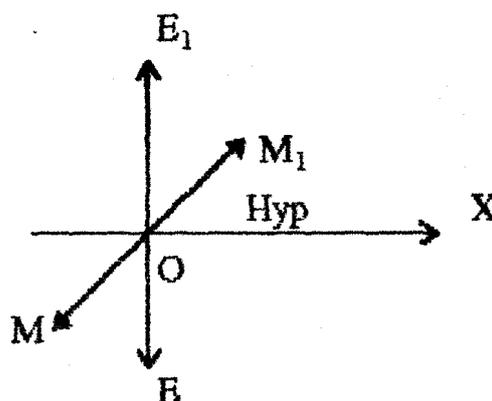
6. Кимёвий бирикма ва минераллар рельефи – Бекке чизиги;

7. Плеохроизм – модданинг ютиш (абсорбциялаш) қобилиятлари;

8. Минерал ўқлари – Ng ва Np ўқлари;

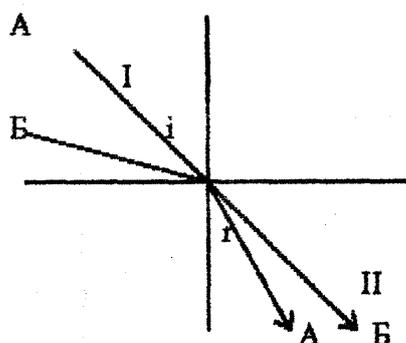
9. Моддаларнинг узайиш белгиси – мусбат ва манфий узатиш;

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

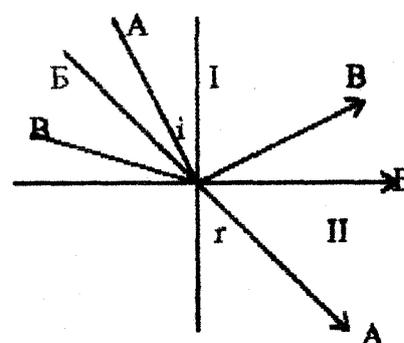


1-расм. Нур ва электромагнит тўлқинларининг йўналиши.

E - E_1 – электр тўлқинлари ва M – M_1 – магнит тўлқинлари.



2-расм. A ва B нурларининг камзич мухитдан зич мухитга ўтишидаги синиши. Бурчак $i > r$, $v_1 > v_2$ ва $n_1 < n_2$.



3-расм. A, B ва B нурларининг зич мухитдан камзич мухитга ўтишида-ги синиши ва қайтарилиши. Бур-чак $i < r$, $v_1 < v_2$ 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 мухитдаги ёруғлик тезлигининг иккинчи мухитдаги ёруғлик тезлиги нисбатига тенг.

$$n_{\text{абсолют}} = \sin i / \sin r = v_{\text{бўшлиқ}} / v_{\text{мухит}} ,$$

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

Нисбий нур синдириш кўрсаткичи деб, икки шаффоф оптик мухитда ёруғлик тарқалиш тезлигининг (ёки $\lambda=583,3$ ммк, 15°C ва симоб устунининг 760 мм тенг бўлган тўлқин узунлигидаги электромагнит тебраниш) нисбатига айтилади .

Агар иккинчи мухит сифатида ҳаво танланса, у ҳолда

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

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

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 –С. Сингонияси – куб, фазавий группаси – $Fd3m$, $z=8$, $a=3.567\text{Å}$, $b=3.567\text{Å}$, $c=3.567\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$.

Альмандин – $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$. Сингонияси – куб, фазавий группаси – $\text{Ia}3d$, $z=8$, $a=11.53\text{Å}$, $b=11.53\text{Å}$, $c=11.53\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ 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– $\text{P}6/\text{mcs}$, $z=2$, $a=9.20\text{Å}$, $b=9.20\text{Å}$, $c=9.22\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ 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– $\text{P}42_1\text{m}$, $z=2$, $a=7.738\text{Å}$, $b=7.738\text{Å}$, $c=5.045\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ 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– $\text{R}3$, $z=18$, $a=13.94\text{Å}$, $b=13.94\text{Å}$, $c=9.31\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ 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 , $z=4$, $a=4.815\text{Å}$, $b=11.08\text{Å}$, $c=6.37\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ 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– $\text{C}2/c$, $z=4$, $a=9.73\text{Å}$, $b=8.91\text{Å}$, $c=5.25\text{Å}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=105.83^\circ$ 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– $\text{P}1$, $z=4 \times 2$, $a=8.18\text{Å}$, $b=12.88\text{Å}$, $c=7.08 \times 2\text{Å}$, $\alpha=93.165^\circ$, $\beta=115.85^\circ$ ва $\gamma=91.215^\circ$.

Улар ўз навбатида симметрия бўйича 32 классни, элементар трансляциялари харакати бўйича 14 турли Бравэ панжарасини ва кристаллар клас-сификацияси бўйича 230 Федоров группасини беради.

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

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 қонунла-рига бўйсинади ва ҳамма йўналишларида бир хил тезликка эга.

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

5-7. Қўйи сингонияда - N_g , N_m ва N_p мавжуд бўлиб, бунда $\Delta N = N_g - N_p$ 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 характерлидир.

Тўғри ва эгри сўниш фақат 1 сингония - моноклинга таалуқли.

Фақат эгри сўниш бир сингония - триклин кристалларига хос.

5. Узайиш белгиси. Кристалларнинг 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 $n_o < n_e$, яъни бу ерда $n_o = n_p$ ва $n_e = n_g$ бўлади. Манфий белгили кристалларда эса $n_o = n_g$ ва $n_e = n_p$ бўлади.

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

8. Габитус. Турли-туман минераллар габитуси, яъни ташки 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 бурчак-ли 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 ҳо-латида бўлиши мумкин. Бу ҳолат кўпроқ поликристалларга таалуқли. 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. Қўшалокликлар. Икки ёки ундан кўп бир хил кристалларнинг қонуний бирикишига қўшалоклар дейилади. Оддий қўшалок икки индивиднинг бирикишидан иборат. Полисинтетик қўшалок кристалларнинг параллел текисликлари бўйлаб ўсишидан, панжаралик қўшалоклик икки томон йўналишдаги полисинтетик қўшалокларнинг бирикишидан, секторсимон қўшалокли тўрт ёки олти қисмларга бўлинган айлана сектор қўшалокликларидан ташкил бўлади.

12. Минераллар ранги ва плеохроизм. Баъзи-бир анизотроп минераллар-нинг 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 қобилитини (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 тўғрисида сезилувчан бўлади.

9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари.

Микроскопик таҳлилдан қўйидагиларни билиш мумкин:

- 1) кристалларнинг идентификацияси учун уларнинг оптик константаларини ўлчаш йўли билан ($N_g, N_p, \Delta N$ ва бошқалар);
- 2) кристалларнинг тузилиши, кристаллохимёвий хусусиятини дастлабки босқичда аниқлаш учун;
- 3) хом-ашъё материаллари ва уларни кўйдириш 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 – пишма-ганлиги, ғишт ва бетонлар структурасининг етилган-етилмаганлиги) сабаблари-ни 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 қобилиятларини ажралиш текислиги ораси-даги бурчаклар қиймати билан;
- 17) минерал ёки кимёвий модданинг узайиш белгиси ёки асосий йўналишини топип учун;
- 18) сўниш бурчаги C:Ng ни аниқлаб олиш учун;
- 19) қўшалок – полисентетик, панжарали ва секторсимон.

10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари.

Микроскопик таҳлил усулининг афзалликларига қуйидагиларни кўрсатиш мумкин:

- 1) талқин этишнинг соддалиги;
- 2) олинган натижанинг тўлалиги;
- 3) олинган натижанинг ишончлилиги;
- 4) олинган натижанинг тезкорлиги (1-10 минут);
- 5) 0,3 мкм гача (ёруғлик микроскопларида) бўлган майда заррачаларни фарқлаш имкони (ультрабинафша микроскопларида 0,2 мкм гача);
- 6) микроскоп тузилишининг оддийлиги (соддалиги);
- 7) фотоматериал, пластинка ва пленкалар ёрдамида визуаль кузатилаётган микротузилиш ҳолатининг документаллаштириш, яъни фотографиясини олиш мумкинлиги;
- 8) такомиллаштирилган ион проекторли микроскопларда ўлчами 0,1 мм дан то 10^{-10} м (1 Å) гача бўлган дефектларни аниқлай олиши;

9) текширишни паст ва юқори ҳароратда, ультрабинафша ва инфрақизил нурлар иштирокида, ультра товуш таъсирида олиб бориш мумкинлиги.

Микроскопик таҳлил усулининг камчиликлари сифатида қуйидагиларни кўрсатиб ўтишимиз мумкин бўлади:

- 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 хар куни уларнинг таъсирини назорат қилишни муҳимлиги;
- 5) ўлчаш ноаниқлигининг катталиги, $\pm 0,03$;
- 6) юқори даражали катталаштиришда юстировка операциясининг мурак-каблиги;
- 7) нур синдириш кўрсаткичи яқин бўлган моддалар кимёвий таркибини аниқлаш қийинлиги.

11-§. 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 аппаратлари тури жуда кўп. Улар қаторига А. Левенгук ва Р.Гукларнинг шиша линзаларидан тортиб замонавий микроскоплар-гача киради.

Замонавий микроскоплар қаторига қуйидагилар киради:

1. Нурли микроскоплар. Уларнинг қаторига линзали телескоп - рефрак-торлардан тортиб икки нурли микроинтерферометрларгача киради. Ҳозирги кунда қўлланиладиган нурли микроскоп поляризацион нурни қўллашга асос-ланган.

2. Электрон микроскоплар. Уларда катод нурларидан фойдаланиш орқа-ли катта ютуқларга эришилди. Улар қаторига 1931 йили немис олимлари М.Кноллем ва Э.Руск томонидан яратилган электрон микроскопларида тортиб то ҳозирги замонавий интерференцион электрон микроскопларгача киради. Назарий жиҳатдан бундай микроскопларда 100 \AA° гача, амалий жиҳатдан эса 500-1000 \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 тасвири ультра товушли микроскоп ва бошқалар киради.

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

5. Автоэлектрон микроскопияси. Автоэлектрон микроскоп - зондли анализатор тоза юзалар билан ишлашга мўлжалланган. Улар ёрдамида металл-плёнкали системалар 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 таалуқли 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 ҳажми

катталаштиришда ёруғлик манбаи бўлиб оддий стол лампаси хизмат қилади. Ҳажми жуда катталаштиришда эса ОИ-9 ва ОИ-19 каби сунъий ёритгичлар 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 объектиларни 17,5 X дан то 1350 X 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:

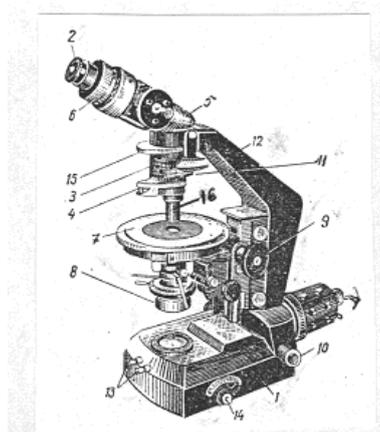
1- микроскоп асоси - массив плитка. Унинг ичига конденсор линза ва буриш призмалари жойлаштирилган.

2-окуляр.У5X ,6X, 8X,15X ва 20X марта катталаштиришга имкон беради;

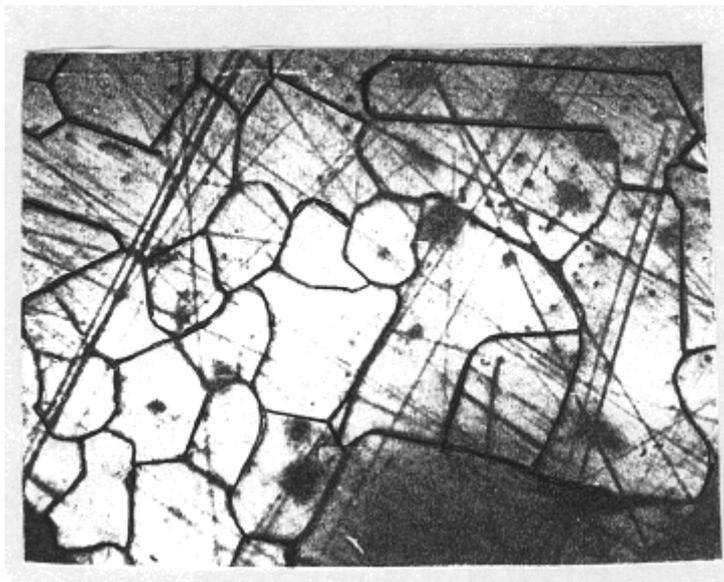
3- тубус. У тутгичнинг юқори қисмига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Ту-бус ўйиғига анализатор ёки бошқа компенсаторлар мосламаси ўрнатилган

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

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



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



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

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

7- предмет столчаси. Унинг устига текширилаётган объект ўрнатилган бўлади. Предмет столчаси кронштейнга ўрнатилган бўлиб, катта тишли сил-житиш меха-низми ёрдамида юқорига-пастга харакатланади;

8- конденсор. У ўрнатилиши ёки олиб қўйилиши мумкин;

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

10-харакатлантирувчи дасталар. Улар микроскоп асосининг икки томонидаги механизмни харакатлантирадилар;

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

12- микроскоп дастаги;

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

14- линза ёритиш системасидан ташқарига чиқарилган даста;

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

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

МИН-8 микроскопи текширилатган объектни бир ёки икки николь ёрдамида кўриш имкониятини беради. Битта николь билан иш олиб борилган-да анализатор оптик системадан чиқарилган бўлиб, ёруғлик нурлари бир-бирига параллел жойлашган бўлади.

Икки николь билан тадқиқот олиб борилганида нур параллел ёки учрашувчан бўлиши мумкин. Нурлар параллел бўлганида модданинг изотроп ёки анизотроплиги ҳамда нурнинг сўниш характери аниқланади. Жумладан сўниш тўғри, ўткир 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 текширилатган объект ва мухит (суюқ ёки қаттиқ)нинг нур синди-риш 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 майдонининг 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 бўйича оддий ва поляризацион ёруғликда текшириладиган 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 катталатиради.

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, текшириладиган объект устида бир фикрга тез келиш учун имкон беради.

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

Ушбу рефрактометрлар ёрдамида иммерсион суюқликлар эталонига таълуқли суюқликлар кўрсаткичи ўзгарган ёки ўзгармаганлиги ҳам тасдиқланади. Уларнинг ўлчаш аниқлиги n бўйича 2×10^{-4} ва ўртача

дисперсия бўйича $1,5 \times 10^{-4} \cdot n$ нинг λ га боғлиқлик ўзгариши дисперсияни беради. Кўк (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 юклагани 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, P -ўткир олмос пирамидага қўйилган оғирлик, кг
 d -туширилган тасвир диагонали узунлиги, мм.

ПМТ-3 аппаратининг тузилиши ўта содда бўлиб, у ўзининг компактлиги ва вазнининг енгиллиги билан ажралиб туради. Унда аниқланадиган микроқат-тиқлик ўзига хос диагностик характеристикадир.

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

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 типдаги ёритгич икки линзали коллектор ва лампочкадан ташкил топган. Лампа 127 220 в ли манбадан камайтирувчи трансформатор орқали ишлатилади. Бу турдаги ёритгич препаратни ўтувчи нурда ёритишга хизмат қилади.

ОИ-24 типдаги ёритгич препаратни ўтувчи нурда ёритиш ва тасвирини тушириш учун хизмат қилади. Унинг лампаси 12 в ва 100вт да, 127/220 в ли манбада камайтирувчи транспорматор орқали ишлатилади.

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

2.Объектни кузатиш учун мосламалар. АУ-29 типдаги бинокуляр мослама - объектни бир вақтнинг ўзида иккала кўз билан кўришга мосланган. Бунда микроскопда ишловчининг толиқиши камаяди ва шу билан бирга кузатиладиган картинани аниқроқ кўришга имкон беради.У МИН-8 ва МИД-1 микрокопларига ўрнатилади.

Бинокуляр 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 пленка учун пленкали камерадан ташкил топган бўлади.

4. Объектни монохроматик нур ёрдамида ёритишга мўлжалланган мосламалар. Бу мақсадда МПФ-1 типдаги монохроматор ишлатилади. Ёри-тиш диапозони 420-650 нм. Унинг ишчи бўлаклари: револьверли фильтр ўрнатилган диск бўлиб, у 650, 610, 550 ва 450 нм да

максимал ўтказиш учун хизмат қилади. Дискнинг олтинчи тешиги препаратга оқ нур туширишга имкон беради.

5. Микроскопларнинг катталаштириш даражасини таъминловчи мослама-лар. Улар қаторига объектив (объектни катталаштирувчи линза, ёки бир нечта линзалардан ташкил топган муракаб оптик система) ва окуляр (кўриш учун катталаштириб берувчи система, у цилиндр шаклидаги металл трубага ўрнатилган иккита линзадан ташкил топган) ларнинг тўплами киради. Объект-нинг катталаштириш даражаси (4-жадвал):

4-жадвал

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 русуми мослама қўлланилади. У объективнинг микроскоп билан катталаштирилган тасвирини расмга олиш ва проекциялаш учун хизмат қилади. Аппарат билан қоронғи хонада ишлаш зарур. Ёритқич сифатида эса ОП-24 типдаги ёритгичлар ишлатилади.

7. Иммерсион микрорефрактометр мосламаси. Бундай асбоб ёрдамида стандарт иммерсион суюқликларининг ва иммерсион препаратларидаги модда-ларнинг ёруғлик нуруни 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 хўл усулларда тайёрлаш ва тадқиқотлар ўтказиш учун асосан қуйида батафсил баён қилинган уч усулдан фойдаланилади.

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

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



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



Текширилаётган моддани майдалаш ва туйиш.



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



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



Фильтр 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 ва керак бўлса тасвирини фотография усулида тушириш.

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

Диаметри 300 мм ли шлифовка станогида силлиқлантирувчи 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 қалинликгача шлифовкалаш (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



Канифол, 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 полировка қилиш. Дискнинг
айланиш тезлиги минутига 400-500 марта. Силлиқловчи суспензия-хром
окси-ди 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 ўрнатилади



Металлографик микроскоплар ёрдамида тадқиқотлар олиб борилади.

14-§. Микрофотография намуналари.

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

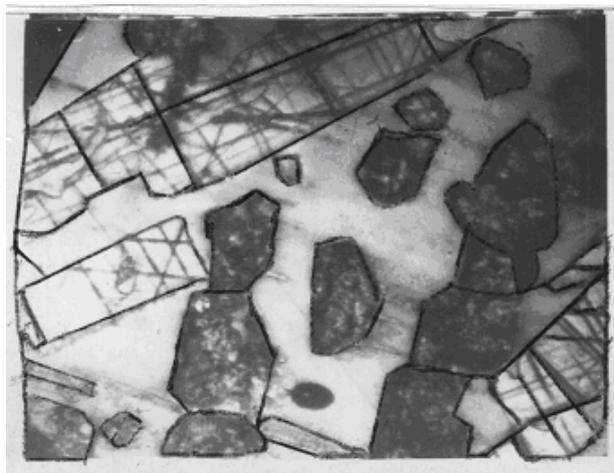
Барча микроскопларга фотоаппаратлар ўрнатиш мумкин. Тасвир қайтган ва ўтувчан нур асосида пайдо бўлиши ва олиниши мумкин. Қуйидаги 5-8 расмларда ўзига хос кристалларнинг микрофотолари берилган.

5-расмдаги фото стронций-лантан алюминати $\text{SrLaAl}_3\text{O}_7$ га таалуқли. 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 ва фотопластинкага тушурилган. Аншлиф олдиндан махсус кимёвий эритма ёрдамида ишланган. Шу туфайли тетрагонал сингонияга эга бўлган мелилитсимон кристалл доналарининг кўриниши ва ўлчами хақида аниқ маълумотга эга бўлинди.

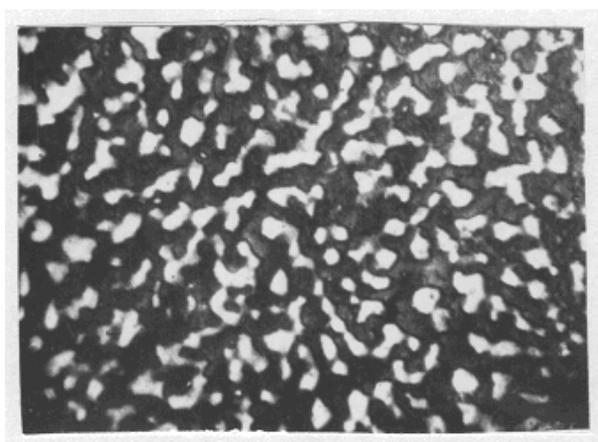
6-расмда SrSiO_3 - CaMgSiO_6 эвтектик диаграмм ҳолатига оид фото келтирилган. Бу диаграмма 37,5 SrSiO_3 ҳолатида 1310°C ли эвтектика ҳосил қилади. Расмдаги оқ майдон диопсид минералига таалуқли бўлиб, призма шаклидаги кристаллар SrSiO_3 қаттиқ қотишасига тўғри келади. Фото олишга тайёрланган наъмуна 1450°C ли хароратда 5 соат ушланган. Эритувчи модда сифатида махсус аралашма ($10\text{мл H}_2\text{SiF}_6 + 10\text{мл H}_2\text{O} + 1\text{мг CoCl}_2$) ишлатилган. Аралашманинг таъсир этиш вақти - 10 сек. Катталаштириш 400 марта.

7-расмда " $60\text{ SrSiO}_3 + 40\text{ CaMgSi}_2\text{O}_6$ " таркибли шишани эвтектика нуқтаси (1310°C) дан пастда, яъни 1150°C ли хароратда 5 соат ушлаш натижасида ҳосил бўлган квази эвтектика кўриниши берилган. Қора майдон SrSiO_3 қаттиқ қотишмасига тегишли, оқ доналар эса диопсид минерали

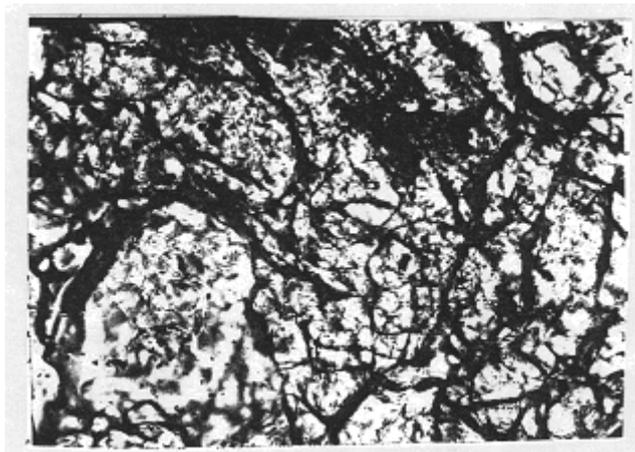
доначаларидир. Олтингугуртга қотирилган наъмуна юқорида таркиби келтирилган махсус модда ёрдамида 3-4 сек давомида ишланган.



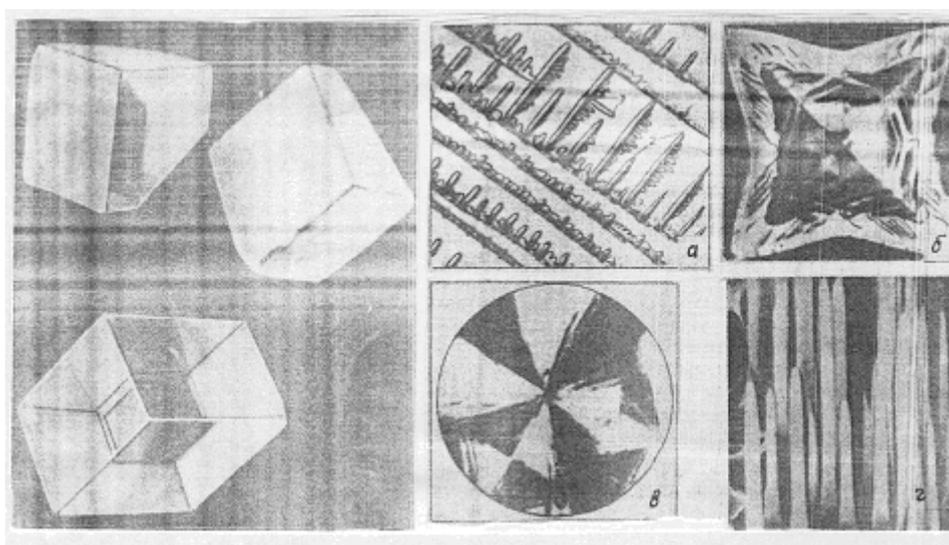
6-расм. "60 SrSiO₃ + 40 CaMgSi₂O₆" ли шихта асосида олинган шишани 1450°C ли хароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган тасвир. 400 марта катталаштирилган.



7-расм. "60 SrSiO₃ + 40 CaMgSi₂O₆" асосида олинган шишани 1150°C ли хароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган квазиэвтектикага оид тасвир. 600 марта катталаштирилган.



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



9–Шаффоф кальцит-исланд шпати кристалларининг кўриниши

10-Камқиррали кристалларнинг шакл-лари: а-дендритлар; б-скелетлар; в-сфе-ролитлар; г-ипсимон кристаллар.

Ўтган нурлар ва ёқилган анализатор ёрдамида аншлифдан олинган $\text{CaTRGa}_3\text{O}_7$ кристалларига оид фото 8-расмда берилган. $\text{CaTRGa}_3\text{O}_7$ шихтаси $1250-1300^\circ\text{C}$ ли хароратда қаттиқ фазали реакциялар усули бўйича пиширил-ган. Катталаштириш миқдори 600. Наъмуна махсус бирикма ёрдамисиз олинган. Кристалл доначаларининг чегаралари сув таъсирида пайдо бўлган. Умумлаштириб олинганда кристалларнинг шакли уларнинг

турғун холати ёки реал холатига боғлиқ, шу жумладан кристалларнинг ташқи қиёфаси ёки кристалларнинг ўсиши ташқи мухитга ўта боғлиқдир.

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

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

бу ерда S_i –кўпқиррали кристалл i –қиррасининг майдони; σ_i - бу қирранинг солиштира ташқи энергияси; V –кристалл хажми.

Кристалларнинг реал шакли юқорида айtilган шартларга амал қилинмаган холатда рўй беради. Унинг тузилиши фақат сингониясига боғлиқ бўлиб қолмай, шу билан бирга уларнинг туйиниш даражаси, харорат, ташқи мухит 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 холатидан реал холатига ўтганда дендрит, скелет, сферолит ва ипли кристаллар хосил бўлади (10-расм). Бир қараганда бир-бирига ўхшаш туйилган 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 характеристикалари

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

5-жадвал

Мухим ва кўп тарқалган тупроқ минералларининг оптик хусусиятлари.

№	Минералнинг номи	Нур синдириш кўрсаткичи			Габитус
		Np	Ng	Ng-Np	
1.	Каолинит (триклин, Z=2) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.553	1.560	0.007	Олти бурчак шаклидаги пластинкалар
2.	Галлуазит $2[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot (4\text{H}_2\text{O})$	1.526- 1.532	-	-	Майда доначалар
3.	Галлуазит $2[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.548- 1.556	-	-	Майда доначалар
4.	Монтмориллонит (Ca, Mg) $\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4-5\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	1.480- 1.590	1.5161 .630	0.036- 0.040	Жуда майда доначалар, қирримсимон
5.	Нонтронит* $\text{Fe}(\text{OH})\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.565- 1.600	1.6001 .640	0,035- 0,040	Майда доначалар чўзилган пластинка майдончалари
6.	Иллит	1.45	1.57	0,12	Слюдасимон, яхшири-вожланмаган гексагонал шаклдаги тангалар
7.	Монотермит $0,2 (\text{K}, \text{Na}) \text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		$N_m =$ 1.55- 1.57	-	Нозик тангасимон
8.	Пирофиллит (моноклин, Z=4) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.552	1.600	0.008	Радиал-пластинкали, япроқсимон, доначаларнинг тўла агрегатлари.

*Нонтропит: $m[Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2]p[(Fe,Al)_2(Si_2O_5)_2(OH)_2]nH_2O$

дириш кўрсаткичиси, сингонияси, габитуси ва бошқа хусусиятлари билан бир-бирларидан фарқланади. Шунинг учун номаълум модданинг оптик хосса-ларини аниқлаш ва уларни эталон ёки маълум моддаларнинг кўрсаткичларига таққослаш асосида унинг қайси модданинг кристалли эканлигини айтиш мумкин.

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

Қуйидаги 6-жадвалда оксидлар кўрсаткичига оид маълумотлар берилган.

6-жадвал

Баъзи оксидларнинг 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-Кристаллит	β-SiO ₂	1.487	1.484	0.003	Октаэдрлар, дона-чалар қўшалоклар
4.	α-Кристаллит	α-SiO ₂	1.466		-	Тангачалар, доналар
5.	γ-Глиназём	γ-Al ₂ O ₃	1.696		-	-
6.	β-Глиназём	β-Al ₂ O ₃	1.655	1.630	0.025	-
7.	α-Глиназём	α-Al ₂ O ₃	1.768	1.760	0.008	Устунсимон, пир амидасимон
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		-	Октаэрд 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.	Қўрғошин оксиди	PbO	2.665	2.535	0.130	Таблицалар

5-жадвалдан тупроқ минералларининг оптик кўрсаткичлари бир-бирига яқинлиги кўриниб турибди. Тупроқ минералларидан оксидларга ўтадиган бўл-сак, хоссаларидаги фарқ сезиларлироқ даражада бўлади. Айниқса, SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO ва Fe₂O₃ орасидаги тафаввут 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 системаларни таҳлил қилишда у қўл келади.

Қуйидаги 7-жадвалда CaO-SiO₂ тизимида оид маълумотлар берилган.

7-жадвал

CaO-SiO₂ системасининг кристаллик фазалари

Бирикма	Кристалл Система	Габитус	Ажралиш қобилияти	Ng	Np	2 V°	Оптик белги
Ca ₃ SiO ₅ (алит)	Гексагонал	Олтибурчакли пластинка ва доначалар	Аниқ эмас	1.723	1.717	0	(-)
•-Ca ₂ SiO ₄	Гексагонал	Олтибурчакли пластинка ва доначалар	-	-	-	-	-
•'-Ca ₂ SiO ₄ (брeдигит)	Ромбик	-	-	-	-	-	-
γ-Ca ₂ SiO ₄	Ромбик (оливин туридаги структура)	Призмалар	(010) текислиги бўйича аниқ	1.654	1.642	60	(+)
••-Ca ₂ SiO ₄ (метастабил, белит, фелит, ларит)	Моноклин	-	(010) ва (100) бўйича аниқ	1.735	1.717	Кат-та	(+)
Ca ₃ Si ₂ O ₇ (ранкинит)	Моноклин	Призмалар	-	1.650	1.641	Кат-та	(+)
•-CaSiO ₃	Псевдогекс	Узун призма,	(001)	1.654	1.610	0-8	(+)

	-сагонал, триклин	доначалар	бўйича, баъзан (001)бўйича қўша-лоқлар				
•-CaSiO ₃ (воллас- тонит)	Триклин	Доскасимон индивидлар	(100)бўйича аниқ	1.631	1.616	39	(-)

16-§ Диагностика мақсадларида фойдаланиладиган микроскопик кўрсаткичлар

В 5222400 – «Кимёвий технология» йўналишининг «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси» соҳаси хомашёлари, яримфабрикатлари, материаллари ва буюмларини бир-биридан ажратиб олишдан микроскоп ва унинг ёрдамида аниқланадиган 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 системасига мойил бўлган кимёвий моддалар учун нур синдириш кўрсаткичи барча йўналишларда бир хил қийматга эга. Тузилиши бўйича гексагонал, тетрагонал ва ромбикли структураларга таъллуқли моддаларда бундай қиймат икки турли бўлиб, улар Ng ва Nr кўрсаткичлари номи билан аталади. Тузилиши жиҳатидан ўта мураккаб бўлган моноклин, тригонал ва триклин структурали сунъий ва табиий кристал 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

Ng – Nr ва $2V$ лар қийматини нисбий аниқлаш шкаласи

Нурни иккиланиб синиш шкаласи		Оптик ўқларнинг бурчак катталиги шкаласи	
Ng-Np нинг нисбий аниқлаш	Ng-Np нинг кўзда тутилган қиймати	2V нинг нисбий қиймати	2Vнинг кўзда 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°)

9-жадвал

Табиий ва сунъий кремнийли кимёвий бирикмаларнинг бир қисмига оид асосий микроскопик кўрсаткичлар

Модда	Нур синдириш кўрсаткичлари			Бошқа кўрсаткичлар
	Ng	Np	ΔN	
$2Li_2O \cdot SiO_2$	1.610	1.602	0.008	Ромбик (псевдогексагональ) сингонияли. Донсимон ва қўшалок кристаллар. Оптик белгиси (+), 2V кичик, $\rho_{тажр.} = 2.39 \text{ г/см}^3$. 1255°С да инконгруэнт эрийди (Li_2O ва су-юқликга ажралади).
$Li_2O \cdot SiO_2 - I$	1.670	1.650	0.020	Ромбик (псевдогексагональ) сингонияли, $a=9.361$, $b=5.395$, $c=4.675$ Å, $Z=4$, $Li_{к.с.}=4$. Кристаллари нина-симон ва призмалар кўринишида. Оптик белгиси (+), $2V=0^\circ$, ажра-лиши-узун томон бўйлаб, $\rho_{тажр.} = 2.524$ ва $\rho_{хис.} = 2.535 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1200°С.
$Li_2O \cdot SiO_2 - II$	1.599	1.587	0.012	Тетрагональ сингонияли, $a=9.39$, $c=5.92$ Å, Кристаллар габитусини-насимон. Бир ўқли, мусбат.

$\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.558 1.547 $N_m=1.550$	0.011	Ромбик сингонияли, $a=5.80 \pm 0.02$, $b=14.66 \pm 0.05$, $c=4.806 \pm 0.015$, $Z=4$. Донсимон ва тўғри бурчакли жад-валсимон кристаллар. Оптик бел-гиси (+), $2V=50-60^\circ$, Ажралиши–уч йўналишда 90° ли бурчак ос- тида, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.454$ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 2.438 г/см^3 . Эриш нуқтаси 1032°C .	
α - Эвкрипит - $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$1.587 \pm$ 0.002	1.572 \pm 0.002	0.015	Гексагональ сингонияли, $a=13.54$ ва $c=9.01 \text{ \AA}$. Кристалларининг габитуси – пирамидалар ҳолида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.64$ г/см^3 Эриш нуқтаси 1388°C .
β - Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$1.524 \pm$ 0.003	1.520 \pm 0.003	0.004	Гексагональ сингонияли, $a=5.27$, $c=11.25 \text{ \AA}$, $Z=3$. Кристаллари бипирамида кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.35 \text{ г/см}^3$.
α - Сподумен – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.750 1.720 $N_m=1.730$	0.030	Моноклин сингонияли, $a=9.50$, $b=8.30$, $c=5.24 \text{ \AA}$, $\beta=110^\circ 28'$, $Z=4$ Нинасимон кристаллар. Икки ўқли, мусбат, сўниш бурчаги 30° атрофида, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.2 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1380°C .	
β - Сподумен – $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.522	1.516	0.006	Тетрагональ сингонияли. Бипирамидасимон кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.41$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1423°C .

Петалит - $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	1.516 1.504 $N_m=1.510$	0.012	Моноклин сингонияли, $a=11.77$, $b=5.13$, $c=15.17\text{\AA}$, $\beta=112^\circ 44'$. Кристаллар габитуси-нинасимон. Икки ўқли, мусбат. $2V=83^\circ 34'$, $\rho_{\text{тажр.}}=2.42 \text{ г/см}^3$, қаттиқлиги 6.5, кислоталарда (HF дан ташқари) эримаЙди.
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.540 1.536 $N_m=1.538^*$	0.004	Ромбик сингонияли, икки ўқли, $2V=53^\circ$. Эриш нуқтаси 870°C .
$\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2$	1.515 1.510 $N_m=1.512$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли, $2V=85-90^\circ$. Эриш нуқтаси 815°C .
$\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.520 1.515 $N_m=1.517^*$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли. Эриш нуқтаси 830°C .
$\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 7\text{SiO}_2$	1.555 1.550 $N_m=1.552^*$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли. $2V=13^\circ$. Эриш нуқтаси 880°C .
$2\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 7\text{SiO}_2$	1.540	-	Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси 900°C .
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.571 1.552 $N_m=1.557$	0.019	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма кўринишида. Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта. Эриш нуқтаси 847°C .
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.870 1.843	0.027	Гексагональ сингонияли, бир ўқли, манфий.
$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.535 1.525 $N_m=1.528^*$	0.010	Ромбик сингонияли. Кристаллари столба кўринишида, икки ўқли.
$2\text{LiF} \cdot \text{SiF}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.300 1.296 $N_m=1.298^*$	0.004	Моноклин сингонияли, $\rho_{\text{тажр.}}=2.33 \text{ г/см}^3$.
$\alpha - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.537 1.524 $N_m=1.530^*$	0.013	Моноклин сингонияли. Полисин- тетик қўшалок кристаллар ҳоли- да. Икки ўқли, сўниш бурчаги 8° гача. 1089°C да парчаланеди, 960°C да бошқа формага ўтади.

$\beta - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.536$	Кучсиз	Пластинка шакли кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), сўниш бурчаги 15° атрофида, $\rho_{\text{тажр.}} = 2,58 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	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, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.500$ 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. $2V^\circ = 50-55$, оптик белгиси (-), узайиш белгиси (+), ажратиш қобилияти (100) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.47 \text{ г/см}^3$. 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, $a = 12.26$, $b = 4.80$, $c = 8.07 \text{ \AA}$, $\beta = 104^\circ 18'$, $Z = 4$. Кристаллари ингичка псевдогексагонал пластинка шаклида, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.56$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.628 \text{ г/см}^3$. Элементар панжара ўлчамлари:
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.529 1.524 $N_m = 1.526^*$	0.005	Ромбик сингонияли. Пластинка-симон кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тажр.}} = 2.96$ ва $\rho_{\text{шиша}} = 2.60 \text{ г/см}^3$, 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, $a=4.90 \pm 0.02$, $b=23.4 \pm 0.1$, $c=15.4 \text{ \AA}$, $Z=4$. Моноклин сингонияга хос кристаллар. Икки ўқли, фазовий группаси C_{2h}^5 - $P2_1/c$, $\rho_{\text{тажр}}=2,47$ ва $\rho_{\text{хис.}}=2,50 \text{ г/см}^3$. Инконгруэнт эри- ши $808 \pm 2^\circ \text{C}$.
Жадиет - $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	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 кристал- лар. Икки ўқли, мусбат, $2V=70$; $cNg=34.5^\circ$. Ажралиши 87° ли бурчак остида. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр}}=3.3-3.5 \text{ г/см}^3$.
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{BeO} \cdot$ 14SiO_2	1.545 1.532 $N_m=1.533$	0.013	Ромбик сингонияли, икки ўқли, мусбат, $2E=60^\circ$, $2V=38^\circ$, $\rho_{\text{тажр}}=2.55 \text{ г/см}^3$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.580 1.575	0.005	Тетрагональ сингонияли, $a=8.511$, $c = 4.807 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. 1080° да парчаланеди.
Лейкофан – $\text{NaF} \cdot \text{BeO} \cdot \text{CaO} \cdot$ 2SiO_2	1.598 1.571 $N_m=1.595$	0.027	Ромбик (псевдотетрагональ) син- гонияли, $a=7.39$, $b=7.39$, $c=9.97 \text{ \AA}$. Кристаллари базаль табличка кўринишида. Икки ўқли, манфий. $2V=39^\circ$. Қаттиқлиги 4, $\rho_{\text{тажр}}=2.96 \text{ г/см}^3$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot$ 2SiO_2	$N_{\text{ўртача}}=1.665$	0.003	Моноклин сингонияли. Кристаллари планкасимон ва қўшалок ҳолатда. Қийшиқ сўнади, $2V$ катта.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot$ 2SiO_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, $a=7.50\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=2.79 \text{ г/см}^3$. 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 кўшалок 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 параллель. 1045°C да CaSiO_3 ва суюқликка 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 парчала-нади.
$4\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.620$	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, $a:b:c=1.099:1:0.601$, $\beta=106^\circ 49'$. Кристал-лари узайтирилган призма ҳолида. Икки ўқли, манфий, $2V=60^\circ$. Аж-ралиши – 87° ли бурчак остида. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.584 \text{ г/см}^3$, $cNg=104^\circ$. 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	Гексагональ сингонияли, кристал-лари призматик қиёфада. 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, $cNg=38^0$, (+), 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, $cNg=24^0$, 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. 1248^0C дан юқорида барқарор. 687^0C 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 метастабиль фаза. Полисинтетик қўшалоклар ҳосил қилади, икки ўқли, (-), $2V=12-15^0$, $\rho_{\text{тажр.}}=2.51 \text{ г/см}^3$. Совитиш жараёни (227^0C ли ҳолати)да нефелинга 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.98$, $c=8.44\text{Å}$. Кристаллари базаль табличка ва калта призма ҳолида. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (1010) ва (0001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.619 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1526^0C .
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, $a=8.23$, $b=13.00$, $c=7.25\text{Å}$, $\alpha=94^03^1$, $\beta=116^020^1$, $\gamma=88^09^1$. Кристаллари – таблетка ва призма кўринишида, икки ўқли, (-), $2V=45-55^0$. Ажра-лиши (001) ва (010) бўйича. Сў-ниш бурчаги $9-12^0$ дан $26-37^0$ гача. Қаттиқлиги 6-6,5. $\rho_{\text{тажр.}}=2.61-2.62 \text{ г/см}^3$.
$\beta\text{-Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	1.539 1.528 $N_m=1.533$	0.011	Икки ўқли, мусбат, $2V=75-83^0$. Сўниш бурчаги $7-20^0$. $N_{\text{шиша}}=2.382 \text{ г/см}^3$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси 760^0C . 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 . $N_{\text{шиша}}=1.519$.
Лоренценит- $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{TiO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$	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, $\rho_{\text{тажр.}}=3.43 \text{ г/см}^3$.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{ZrO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.710 1.688 $N_m=1.690^*$	0.022	Моноклин сингонияли. Узун-узун нинасимон кристаллар. Сўниши 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	Гексагональ сингонияли. Ромбо-эдрик обликга эга, $\rho_{\text{тажр.}}=2.88 \text{ г/см}^3$. 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. (-) $2V=69^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.077 \text{ г/см}^3$.
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 қиёфасида. (-) $2V=75^\circ$, $N_m=b$, $cNg=12^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.042 \text{ г/см}^3$.
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.528 1.520 $N_m=1.521$	0.008	Ромбик сингонияли. Донасимон кристаллар. Икки ўқли. Оптик белгиси (+), $2V=35^\circ$. $\rho_{\text{тажр.}}=2.538$, $\rho_{\text{шиша}}=2.474 \text{ г/см}^3$. 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 кўша-лоқлар. Оптик белгиси (-), $2V^\circ$ катта. Эриш нуқтаси 1045°C .

$K_2O \cdot 4SiO_2$	1.482 1.477 $N_m=1.479$	0.005	Моноклин сингонияли. Жадваллар ва қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V^\circ$ катта, қия сўниш, $\rho_{\text{тажр.}}=2.335$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.384 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқта-си 770°C . $N_{\text{шиша}}=1.495$.
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	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 псевдогексагональ қўшалок ҳолида. Ажралиши (001) ва (100) орқали. $N_p=a$, $N_m=b$, $\rho_{\text{тажр.}}=2.60 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1800°C . 1540°C да бошқа формага ўтади.
Калиофилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.537 1.533	0.004	Метастабиль гексагональ форма, $a=27.0$, $c=8.51\text{\AA}$. Кристаллари призмалар ҳолида. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.61 \text{ г/см}^3$.
Кальсилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.542 1.537	0.005	Гексагональ сингонияли, $a=5.17$, $c=8.67\text{\AA}$. Бир ўқли, манфий. $\rho_{\text{тажр.}}=2.59 \text{ г/см}^3$.
Лейцит - $\alpha-K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot$ $4SiO_2$	1.495	-	Куб сингонияли, $a=13.40\text{\AA}$. Қаттиқлиги 5.5-6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.47$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1686°C .
$\beta-K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot$ $4SiO_2$	1.509 1.508	0.001	Тетрагональ сингонияли, $a=12.92$, $c=13.70\text{\AA}$. Кристаллари қўшалок бўлгани сабабли псевдокуб қиёфасида.
Fe-лейцит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.619	-	Куб сингонияли, $\rho_{\text{тажр.}}=2.59 \text{ г/см}^3$.
К-акмит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.800$	0.030	Моноклин сингонияли. Кристаллар призма кўринишида. 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), $a=8.4$, $b=12.9$, $c=7.1\text{\AA}$, $\beta=115^{\circ}35^1$, $Z=4$ $KAISi_3O_8$. Кристаллари табличкасимон. Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Икки ўқли, манфий, $2V$ жуда кичик. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.57$ 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 температурали форма (Ортоклаз), $a=8.45$, $b=12.9$, $c=7.15\text{\AA}$, $\beta=116^{\circ}3^1$, Икки ўқли, мусбат, $2V=50-70^{\circ}$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.57$ г/см ³ .
Микролин – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.525 1.518 $N_m=1.522$	0.007	Триклин сингонияли ўта паст температурали форма, $a=8.44$, $b=13.00$, $c=7.21\text{\AA}$, $\alpha=90^{\circ}7^1$, $\beta=115^{\circ}50^1$, $\gamma=89^{\circ}55^1$, $Z=4$ $KAISi_3O_8$. Икки ўқли, манфий, $2V=83^{\circ}$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.55$ г/см ³ . $1170^{\circ}C$ да лейцит ҳосил қилиш билан парчаланadi. Бутунлайин $1530^{\circ}C$ да эрийди.
$K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.609 1.601 $N_m=1.605^*$	0.008	Моноклин сингонияли. Кристаллари кўшалок ҳолда учрайди. Сўниш бурчаги (010)га нисбатан $7-8^{\circ}$, $N_m=b$, $\rho_{\text{тажр.}}=2.712$ г/см ³ .
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$	1.540	-	Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдрли формага эга.
Гиератит - $2KF \cdot SiF_4$	1.339	-	Кубик сингонияли. $a=8.18\text{\AA}$, $Z=4$. Кристаллари октаэдрлик шаклли, $\rho_{\text{тажр.}}=2.665$ г/см ³ .

$K_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$	1.605 1.600	0.005	Гексагональ сингонияли. Кристал-лари гексагональ бипирамида шак-лида. Бир ўқли, мусбат. Эриш нуқ-таси $1630^{\circ}C$.
$4K_2O \cdot CaO \cdot 10SiO_2$	1.548 1.537	0.011	Гексагональ сингонияли. Кристал-лари пластинка кўринишида. Бир ўқли, манфий.
$\beta-K_2O \cdot 3CaO \cdot 6SiO_2$	1.570 1.560 $N_m=1.565^*$	0.010	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ва пластинка шаклида. Икки ўқли, манфий, $960^{\circ}C$ да $K_2Ca_2Si_6O_{15}$ ва шишага ажралади.
$K_2O \cdot 2CaO \cdot 6SiO_2$	1.590 1.575 $N_m=1.580^*$	0.015	Кристаллари қалин призма ҳола- тида. Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта 1115° да $CaSiO_3$ ва шишага ажра-лади.
$2K_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$	1.543 1.535 $N_m=1.541$	0.008	Кристаллари паст категорияли сингонияга эга, призма ва плас- тинка габитусли, (-), $2V=60 \pm 5^{\circ}$. Эриш нуқтаси $959^{\circ}C$.
$2K_2O \cdot CaO \cdot 9SiO_2$	1.535 1.515 $N_m=1.526$	0.020	Паст категорияли сингонияга эга. Габитуси – призма ҳолатида. (-), $2V$ катта.
$\alpha-K_2O \cdot 3CaO \cdot 6SiO_2$	1.590 1.575 $N_m=1.582$	0.015	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ҳолатида. Сўниши-тўғри, (+), $2V$ катта. $1115^{\circ}C$ да парчала- нади.
$2K_2O \cdot CaO \cdot 3SiO_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдр шаклида. 1005° да парча- ланади.
$K_2O \cdot 23CaO \cdot 12SiO_2$	1.703 1.695	0.008	Гексагональ сингонияли. Кристал-лари кўшалоклар ҳолатида. Бир ўқли, мусбат.

$K_2O \cdot MgO \cdot 3SiO_2$	1.530 1.524	0.006	Гексагональ сингонияли, бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси $1134^{\circ}C$.
$\alpha-K_2O \cdot MgO \cdot 5SiO_2$	1.501	-	Куб сингонияли, $a = 13.39\text{\AA}$. Кристалларнинг шакли – куб, октаэдр ва бошқа. Эриш нуқтаси $1089^{\circ}C$.
$\beta-K_2O \cdot MgO \cdot 5SiO_2$	$N_{уртача} = 1.505$	0.002	Кристаллари волокно кўринишда. $\rho_{тажр} = 2.395$ ва $\rho_{шиша} = 2.38$ г/см ³ . $N_{шиша} = 1.498$.
$K_2O \cdot 5MgO \cdot 12SiO_2$	1.550 1.543	0.007	Гексагональ сингонияли Кристаллари олтиқиррали табличка ҳола-тида. Ажралиш кўринмайди. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{тажр} = 2.58$ г/см ³ . Эриш нуқтаси $1174^{\circ}C$.
$K_2O \cdot PbO \cdot 4SiO_2$	1.650 1.590 $N_m = 1.612$	0.060	Кристаллари тўғри бурчакли пластинкалар ҳолатида. Сўниши-тўғри. Икки ўқли, мусбат, $2V = 75^{\circ}$. $N_{шиша} = 1.606$ ва юмшаши $463^{\circ}C$.
$K_2O \cdot 2PbO \cdot 2SiO_2$	1.93 1.72	0.21	Гексагональ сингонияли. Габитуси-гексагональ пластиналар. Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси $918^{\circ}C$. $N_{шиша} = 1.775$, юмшаши – $395^{\circ}C$.
$K_2O \cdot 4PbO \cdot 8SiO_2$	1.79 ± 0.01 1.69 ± 0.01	0.10	Кристаллари-волокно ва пластинка шаклида. Сўниши-тўғри.
$K_2O \cdot ZnO \cdot SiO_2$	1.622	-	Кубик сингонияли. Кристаллар шакли – куб ва бошқалар.
$K_2O \cdot Ga_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.539 1.533 $N_m = 1.535^*$	0.006	Моноклин сингонияли. Кристалларнинг эриш нуқтаси $1000-1020^{\circ}C$. $N_{шиша} = 1.513$.
$K_2O \cdot La_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.867 1.840	0.027	Гексагональ сингонияли, $a = 11.1$, $c = 9.05\text{\AA}$. Бир ўқли, манфий.

$2K_2O \cdot 3BeO \cdot 4SiO_2$	1.523	-	Куб сингонияли, $\rho_{тажр.} = 2.53 \text{ г/см}^3$.
$Rb_2O \cdot 2SiO_2$	1.513 1.507 $N_m = 1.510^*$	0.006	Нина ва призма кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{тажр.} = 3.254 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1090°C .
$Rb_2O \cdot 4SiO_2$	1.539 1.532	0.007	Гексагоналъ пластинкалар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.} = 3.022 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 900°C .
Рубидиевий лейцит - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{ўртача} = 1.526$	Куч-сиз	Тетрагоналъ сингонияли, $a = 13.37, c = 13.73 \text{ \AA}$.
$Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.530 1.526	0.004	Гексагоналъ сингонияли, бир ўқли, манфий.
Рубидиевий полевой шпат- $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.529 1.524 $N_m = 1.526^*$	0.005	Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий.
α - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{ўртача} = 1.521$	Куч-сиз	Тетрагоналъ сингонияли, $a = 13.64, c = 13.33 \text{ \AA}$.
β - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{ўртача} = 1.481$	Куч-сиз	Тетрагоналъ сингонияли, $a = 13.20, c = 13.60 \text{ \AA}$.
$Cs_2O \cdot 2SiO_2$	1.563 1.560 $N_m = 1.562^*$	0.003	Донасимон кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.} = 3.852 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият.
$Cs_2O \cdot 4SiO_2$	1.579 1.573	0.006	Гексагоналъ пластинкалар. Оптик белгиси (-), сўниши - тўғри, $\rho_{тажр.} = 3.452 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият.

$\text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.574	-	Кубик сингонияли
$\text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.523	-	Кубик сингонияли, $a=13.66\text{\AA}$.
Бромеллит – BeO	1.733 1.719	0.014	Гексагонал сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V=0^0$, ажралиш дарзликлари- базис бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,00 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2500^0C .
Фенакит – $2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.668 1.654	0.014	Тригонал сингонияли. Ромбоэдрлар, призмалар, (1010) бўйича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V=0^0$, ажралиш қобилиятлари (1120) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,00 \text{ г/см}^3$. Инконгруэнт парчаланиши 1560^0C ($2\text{BeO}+\text{SiO}_2$)
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 $c=9.17\text{\AA}$. Габитуси-призма ҳолида. Бир ўқли, манфий, $2E$ 10^0 -гача боради. Қаттиқлиги 7.5- 8.0, $\rho_{\text{тажр.}}=2.66-2.85 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1420^0C .
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 $Z=c$, $2V = 85^0 6^1$, ажралиши (001) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,216 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1890^0C

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 $c=5.178 \text{ \AA}$, волокноли агрегатлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=60^\circ$, ажралиши 90° ли (110) юзаси бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,175$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.758 \text{ г/см}^3$. 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 $P2_1/c$, $a=9.618$, $b=8.828$ ва $c=5.186 \text{ \AA}$ $\beta=108^\circ 30'$. Кристалл агрегатлар, (010) бўйича полисинтетик қўшалоклар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z \wedge c=22^\circ$, $2V=53^\circ 30'$, ажралиши 88° ли (110) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,19 \text{ г/см}^3$.
Протоэнстатит- $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Энстатитдан ± 0.002 га фарқ қилади	Кучсиз	Ромбик сингонияли, фазовий группаси $Pbca$, $a=9.25$, $b=8.74$, $c=5.32 \text{ \AA}$. 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, $a=5.3$, $b=9.3$, $c=28.6 \text{ \AA}$, $\beta=96^\circ 50'$. Кристалли пластинка кўринишида. Икки ўқли, мусбат, $2V=0-40^\circ$, $N_m=b$, $N_p \perp (010)$. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2,7 \text{ г/см}^3$.
$\alpha\text{-}2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 - \text{I}$	1.528 1.524	0.004	Ўрта категорияли сингонияга эга, $a=9.782 \text{ \AA}$, $c=9.365 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий.

β -2MgO·2Al ₂ O ₃ ·5SiO ₂ - II	1.541 1.537	0.004	Гексагональ сингонияли, a=9.792, c=9.349Å. Бир ўқли, манфий.
α -Кордиерит - 2MgO·2Al ₂ O ₃ ·5SiO ₂ - III	1.550 1.540 N _m =1.545	0.010	Ромбик сингонияли, a=9.7, b=17.1, c=9.3Å. Призма кўринишидаги кристаллар. (-), 2V=70-100 ⁰
β -Кордиерит - 2MgO·2Al ₂ O ₃ ·5SiO ₂ - IV	1.53- 1.52- 1.57 1.55 N _m =1.525- 1.526	0.010	Ромбик сингонияли. Қўшалок кристаллар. (-) 2V=40-105 ⁰ . Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2,57-2.66$ г/см ³ .
Пироп - 3MgO·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂	1.705	-	Кубик сингонияли, a=11.44Å. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.51$ г/см ³ .
Сапфирин - 4MgO·5Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	1.711 1.705 N _m =1.709	0.006	Моноклин сингонияли, a=9.70, b=14.55, c=10.05Å, $\beta=111^{\circ}27'$. (-) 2V=68 ⁰ 49 ¹ . Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3,4-3.6$ г/см ³ .
Хризолит - MgO·FeO·SiO ₂	1.792 1.748 N _m =1.778	0.044	Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий, 2V=69 ⁰
Fe-Клиноэнстатит - MgO·FeO·2SiO ₂	1.70- 1.69- 1.75 1.71 N _m =1.69-1.71	0.01- 0.04	Моноклин сингонияли. Таркибига Са ҳам киради. (+), 2V=0-30 ⁰
Хризотил - 3MgO·2SiO ₂ ·2H ₂ 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 Mg ₆ (OH) ₈ Si ₄ O ₁₀ . Кристаллари призма ва волокно ҳолатида. Икки ўқли, мусбат, 2V=30-35 ⁰ , N _m =b, cN _p =0 ⁰ . Қаттиқлиги 2-2.5. $\rho_{\text{тажр.}}=2,43$ г/см ³ .

Сепиолит - $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.529 1.520 $N_m=1.529$	0.009	Моноклин сингонияли, $a=23.2$, $b=15.7$, $c=5.32\text{\AA}$, $\beta=90-93^\circ$. Кристаллари ингичка волокно шаклида. Икки ўқли, манфий, $2V=0^\circ$, Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2 \text{ г/см}^3$.
Серпентин, антигорит - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.565 1.558 $N_m=1.565$	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, $\rho_{\text{тажр.}}=2,62$ г/см^3 .
Вермикулит - $(\text{Mg,Fe})_3 [\text{Al, Si})_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.545 1.525 $N_m=1.545$	0.020	Моноклин сингонияли, $a=5.33$, $b=9.18$, $c=28.85\text{\AA}$, $\beta=93^\circ 15'$. Кристаллари пластинкалар ҳолатида, (-), $2V=0-8^\circ$
Тальк – $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.575 1.540 $N_m=1.575$	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, $\rho_{\text{тажр.}}=2,82 \text{ г/см}^3$.
Алит – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.723 1.717	0.006	Гексагональ сингонияли. Олтибурчакли пластинкалар ва донсимон доналар. Оптик белгиси (-), $2V^0=0$, ажралиши аниқ эмас, $\rho_{\text{тажр.}}=3.20 \text{ г/см}^3$
$\alpha\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.707$	Кучсиз	Гексагональ сингонияли, $a=5.45$ ва $c=7.03\text{\AA}$. Олтибурчакли ва тўғри бўлмаган донсимон кристалар. 1500° ли ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=3.07 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 2130°C .
Бредигит- $\alpha'\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.725 1.712 $N_m=1.716$	0.013	Ромбик сингонияли, $a=6.76$, $b=5.45$, $c=9.28\text{\AA}$, (+) $2V=30^\circ$. 700° ли ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=3.31$ г/см^3 .

Шеннонит - γ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.654 1.642 $N_m=1.645$	0.012	Ромбик сингонияли. $a=6.78$, $b=5.06$, $c=11.28\text{\AA}$. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V=60^\circ$, ажралиши (010) бўйича, 20° ли ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=2.97 \text{ г/см}^3$.
Белит (фелит, ларнит) - β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.730 1.707 $N_m=1.715$	0.023	Моноклин сингонияли, $a=5.49$, $b=6.77$, $c=9.29\text{\AA}$, $\beta=94^\circ50'$, полисинтетик қўшалоклар, (+), $2V=$ катта, ажралиши (010) ва (100) бўйича
Ранкинит - $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.650 1.641	0.009	Моноклин сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V^\circ$ катта
Псевдовол- ластонит- α - $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.654 1.610 $N_m=1.611$	0.044	Триклин сингонияли, $a=6.90$, $b=11.58$, $c=19.65\text{\AA}$, $\alpha\approx 90^\circ$, $\beta=90^\circ48'$, $\gamma\approx 90^\circ$, $Z=8$. Донсимон доналар ва узайтирилган призмалар, баъзида (001) бўйича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V=0-8^\circ$, ажралиши- (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.905 \text{ г/см}^3$, конгруэнт эриш нуқтаси 1544°C .
Волластонит- β - $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.631 1.616 $N_m=1.628$	0.015	Триклин сингонияли, $a=7.88$, $b=7.27$, $c=7.03\text{\AA}$, $\alpha\approx 90^\circ$, $\beta=95^\circ16'$, $\gamma\approx 103^\circ22'$. Доскасимон индивидлар. Оптик белгиси (-), $2V=39^\circ$, ажралиши-(100) ва (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$
Параволлас- тонит- γ - $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.631 1.614 $N_m=1.629$	0.017	Моноклин сингонияли, $a=15.33$, $b=7.28$, $c=7.07\text{\AA}$, $\beta=95^\circ25'$. Қаттиқлиги 4.5-5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$

Окорманит - $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.639 1.632	0.007	Тетрагональ сингонияли, $a=7.840$, $c=5.015\text{\AA}$. Кристаллар калта призма кўринишида. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.95 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1458°C
Геленит - $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$	1.669 1.658	0.011	Тетрагональ сингонияли, $a=7.69$, $c=5.10\text{\AA}$. Кристаллар қисқа призма кўринишида. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тажр.}}=3.04 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1590°C
Ферроокер- манит - $2\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.690 1.673	0.017	Тетрагональ сингонияли. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.23 \text{ г/см}^3$.
Ферригеленит - $2\text{CaO}\cdot(\text{Fe,Al})_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$	1.666 1.661	0.005	Тетрагональ сингонияли. $a=7.54$, $c=4.855\text{\AA}$, Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 1285°C
Гардистонит - $2\text{CaO}\cdot\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.671 1.662	0.009	Тетрагональ сингонияли. $a=7.83$, $c=4.99\text{\AA}$. Қаттиқлиги 3-4, $\rho_{\text{тажр.}}=3.40 \text{ г/см}^3$. Бир ўқли, манфий.
$\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ - I	1.590 1.585	0.005	Гексагональ сингонияли, метастабиль форма, $a=5.11$, $c=14.74\text{\AA}$, $Z=1$. Кристаллари пластинка кўринишида. Бир ўқли, мусбат, қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.74 \text{ г/см}^3$
$\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ - II	1.584 1.553 $N_m=1.580$	0.031	Ромбик сингонияли, метастабиль форма, $a=8.224$, $b=8.606$, $c=4.836\text{\AA}$, $Z=2$. Икки ўқли, манфий, $2V=39^{\circ}$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.70 \text{ г/см}^3$

Анортит – $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.589 1.576 $N_m=1.583$	0.013	Триклин сингонияли, $a=8.21$, $b=12.95$, $c=14.16$, $\alpha=93^{\circ}13'$, $\beta=115^{\circ}56'$, $\gamma=91^{\circ}12'$. Табличкасимон кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V=77^{\circ}$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=2.765$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1550 ^o С.
$\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.635 1.605	0.030	Тетрагональ сингонияли, Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}}=3.04$ 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, $a=9.750$, $b=8.926$, $c=5.252\text{Å}$, $\beta=105^{\circ}55'$, $Z=4$. Кристаллар призма ҳолида. Икки ўқли, (+), $2V=58^{\circ}$. Қаттиқлиги 5-6, $\rho_{\text{тажр.}}=3.275$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1391 ^o С.
Геденбергит - $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.755 1.726 $N_m=1.732$	0.029	Моноклин сингонияли, $a=9.873$, $b=9.049$, $c=5.264\text{Å}$, $\beta=104^{\circ}14'$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.538$ г/см ³
Иоганнсенит - $\text{CaO} \cdot \text{MnO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.738 1.710 $N_m=1.719$	0.028	Кристаллари призма ва волокно ҳолида. Призматик ажралиш. $\rho_{\text{тажр.}}=3.5$ ва $\rho_{\text{хис.}}=3.6$ г/см ³
Уваровит - $3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.86	-	Куб сингонияли, $a=12.05\text{Å}$. Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.78$ г/см ³
Гроссуляр - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.735	-	Куб сингонияли, $a=11.84\text{Å}$. Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{тажр.}}=3.53$ г/см ³
Андрадит - $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.895	-	Куб сингонияли, $a=12.04\text{Å}$. Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{тажр.}}=3.83$ г/см ³

$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.743 1.696 $N_m=1.734$	0.047	Ромбик сингонияли, $a:b:c=0.437:1:0.577$, (-), $2V=49^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.33 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1208°C .
Монтichelлит – $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1.653 1.639 $N_m=1.646$	0.014	Ромбик сингонияли, $a=4.815$, $b=11.08$, $c=6.37\text{\AA}$. Кристаллари призма ва донсимон. (+), $2V=85^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.2 \text{ г/см}^3$, 1300°C да парчаланеди.
Глаукохроит – $\text{CaO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.736 1.685 $N_m=1.723$	0.051	Ромбик сингонияли, $a=4.91$, $b=11.12$, $c=6.49\text{\AA}$. Призмасимон кристаллар. (-), $2V=61^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.48 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1355°C .
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ SiO_2	1.685 1.675 $N_m=1.679$	0.010	Ромбик сингонияли, Кристаллари волокно ҳолида. (+), $2V$ катта. 1335°C да парчаланеди..
Мервинит – $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot$ 2SiO_2	1.724 1.706 $N_m=1.712$	0.018	Моноклин сингонияли, $a=5.20$, $b=9.20$, $c=6.78\text{\AA}$. Полисинтетик қўшалоқ кристаллар. (+), $2V=66^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=3.15$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1598°C .
Титанит, сфен- $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	2.092 1.950 $N_m=1.970$	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, $\rho_{\text{тажр.}}=3.4-3.6 \text{ г/см}^3$
Гугиант – $2\text{CaO} \cdot \text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.672 1.664	0.008	Тетрагональ сингонияли, $a=7.48$, $c=5.044\text{\AA}$. Бир ўқли, мусбат. $\rho_{\text{тажр.}}=3.0336 \text{ г/см}^3$
Мелифанит – $(\text{Ca,Na})_2\text{Be}$ $(\text{Si,Al})_2 \cdot (\text{O,F})_7$	1.612 1.593	0.019	Тетрагональ сингонияли, $a=10.58$, $c=9.88\text{\AA}$. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}}=3.006 \text{ г/см}^3$

Лейкофанит – (Ca,Na) ₂ BeSiO ₂ ·(OH,F) ₇	1.598 1.571 N _m =1.595	0.027	Тетрагональ сингонияли, a=7.39, c=9.98Å. Бир ўқли, манфий, 2V=39 ⁰ , ρ _{тажр.} =2.96 г/см ³
Аминофит - Ca ₂ (Be,Al)Si ₂ O ₇ ·(OH)·H ₂ O	1.647 1.637	0.010	Тетрагональ сингонияли, a=13.8, c=9.8Å. Бир ўқли, манфий, ρ _{тажр.} =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	Тетрагональ сингонияли, a=7.789 c=5.018Å. Бир ўқли, манфий, ρ _{тажр.} =2.95 г/см ³
2SrO· SiO ₂	1.756 1.727 N _m =1.732	0.029	Моноклин сингонияли, (100) бўйича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), 2V=32.5 ⁰ , ρ _{тажр.} =3.84 г/см ³
SrO	1.870	-	Куб сингонияли, a=5.15Å. Куб шаклли кристаллар, ρ _{тажр.} =4.75 г/см ³
SrO· SiO ₂	1.637 1.599	0.038	Гексагональ сингонияли, (0001) бўйича пластинкалар ва қўшалоклар. Оптик белгиси (+), 2V=0 ⁰ , ρ _{тажр.} =3.65 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1578 ⁰ С
2SrO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	1.665 1.660	0.005	Тетрагональ сингонияли, a=7.831, c=5.276Å. Габитуси-призма, ρ _{тажр.} =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	Триклин сингонияли, волокноли габитусга эга. Икки ўқли, манфий, 2V=70 ⁰ , ρ _{тажр.} =3.12 г/см ³
2SrO·Ga ₂ O ₃ ·SiO ₂	1.728 1.717	0.011	Тетрагональ сингонияли, a=7.92, c=5.33Å, ρ _{тажр.} = 4.49 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1590 ⁰ С
2SrO·MgO· 2SiO ₂	1.638 1.609	0.029	Тетрагональ сингонияли, a=8.06, c=5.19Å, ρ _{тажр.} = 3.64 г/см ³ .

$2\text{SrO}\cdot\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.710 1.678	0.032	Тетрагональ сингонияли, $a=8.04$, $c=5.20\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.99$ г/см ³ .
$\text{Sr}_4\text{La}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.838 1.827	0.011	Гексагональ сингонияли, $a=9.69$, $c=7.13\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.03$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.05$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2063 К
$\text{Sr}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.843 1.829	0.014	Гексагональ сингонияли, $a=9.59$, $c=7.07\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.26$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.29$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.52$, $c=6.99\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.50$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.54$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.49$, $c=6.96\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.71$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.74$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.42$, $c=6.92\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.90$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.95$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.30$, $c=6.78\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=6.15$ ва $\rho_{\text{хис.}}=6.17$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.46$, $c=6.89\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=4.40$ ва $\rho_{\text{хис.}}=4.42$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2048 К
BaO	1.980	-	Куб сингонияли, $a=5.53\text{\AA}$. Куб кў- ринишли кристаллар. $\rho_{\text{тажр.}}=5.72$ г/см ³ .
$2\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.830 1.810 $N_m=1.820^*$	0.020	Ромбик сингонияли. Донсимон доналар. $\rho_{\text{тажр.}}=5.21$ 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, $\rho_{\text{тажр.}}=4.40$ 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, $a=12.50$, $b=4.69$, $c=13.92\text{Å}$, $\beta=93.3^\circ$, $Z=2$. Донсимон доналар, пластинкасимон қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V=54^\circ$, ажралиши (010), (100) ва (010) буйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.93 \text{ г/см}^3$. 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) буйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.73 \text{ г/см}^3$. 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 гексагоналъ фаза, $a=5.25$, $c=7.84\text{Å}$. Пластинкасимон кристаллар. Ажралиши (0001) буйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.03 \text{ г/см}^3$. 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, $a=8.63$, $b=13.10$, $c=7.29\text{Å}$, $\beta=116^\circ$. Қўшалок кристаллар, (+), $2V=80^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.57 \text{ г/см}^3$
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, $a:b:c=0.947:1:0.895$, $\rho=90^\circ 10^1$. Призма кўринишли кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V=50-53^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.315 \text{ г/см}^3$
Бенитоит – $\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.804 1.757	0.047	Гексагоналъ сингонияли, $a=6.60$, $c=9.71\text{Å}$. Кристаллари пирамида ва табличка кўринишида. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.65 \text{ г/см}^3$

$2\text{BaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.710 1.650	0.060	Тетрагональ сингонияли, $a=8.32$, $c=5.52\text{\AA}$. $\rho_{\text{тажр.}} = 3.80 \text{ г/см}^3$
$2\text{BaO}\cdot\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.722 1.698	0.024	Тетрагональ сингонияли, $a=8.40$, $c=5.68\text{\AA}$. $\rho_{\text{тажр.}} = 4.02 \text{ г/см}^3$
$\text{Ba}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.873 1.866	0.007	Гексагональ сингонияли, $a=9.72$, $c=7.19\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.36$ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 5.36 г/см^3 . Эриш нуқтаси 1923 К
$\text{Ba}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.848 1.826	0.022	Гексагональ сингонияли, $a=9.60$, $c=6.98\text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.66$ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 4.68 г/см^3 . Эриш нуқтаси 1973 К
$\text{Ba}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.881 1.870	0.011	Гексагональ сингонияли, $a=9.62$, $c=7.10 \text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.78$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.79 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1963 К
$\text{Ba}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.892 1.878	0.014	Гексагональ сингонияли, $a=9.58$, $c=6.97 \text{\AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.98$ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 6.00 г/см^3 . Эриш нуқтаси 1963 К
$\text{Ba}_4\text{La}_6\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{26}$	1.796 1.782	0.014	Гексагональ сингонияли, $a=9.97$, $c=7.35$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.12$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.16$ 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	Гексагональ сингонияли, $a=9.80$, $c=7.25$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.45 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2028 К
Цинкит - ZnO	2.029 2.013	0.016	Гексагональ сингонияли, $a=3.25$, $c=5.19\text{\AA}$, $Z=2$. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 4, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.66 \text{ г/см}^3$. 1670°C да эрийди.
Веллимит – $\alpha - 2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2$	1.715 1.695	0.020	Ўрта сингонияли таалуқли кристаллар. Бир ўқли, $2V=0^\circ$

$\beta - 2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.712 1.703 $N_m=1.700$	0.009	Ромбик сингонияли, $a=8.40$, $b=5.10$, $c=3.22 \text{ \AA}$, Икки ўқли, $2V=49^\circ$, $\rho_{\text{хис.}}=4.29 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1420°C .
$\gamma - 2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.703 1.685 $N_m=1.700$	0.018	Икки ўқли кристаллар, $2V = - 40^\circ$
$\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.623 1.616	0.007	Нинасимон кристаллар, $\rho_{\text{тажр.}}=3.52 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1429°C .
Гемиморфит - $\text{Zn}_4(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot$ H_2O	1.636 1.614 $N_m=1.617$	0.022	Ромбик сингонияли, $a=8.40$, $b=10,72$, $c=5,13 \text{ \AA}$. Икки ўқли, мусбат, $2V=46^\circ$. Қаттиқлиги 5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.45 \text{ г/см}^3$
$\text{ZnSiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.395 1.382	0.013	Тригональ сингонияли, $c:a=0.517$. Призма кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}}=2.14 \text{ г/см}^3$
CdO	2.49	-	Куб сингонияли, $a=4,70 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллар октаэдр ва куб кўринишида. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{тажр.}}=8.15 \text{ г/см}^3$
$\text{CdO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-	Эриш нуқтаси 1246°C , $\rho_{\text{тажр.}}=5.833 \text{ г/см}^3$
$2\text{CdO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.74$	Ўртача	Оливинга ўхшаш структурали, $\rho_{\text{тажр.}}=4.928 \text{ г/см}^3$, эриш нуқтаси 1252°C
Паст темпера-турали $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.665- 1.630- 1.680 1.650	0.035- 0.030	Гексагональ 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	Гексагональ сингонияли, $a=4.76$, $c=13.00 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 9, $\rho_{\text{тажр.}}=4 \text{ г/см}^3$. 2050 ⁰ С да эрийди.
Кианит – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.728 1.713 $N_m=1.722$	0.015	Триқлин сингонияли, Фазовий группаси P1, $a=7.121$, $b=7.861$, $c=5.574 \text{ \AA}$, $\alpha=90.03^0$, $\beta=101.08^0$, $\gamma=105.95^0$, $V=294 \text{ \AA}^3$, $Z=4$ $2V= 83^0$
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 Pbnm, $a=7.481 \pm 0.002$, $b=7.672 \pm 0.002$, $c=5.769 \pm 0.002$, $V=331 \text{ \AA}^3$. $2V= 25^0$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.255 \pm 0.015 \text{ г/см}^3$
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 Pnmm, $a=7.797 \pm 0.002$, $b=7.898 \pm 0.002$, $c=5.551 \pm 0.002$, $V=341.8 \text{ \AA}^3$. $2V$ 83 дан 86^0 гача
Муллит- $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.654 1.642	0.012	Ромбик сингонияли. Фазовий группаси Pmmm, $a=7.5794 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $b=7.6873$, $c=2,8878 \pm 0.0004 \text{ \AA}$, $V=168.26 \text{ \AA}^3$. $2V= 45$ дан 50^0 гача, $\rho_{\text{тажр.}}=3.0$ г/см^3 . Конгруэнт эриш нуқтаси 1910 ⁰ С
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, $a=5.15$, $b=8.88$, $c=18.60 \text{ \AA}$, $\beta=99^055^1$, $Z=8$. Призматик кристаллар. (-), $2V=53-60^0$. Қаттиқлиги 1-1.15, $\rho_{\text{тажр.}}=2.84 \text{ г/см}^3$.

Леверрьерит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.513 1.488 $N_m = 1.513$	0.025	Паст категорияли сингонияга эга бўлган монтмориллонит гуруҳи вакили, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=15.25$ Å, Кристаллари юпқа пластинка хо-лида. (-), $2V=0-33^0$. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.84$ г/см ³
Топаз - $\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{F,OH}]_2$	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, $\rho_{\text{тажр.}}=3.50 - 3.57$ г/см ³
Каолин – γ - форма $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.566 1.561 $N_m = 1.565$	0.006	Моноклин сингонияли паст темпе-ратурали фаза, $a=5.14$, $b=8.93$, $c=7.37$ Å, $\alpha = 91^048^1$, $\beta = 104^030^1$, $\gamma = 90^0$, $Z = 2\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллари псевдогексагональ чешуйкалар холида. (-), $2V = 20-55^0$. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.61$ г/см ³
Диккит – β - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.566 1.560 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta=96^049^1$, $Z=4\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллар тангачасимон кўринишда. (+), $2V=68-80^0$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{\text{тажр.}}=2.62$ г/см ³
Накрит – α - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.563 1.557 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta=91^043^1$, $Z=4\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллар псевдогексагональ қиёфага эга. (-), $2V=40^0$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{\text{тажр.}}=2.5$ г/см ³
Монтморил- лонит- $(\text{Al,Mg})_2(\text{OH})_2 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	$N_m = 1.516-$ 1.526	Кучсиз	Моноклин сингонияли, $a=5.10$, $b=8.33$, $c=15.2$ Å. Кристаллари тан-гача холида, улар (001) бўйича уланган.

Бейделлит- $Al_2[Si_4O_{10}]$ $(OH)_2 \cdot nH_2O$	Кўрсаткичлар сув миқдори- га кўра ўзга- рувчан	Кучсиз	Моноклин сингонияли. Ромбга ўхшаш пластинкалар холида. Уланиш текислиги (001) бўйича. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{тажр.} = 2.6 \text{ г/см}^3$
Галлуазит (енделлит)- $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot$ $4H_2O$	$N_{ўртача} = 1.547-$ 1.550	Кучсиз.	Моноклин сингонияли, $a = 5.20$, $b = 8.92$, $c = 10.25 \text{ \AA}$, $\beta = 100^\circ$ Шаффор гелсимон масса, қамчи шакли. Қаттиқлик 1-2, $\rho_{тажр.} = 2.0-2.2 \text{ г/см}^3$
Аллофан- м $Al_2O_3 \cdot$ $nSiO_2 \cdot nH_2O$	$N = 1.470-$ 1.510	-	Қаттиқ псевдо эритма. У нотекис ёки чифаноқсимон юзалар ҳосил қилувчи типек шишасимон масса. Қаттиқлиги 3, $\rho_{тажр.} = 1.85-1.89$ г/см^3
Sc_2O_3	1.990	-	Куб сингонияли, $\rho_{тажр.} = 3.860$ г/см^3 . Эриш нуқтаси $2470 \pm 50^\circ \text{C}$
$Sc_2O_3 \cdot SiO_2$	1.850 1.835	0.015	Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{тажр.} = 3.490 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1950°C
$Sc_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.803 1.754 $N_m = 1.785$	0.049	Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.} = 3.390 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1850°C
Y_2O_3	1.910	-	Куб сингонияли. Кристаллари тўғ-ри чизиқли пластинка кўринишида.
$Y_2O_3 \cdot SiO_2$	1.825 1.807 $N_m = 1.815^*$	0.018	Икки ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1980°C
$2Y_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1.780 1.765	0.015	Гексагональ сингонияли, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1950°C
$Y_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.747 1.737 $N_m = 1.742^*$	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 $N_m = 1.865^*$	0.020	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.72 \text{ г/см}^3$. 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, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.31$ 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, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.85 \text{ г/см}^3$. 1750°C да инконгруэнт парчаланани ($2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ + суюқлик)
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}} =$ 1.880	0.025	-
$2\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}} = 1.850$	0.020	Гексагонал сингонияли, $a = 11.36$ ва $c = 4.71 \text{ \AA}$
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}} = 1.770$	0.015	-
$\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1,888 1,871 $N_m = 1.883^*$	0.017	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.476 \text{ г/см}^3$. 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 $N_m = 1.755^*$	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 $N_m = ?$	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 $N_m=?$	0.010	Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}}=5.20 \text{ г/см}^3$ 1775 ⁰ Сли ҳароратда парчланиб эрийди
$3\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.870 1.855	0.015	Тетрагональ сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий, ферро-магнит
$2\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.860 1.840 $N_m=?$	0.020	Ромбик сингонияли, икки ўқли кристаллар, оптик мусбат, конгруэнт эриши - 2000 ⁰ С, 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	Гексагональ сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1700 ⁰ С
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.890 1.870 $N_m=?$	0.020	Икки ўқли, оптик мусбат, тўғри сўнади. Эриш нуқтаси 1980±30 ⁰ С
$2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.865 1.845	0.020	Гексагональ сингонияли, бир ўқли, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1970±30 ⁰ С
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.775 1.763 $N_m=?$	0.012	Икки ўқли, оптик мусбат, 1760±30 ⁰ С да $2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ ва суюқликка айланади.
$\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.865 1.847	0.018	Икки ўқли, оптик ўқлар орасидаги бурчак 88 ⁰ . Эриш нуқтаси 1930 ⁰ С
$2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.853 1.838	0.015	Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 1920 ⁰ С
$2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.765 1.757	0.008	Икки ўқли, мусбат. 1720 ⁰ С 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	$\rho_{\text{тажр.}} = 6.80 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1980°C
$2\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.800 1.780	0.020	$\rho_{\text{тажр.}} = 6.22 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1900°C
$\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.768 1.740	-	$\rho_{\text{тажр.}} = 6.10 \text{ г/см}^3$. 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
$\beta - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}} = 2.340$	Кучсиз	$720-155^\circ\text{C}$ ли оралиқда барқарор. Кристаллар призма ва донсимон кўринишда
$\gamma - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	β -формага ўхшаш	Кучсиз	155°C ли ҳароратдан пастда барқарор. Кўрсаткичлари 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 .
$\text{PbO}\cdot\text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.950$	Кучсиз	Призмалар. Оптик белгиси (-), $2V = 60^\circ$. Эриш нуқтаси 764°C .
Барисилит - $3\text{PbO}\cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=2.040$	0.005	Призмалар, жадваллар. Бир ўқли, Оптик белгиси (-), $2V = 0^\circ$
Аламосит - $3\text{PbO}\cdot 3\text{SiO}_2$	1.968 1.947 $N_m=1.961$	0.023	Моноклин сингонияли, $a:b:c=1.375:1:0.924$, $\beta=95^\circ 50'$. Волокноли кристаллар. (-), $2V = 65^\circ$. Қаттиқлиги 4.5, $\rho_{\text{тажр.}}=6.49 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 764°C
Казолит - $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)\cdot\text{SiO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$	1.967 1.890 $N_m=1.900$	0.077	Моноклин сингонияли, $a=13.28$, $b=7.01$, $c=6.71$, $\beta=103^\circ 42'$. Кристаллар майда призмалар ҳолида. (+), $2V = 42^\circ 58'$. Қаттиқлиги 4-5, $\rho_{\text{тажр.}}=6.46 \text{ г/см}^3$.
Бадделит – ZrO_2	2.200 2.130 $N_m=2.190$	0.070	Моноклин сингонияли. $a=5.22$, $b=7.27$, $c=5.59$, $\beta=99^\circ 7'$. Жадвал-симон кристаллар. Ажралиши (001) бўйича. (-), $2V = 30^\circ$. $\rho_{\text{тажр.}}=5.6 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2715°C

Циркон - $ZrO_2 \cdot SiO_2$	1.968- 1.923- 2.015 1.960	0.045- 0.055	Квадрат сингонияли, $a=6.61$, $c=5.89$ Å. Призмалар, пирамидалар, қўшалоклар. Ажралиши – призма бўйлаб, қаттиқлиги 7.5, $\rho_{тажр.} = 4.7$ г/см ³
$HfO_2 \cdot SiO_2$	1.950 1.940	0.010	Тетрагональ симметрияли, $a = 6.60$ ва $c = 5.97$ Å. $\rho_{тажр.} = 3.27$ г/см ³
Гуттонит – $ThO_2 \cdot SiO_2$	1.930± 1.900± 0.005 0.003 $N_m=?$	0.030	Моноклин сингонияли стабил форма, $a = 6.80$, $b = 6.96$ ва $c = 6.54$ Å, $\rho_{тажр.} = 7.20 \pm 0.10$ г/см ³ . 1975 ±50 ⁰ С да ThO_2 ва суюқликка парчаланеди.
Торит – $ThO_2 \cdot SiO_2$	1.885± 1.827± 0.003 0.003	0.058	Тетрагональ сингонияли метастабиль форма, $a = 7.03$, $c = 6.25$ Å. $\rho_{тажр.} = 6.63 \pm 0.10$ г/см ³ .
$\alpha - SiO_2 \cdot P_2O_5$	- -	-	-
$\beta - SiO_2 \cdot P_2O_5$	- -	-	1030 ⁰ С да β -формадан α -формага ўтади.
$2SiO_2 \cdot P_2O_5$	- -	-	1120 ⁰ С да $SiO_2 \cdot P_2O_5$ ва суюқликка айланади.
$3SiO_2 \cdot P_2O_5$	- -	-	-
$\alpha - SiC$	2.689- 2.647- 2.693 2.649	0.042- 0.043	Гексагональ сингонияли. Ингичка базаль пластинкалар. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 9.5, $\rho_{тажр.} = 3.2$ г/см ³ . 3400 ⁰ С да эримай диссоциацияга учрайди.
$\beta - SiC$	2.63	-	Куб сингонияли, $a=4.349$ Å, $Z=4$, $\rho_{тажр.} = 3.216$ г/см ³ .

Кремний монооксиди – SiO	2.00	-	Куб сингонияли, $a=7.135\text{\AA}$. Кристаллари бир турли пластинкалар ҳолида учрайди, $\rho_{\text{тажр.}}=2.146\text{ г/см}^3$
α -кристобалит- SiO ₂	1.486	-	Куб сингонияли юқори температурали фаза. Кристалларининг формаси-октаэдр ва куб. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр.}}=2.27\text{-}2.35\text{ г/см}^3$. 1710 ⁰ С да эрийди.
β -кристобалит- SiO ₂	1.487 1.484	0.003	Тетрагональ сингонияли, паст температурали. Полисинтетик қўшалоклар. Бир ўқли, манфий.
α -Тридимит- SiO ₂	- -	-	Гексагональ сингонияли, 117 ⁰ С дан юқорида барқарор, $c : a = 1.653$
β -Тридимит- SiO ₂	1.473 1.469 N _m =1.469	0.004	Ромбик сингонияли, 117 ⁰ С дан пастда барқарор, $a = 9.88$, $b = 17.1$, $c = 16.3\text{\AA}$, $Z=64$. 870-1470 ⁰ С ли оралиқдан ташқарида полиморфизмга учрайди. (+), $2V = 35^0$. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тажр.}}= 2.27\text{ г/см}^3$.
α -Кварц- SiO ₂	1.540 1.533	0.007	Гексагональ сингонияли, $a = 5.01$, $c = 5.47\text{\AA}$, $Z=3$. 870-573 ⁰ С оралиғида барқарор.
β -Кварц- SiO ₂	1.553 1.544	0.009	Тригональ сингонияли, $a = 4.903$, $c = 5.393\text{\AA}$, $Z=3$. Қисқа призматик кристаллар, 573-20 ⁰ С да оралиғида барқарор. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тажр.}}= 2.65\text{ г/см}^3$.

Китит-SiO ₂	1.522 1.513	0.009	Тетрагональ сингонияли, а =7.46, c = 8.59Å, Z=12. Бир ўқли, манфий, ρ _{тажр.} = 2.50 г/см ³ . 1100 ⁰ С гача барқарор.
Коусит-SiO ₂	1.604 1.599 N _m =1.593	0.014	Моноклин сингонияли, а =7.23, b=12.52, c = 7.23Å, β=120 ⁰ , Z=17. Қаттиқлиги 8, ρ _{тажр.} = 3.01 г/см ³ , (+), 2V = 54 ⁰ .
Лешательерит-SiO ₂	1.459	-	Аморф шаффоф модда
Халцедон-SiO ₂	1.537 1.530	0.007	Кварц структурасига ўхшаш, қаттиқлиги 6, ρ _{тажр.} =2.55-2.63 г/см ³
P ₂ O ₅ - I	1.624 1.599	0.025	Тетрагональ сингонияли стабилъ фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тажр.} =2.89 г/см ³
P ₂ O ₅ - I I	1.589 1.545 N _m =1.578	0.044	Ромбик сингонияли метастабилъ фаза. Икки ўқли, манфий, 2V = 65 ⁰
P ₂ O ₅ - I I I	1.471 1.469	0.002	Гексагональ сингонияли метастабилъ фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тажр.} =2.28-2.32 г/см ³
Cr ₂ O ₃	N _{ўртача} =2.5		Гексагональ сингонияли, а =4.95, c=13.57 Å, Кристаллари призма ва табличка ҳолида. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тажр.} = 5.2 г/см ³
2CrO·SiO ₂	2.03 1.93 N _m =1.94	0.10	Паст категорияли сингонияга мансуб, икки ўқли, ρ _{тажр.} =4.0 г/см ³
Cr ₂ O ₃ ·3SiO ₂	1.905±1.790± 0.05 0.05	0.115	Ромбик сингонияли, икки ўқли, тўғри сўнади. Эриш нуқтаси 1995 ⁰ С.

Коффинит – $\text{UO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}} =$ $\sim 1.83 \div 1.88$	Ўртача	Тетрагональ сингонияли, $a = 6.981 \pm 0.004$, $c = 6.250 \pm 0.005 \text{ \AA}$. Иссиқлик-дан кенгайиш коэффициенти $80 \cdot 10^{-7}$ га тенг.
Тефроит – $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	1.820 1.780 $N_m = 1.805$	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 – $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	- -	-	1291°C да инконгруэнт эриш туфайли тридимит ва суюқликка айланади.
Манганозит - MnO	2.230	-	Куб сингонияли, $a = 4.45 \text{ \AA}$, $Z = 4$. Кристаллари октаэдрик қиёфада, ажралиши куб бўйича. Қаттиқлиги 5.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.36 \text{ г/см}^3$
Мн-кордиерит - $2\text{MnO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 5SiO_2	1.558 1.537 $N_m = 1.558$	0.021	Кристаллари нинасимон. Икки ўқли, манфий, $2V$ кичик. Эриш температураси 1200°C
Спессартин - $2\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 3SiO_2	1.800	-	Куб сингонияли, $a = 11.59 \text{ \AA}$. Додекаэдрик кристаллар. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.18$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1200°C . $N_{\text{шиша}} = 1.655$
Пикротефроит - $2(\text{Mn, Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.740 1.710 $N_m = 1.727$	0.030	Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, $2V = 85^\circ$
$\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 2SiO_2	1.626 1.605 $N_m = ?$	0.021	Триқлин сингонияли, икки ўқли, манфий, сўниш бурчаги 43°
$\text{MnF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot$ $6\text{H}_2\text{O}$	1.374 1.357	0.017	Тригональ сингонияли, $c:a =$ 0.504 . Призматик кристаллар. Ажралиши (1120) бўйича. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 1.86 \text{ г/см}^3$

Фаялит – $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$	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 сезилар-сезилмас, $2V = 57^\circ$, оптик ориентирини $x=b$, $\rho_{\text{тажр.}}=4.32$ г/см^3
Вюстит – FeO	2.32	-	Куб сингонияли, $a = 4.30 \text{ \AA}$. $Z=4$. $\rho_{\text{тажр.}}=5.5 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси 1380°C
Гематит - $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$	3.010 2.780	0.230	Гексагонал сингонияли, $a = 5.04$, $c = 13.75 \text{ \AA}$. Габитуси-ромбоэдр ва пластинка. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}}=5.2 \text{ г/см}^3$. 1350°C да эрийди.
Клиноферро- силит - $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{I}$	- -	-	Фазавий группаси $P2_1/c$, $a =$ 9.7085 ± 0.0008 , $b=9.0872\pm 0.0011$, $c = 5.2284\pm 0.0006 \text{ \AA}$, $\beta=108.432\pm$ 0.004° , $V=437.6\pm 0.1 \text{ \AA}^3$, $Z=8$
Ортоферро- силит - $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{II}$	- -	-	Фазавий группаси $Pbca$. $a=18.431\pm 0.004$, $b=9.080\pm 0.002$, $c = 5.238\pm 0.001$ \AA , $V=876.6\pm 0.5 \text{ \AA}^3$, $Z=16$
Ферросилит - $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{III}$	- -	-	Элементар панжара ўлчамлари: $a = 6.57$, $b=7.51$, $c = 22.68 \text{ \AA}$, $\alpha=115.3^\circ$, $\beta=80.5^\circ$, $\gamma=95.5^\circ$.
Fe-кордиерит - $2\text{FeO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot$ 5SiO_2	1.574 1.551 $N_m=1.564$	0.023	Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, $2V$ катта
Альмондин - $3\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot$ 3SiO_2	1.830	-	Куб сингонияли, $a = 11.53 \text{ \AA}$. 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	Тригональ сингонияли, $a = 7.495$, $c = 16.05 \text{ \AA}$, $Z=4$. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.4$ г/см^3
Антофиллит – $7(\text{Fe, Mg})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2$ $\cdot \text{H}_2\text{O}$	1.597 1.584 $N_m = 1.590$	0.013	Ромбик сингонияли, $a = 18.52$, $b = 18.04$, $c = 5.27 \text{ \AA}$. Призма шаклли кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V$ -катта
$7(\text{Fe, Mg})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2$ $\cdot \text{H}_2\text{O}$	1.665 1.640 $N_m = 1.647$	0.025	Моноклин сингонияли, $a = 19.4$, $b = 17.8$, $c = 17.8 \text{ \AA}$. Икки ўқли, мусбат, $2V = 95^\circ$
Миннесотаит- $3\text{FeO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot$ H_2O	1.618 1.586 $N_m = 1.618$	0.032	Моноклин сингонияли, $a = 5.4$, $b = 9.4$, $c = 19.1 \text{ \AA}$. Пластинкасимон кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V = 5^\circ$. Қаттиқлиги 2.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 3 - 3.1 \text{ г/см}^3$
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, $a = 5.23$, $b = 9.11$, $c = 15.25 \text{ \AA}$. Юпқа пластинкасимон кристаллар, (-), $2V = 40^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.6 \text{ г/см}^3$
$\text{FeF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.384 1.364	0.020	Тригональ 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, сўниши- тўғри, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.677 \text{ г/см}^3$ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 4.74 г/см^3 . $2V$ -ўртача. Элементар панжара ўлчамлари: $a = 5.99$, $b = 4.77$, $c = 10.27 \text{ \AA}$.
Шпинель – $2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$	- -	-	Шпинель структурали, $a =$ $8.140 \pm 0.005 \text{ \AA}$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.17$ 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, $a = 6.39, b = 4.81, c = 11.06 \text{ \AA}$. Бипирамидалъ – призматик кристаллар, $2V=53^0$, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.69 \text{ г/см}^3$
$\text{CoF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.387 1.381	0.006	Тригональ сингонияли, $a:c =$ 0.522 . Призматик ва ромбоэдр кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.09 \text{ г/см}^3$
Никельевый оливин – $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ –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 $c=5.928 \text{ \AA}$, $Z=4$, оптик мусбат, узайиши мусбат, сўниши-тўғри, $2V$ -ўртача, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.72 \text{ г/см}^3$.
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ – II	- -	-	Шпинель структурали, $a = 8.044$ \AA , $\rho_{\text{хис.}} = 5.34 \text{ г/см}^3$
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ –I	1.661 1.653 $N_m=1.656$	0.008	Моноклин сингонияли, $a=7.75,$ $b=9.02$ ва $c=5.35 \text{ \AA}$, ва $\beta = 91^039'$
$\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ –II	1.665 1.655 $N_m=1.661$	0.010	Ромбик сингонияли, $a=8.66,$ $b=17.74$ ва $c=4.99 \text{ \AA}$
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, (+), $2V = 0-10^0$
Бунзенит - NiO	2.270	-	Куб сингонияли, $a=4.18 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллари октаэдрик қиёфада. Қаттиқлиги 3.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 6.8 \text{ г/см}^3$
$\text{NiF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.406 1.391	0.015	Тригональ сингонияли, $c:a =$ 0.514 . Кристаллари узайтирилган призмалар кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.13 \text{ г/см}^3$

Шеелит – CaWO_4	1.936	1.920	0.016	Тетрагональ сингонияли, $a=5.25$, $c=11.36\text{\AA}$, $Z=4$, Кристаллари пира-мида ва жадвал кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 6.10 \text{ г/см}^3$. Эриш нуктаси - 1570 °C.
Повеллит – CaMoO_4	1.984	1.974	0.010	Тетрагональ сингонияли, $a=5.24$, $c=11.46\text{\AA}$, $Z=4$, Кристаллари пира-мида ва пластинка кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.20 \text{ г/см}^3$
Стронцийли повеллит – SrMoO_4	1.926	1.921	0.005	Тетрагональ сингонияли, $c:a=1.574\text{\AA}$, $Z=4$, Кристаллари пирамида кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.15 \text{ г/см}^3$
Вульфенит – PbMoO_4	2.405	2.283	0.122	Тетрагональ сингонияли, $a=5.41$, $c=12.1\text{\AA}$, $Z=4$, Кристаллари пира- мида ва жадвал кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 6,75 \text{ г/см}^3$ Эриш нуктаси - 1065°C.
Штольцит – PbWO_4	2.27	2.19	0.08	Тетрагональ сингонияли, $a=5.46$, $c=12.05\text{\AA}$, $Z=4$, Кристаллари пира-мида кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 7.9-8-3 \text{ г/см}^3$
Гюбнерит – MnWO_4	2.283	2.150	0.133	Моноклин сингонияли, $a=4.85$, $b=5,77$, $c=4.98\text{\AA}$, $\beta=90^\circ 53'$, Кристаллари призма кўринишида. Икки ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 7.10 \text{ г/см}^3$

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 саниш 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-ашъёлар, ярим маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотларнинг оптик хусусиятлари қандай асбоблар ёрдамида аниқланади?

6. Кристаллооптика усулида табиий ва сунъий кимёвий бирикмалар, хом-ашъё, материал ва буюмлар, минерал ва композицияларнинг оптик кўрсаткичлари қандай қонунларга бўйсинади ва аниқланади?

7. Микроскопнинг қандай турларини санаб бера оласиз?

8. Микроскоплар учун қандай мосламалар мавжуд?

9. МИН-8 маркали поляризацион 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 характеристикаларининг 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 ТАХЛИЛ.

17-§. Инфрақизил нурларининг табиати.

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

1834 йили Меллона томонидан ўтказилган тадқиқотлар натижасида инфрақизил нурларининг қайтарилиш ва синиш табиати ёруғлик нурларининг табиатига ўхшаш эканлиги тасдиқланди. Бундан бироз

кейинроқ Ампер ва Кноблаух томонидан янги кашф этилган нурларининг тарқалиши, қайтари-лиши, поляризация ва 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 ўрганилди. Натижада бу рақам 350 мкм атрофида бўлиб, у радиотўлқинлари билан чегарадош эканлиги тасдиқ топди.

Молекуляр спектроскопия спектраль тахлил усуллари туркумига кирази. Спектраль тахлилда 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 структурали 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 областида $\nu=4 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{11}$ Гц). Атом ядроларининг ҳолатини ўзгаришида бу $h\nu$ катта қийматга эга бўлиши зарур. $h\nu$ энергияси электрон қобиғларни ўзгаришида кичик ва молекулаларнинг ҳолатини ўзгаришида - жуда кичик катталиқка эга бўлиши керак. Майдон частотаси ν ҳам турлича бўлади: биринчи ҳолда у γ -нурланиш ($0,00001-10^{-8}$ 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 областидаги нурланиш ($0,76-1000$ мк).

Маълумки, электромагнит майдон билан муҳитнинг ўзаро таъсири нурла-ниш тўлқин 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 группалари билан мулоқотда бўлади, ҳамда модда- даги кучсиз боғланган ёки "озод" ташувчи зарядлар билан ўзаро таъсир-лашади.

Юқоридагиларга асосланган ҳолда ИҚС усули асосида турли органик ва ноорганик группаларнинг (қаттиқ бўлак ёки жисм) хоссаларини аниқлаш, нур ютилиши ёки қайтиши полосаларининг аниқ характеристикасини бериш устида ишлар қизиқ кетди. Характерли полосалар группаларнинг 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 Ше-фер, 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., Плюсина 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 узунлигидаги (ёки тўлқин сонлари $13160-10 \text{ см}^{-1}$) электромагнит нурланиш бўлиб - ёруглик спектрлари

(0,40 - 0,76 мк) ва радиотўлқинлар [$\lambda > 1 \text{ см}^{-1}$ (1000мк)] оралиғидаги нурланишдир. Ҳозирги вақтда силикатларни ўрганишда кўпинча ИҚ нурланишнинг 2 дан 25-40 мк гача бўлган областлари 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:

$$I_p = \rho \cdot I_o,$$

бу ерда, I_p - қайтган нурлар оқими;

ρ - модданинг нур қайтариш коэффициенти;

I_o - модда юзасига тушаётган нормал нур оқими;

ИҚ нурларнинг ўтқизиш спектрлари қуйидагича топилади:

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

бу ерда, k - модданинг нур ютиш коэффициенти;

t - нур ютаётган қаватнинг қалинлиги

Нур қайтиш ва ўтқизиш спектрларининг қиймати қуйидагиларга боғлиқ:

- 1) нур ютиш коэффициенти k , нур қайтариш коэффициенти ρ ва модданинг нур синдириш кўрсаткичи n га;
- 2) кристалл панжара сингонияларига;
- 3) структураларнинг массалар ва ион радиусларига, бунда масса қанча кўп бўлса, бир сингония кристаллари нур ютишининг асосий полосалари шунча кўп узун тўлқинли област тарафига силжийди;
- 4) панжарадаги изоморф қўшилмалар ва бошқа факторларга.

18-§. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари.

ИҚ областида нур ютилиши асосан ИҚ нурланиши таъсирида модда молекулалари ёки ионларининг айланма ва тебранма ҳаракатини ўзгариши,

баъзан уларнинг электрон қобилларини деформацияга учраши билан характер-ланади. Энг кўп ИҚ нурининг ютиши кристалл панжара ва унинг компонент-лари (молекула, ионлар)нинг тебраниш частоталарига амалий жиҳатдан мос келади. Бу тебранишларнинг характери ва частоталари модданинг табиатига, молекулалари (ионлари) ни жойлашишига, улар орасидаги масофа ва бошқа-ларга боғлиқ.

Модда характериға тебраниш частоталарининг боғлиқлигини умумий кўринишда қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\nu = 1/2\pi c \sqrt{\gamma / \mu},$$

бу ерда, ν - тебраниш частотаси;

μ - келтирилган мураккаб анионнинг атом массаси;

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

d_i - XO_4 тетраэдрга кирувчи, X атоми учун характерли ва берилган атомни элементлар даврий системаси 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 усулларида келиб чиққан ҳолда (препарат тайёрлаш, текшириш учун аппарат танлаш) қаттиқ моддалар икки синфга бўлинади:

1) Бир тартибли мураккаб бўлмаган группа компонентлари (ионлари, молекулалари) орасидаги масофа ва энергияга боғлиқ бўлган кристалл модда-нинг 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 кўп сонли ионларнинг боғлиқлигини ҳисобга олиш лозим. Бир қанча соддалаштириш-лардан мумкин бўлган тебранишлар сони ёки нур ютиш полосаларини аниқ-лаш мумкин. Бундай кристаллар таркибига нисбатан оғир ионлар киради, шунинг учун уларнинг тебраниш частоталари узун тўлқинли спектрларда (12-15 мк дан катта ёки 800-700 см⁻¹ дан кичик) намоён бўлади.

Моддаларнинг аморфлик ҳолатининг уларнинг ИҚ спектрларга таъсири етарлича ўрганилмаган. Аморфизацияда ютилиш полосалари кенгайиб, улар-нинг нозик структураси йўқолиши мумкин.

Ҳозирги кунда бирорта маълум кристалл структурали 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, Матосси, 1935 й.) ўзининг биттадан тебраниш частотасига эга. Улар массасининг тебранувчи атомлари массаси қанча кўп бўлса, бу полоса шунча узун тўлқинли областда сурилган бўлади:

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

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

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 жихатдан 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: BeO= 8,2 мк (1222 см^{-1}); 10,7 мк (935 см^{-1}) ва 14 мк (713 см^{-1}); ZnO= 15,2 мк (658 см^{-1}); 22 мк (455 см^{-1}) ва 28 мк (357 см^{-1}).

2) Ички кучларининг боғланиши группалараро боғланишга нисбатан кучли бўлган, ўзининг структурасида мураккаб группага (ионлар, молекула-лар) эга бўлган кристалл моддаларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари.

Агар панжарада анион ва катионлар комплекси ёки группа атомлари ўзаро мустаҳкам боғланган бўлса, интерпретация ва тебранишлар ҳисоби ёки уларга мос келувчи нур ютиш полосаларини аниқлаш ва модданинг тузи-лишини ИҚ спектрлар орқали ўрганиш жуда осон бўлади. Бу группаларни (масалан, $[\text{SiO}_4]^{4-}$) етарли даражада изолировка қилинган ва уларни катта бўл-маган атомлар сонидан ташкил топган молекула деб қараш мумкин.

Мураккаб группадан ташкил топган моддаларни тебранишини:

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

б) ташқи тебраниш, яъни бошқа группа ёки атомларига нисбатан комплекс группа тебраниши.

Кристалларнинг айрим бўлақларини ажратиш ва уларнинг тебранишини тажриба билан кўриш исботлайдики: агар группани ташкил этувчи элементларнинг атом оғирлиги қўшни группа элементларининг атом оғирлигидан маъ-лум равишда фарқ қилса.

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

Шунга жавобан 2 чи синф қаттиқ моддаларнинг тузилишини аҳамиятига кўра амалий жиҳатдан ИҚ нур ютиш спектрлари ўртасидаги боғланиши қуйи-дагича белгиланади:

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

2) группаларнинг нур ютиш полосалари ва уларнинг силжишлари ҳамда бошқа группалар (ёки катионлар ва нейтрал заррачалар) ва бир хил группаларнинг ўзаро жойлашишига боғлиқ.

Группаларнинг маълум даражада қонуний жойлашиши масаласига келсак, масалан бир турли сингония кристаллари учун, текширилаётган мураккаб группанинг нур ютиш полосаси ҳолати қўшни группа ўлчамлари 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 группалар ҳолатига тўғри пропорционал равишда силжиши топилган (Архипенко, 1963 й.; Александров, 1965 й.; Ковалев ва

бошқалар, 1965 й.). Бу шуни билдирадики, изоморф группа (ион) текширилаётган группа нур ютиш полосасини силжишини юзага келтиради. Минералнинг механик қўшилмалари эса текширилаётган модданинг нур ютиш полосаси ҳолатида ўзгаришлар содир этмайди. Кўринишидан нур ютиш спектри бўйича моддадаги компонентларнинг шаклини чиқиши ва полосанинг силжиш катталиги бўйича изоморф қўшимчалар сонини аниқлаш имконини беради.

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

Кристалл ва аморф моддаларда группа (ион, нейтрал заррача)нинг ўзгариши (изоморфлилиги)ни текширилаётган группанинг нур ютиш полосасини би-роз силжишига олиб келади. Бунда кўпинча ҳар бир полосанинг парчаланиш характери сақланади. Баъзан полосанинг интенсивлик нисбати ўзгаради.

XU_4 группа (SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} ва бошқалар) тўғри тетраэдрда намоён булса, иккита тебраниш частотасига эга ва агар тетраэдр қайишганроқ бўлса, тўртта тебранишга эга. Чунки мос келув-чи нур ютиш полосалари бу ҳолда парчаланаяди. Берилган намунадан нур ютиш полосаларининг сони ва кўриниши бўйича группа 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 оғирлиги, радиуси, атомлар орасидаги масофа ва кимёвий боғланиш тури – ионли, ковалентли, металл, водородли ва хоказога қараб ютилиш чизиқларининг қиймати ва ҳолати ўзгаради. Шунинг учун инфрақизил

нурларини ютиш даражаси, полосалар сони ва кўринишига қараб қайси группа ёки модда устида гап ке-таётганлиги хақида фикр юритиш мумкин.

Масалан, ютилиш полосалари таълуқли: силикатлар ва SiO_4 га- 1100-900, 830-740 ва 500-400 см^{-1} ; боратлар, BO_3 ва BO_4 ларига- 1300-1150, 1050-900 ва 780-660 см^{-1} ; фосфатлар ва PO_4 га-1100-1000,830-780 ва 650-500 см^{-1} ; арсенат- лар 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} ; ванадатлар ва VO_4 га – 1150-730, 480-450 ва 350 см^{-1} .

19-§. Кальцит минералининг инфрақизил спектрлари хақида.

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

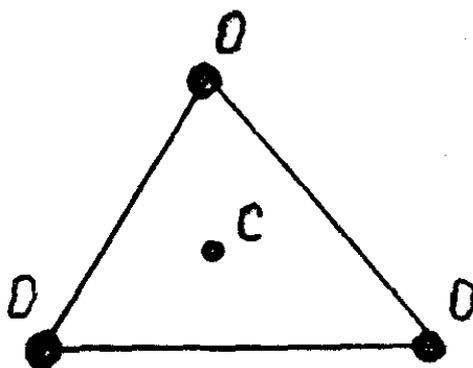
Сувсиз карбонатлар, шу жумладан кальцит минералининг инфрақизил спектрларини ўрганиш 1950-1963 йиллар давомида Адлер, Келлер ва Керр томонидан амалга оширилган. Кальцит – доломит аралашмасидан минерал-ларни ажратиб олиш методикаси Хант ва Тернер томонидан 1962 йили хал этилди. Турли карбонат минераллари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

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

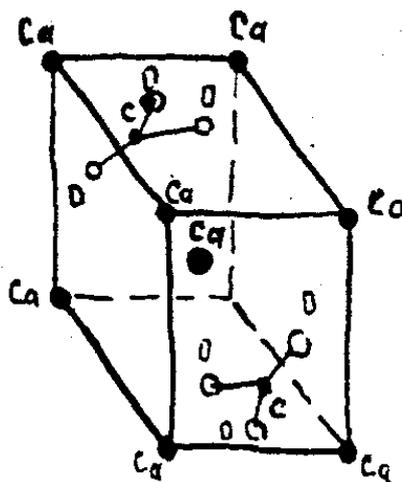
Модда	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4
-------	---------	---------	---------	---------

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

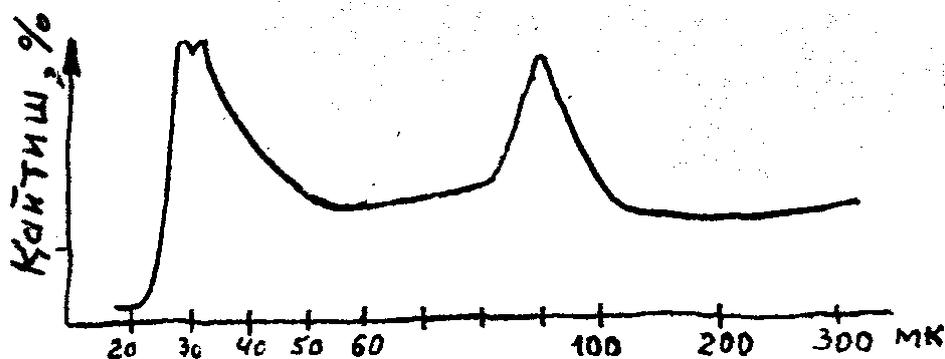
Қуйида CaCO_3 минералининг ИҚ спектрларини батафсилроқ кўриб чиқилади. CaCO_3 - кальцит: У CO_3^{2-} группасидан ташкил топган ва С атомлари ясси бир хил томонли учбурчак марказини ҳосил қилади. Бу ерда тўртта шахсий тебраниш, ҳар бирига мос келувчи ўзининг нур ютиш полосаси бўлиши мумкин. Углероднинг 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.



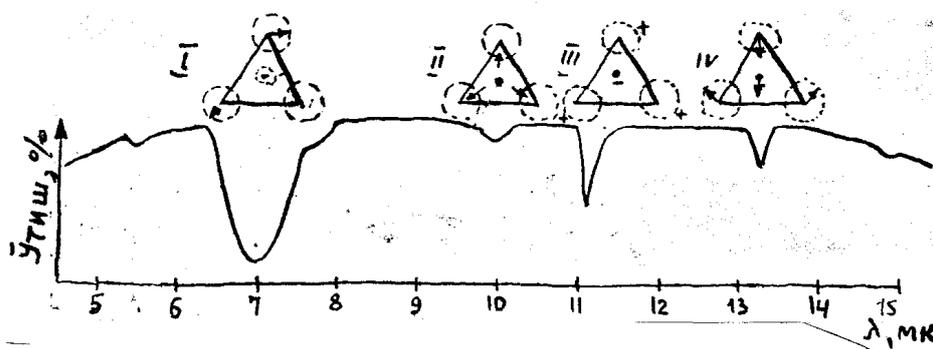
11-расм. Кальцитни ташкил қилувчи учбурчак ёки пирамида.



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 кўр-сатилган (14-расм). Юқори нур ютилиш максимумлари ички тебраниш- CO_3^{2-} ком-плекс анион атомларининг тебраниши билан

аниқланади. 14-расмда келтирилган ИҚ нурларни ютиш спектрида 4 та полоса мавжуд бўлиб, қуйидаги тебраниш-ларни англатади: 1-тебраниш (7 мк области)- икки атом О бир-биридан узоқлаша-ди, учинчи атом О ва марказий С харакатини олдинги икки атомга нисбатан пер-пендикуляр йўналиши бўйича бажаради.

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

2-тебраниш (10 мк области)- учбурчақ марказидаги атом С харакат қилмайди, лекин О атомлари (учбурчақ чўққисидаги) марказ билан чўққи ораси-даги чизиқда тебраниш ҳосил қилади.

Бундай тебраниш ясси учбурчақ ҳолатида электрик моментини 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 области)- С атоми тебраниши учбурчақ юзасига перпендикуляр йўналиш бўйича бўлади, О атомлари учбурчақ юзасининг баъзи бир бурчақлари бўйича қарама-қарши равишда содир бўлади.

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

4-тебраниш (13,5 мк области)- иккита O^- атомлари бир-биридан узоқлашади, учинчи O^- атоми бу вақтда учбурчақ юзасида аниқ траектория бўйлаб харакат қилади.

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

20-§. Тахлил имкониятлари.

Инфрақизилспектроскопик тахлилдан қўйидагиларни текширишда фойдаланилади:

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

Текширишдан кузатилган мақсад:

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

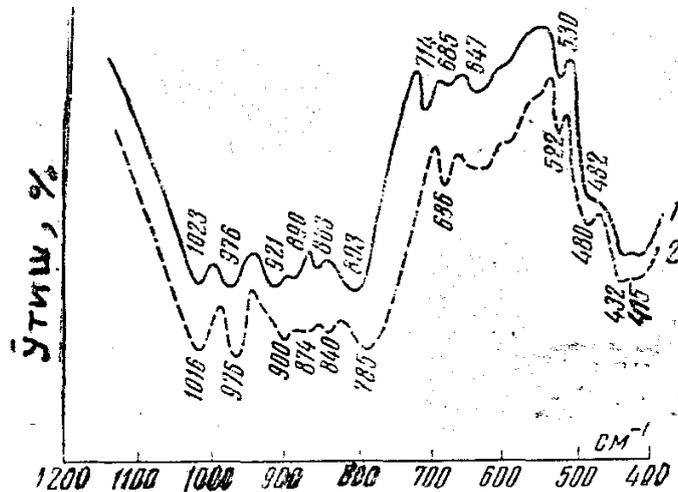
Бу ҳолатни расшифровка қилишнинг икки моменти бор: а) 2-чи минерал номаълум, спектрлар бўйича биз уни геленитларга хослигини ва унинг $Me_2^{2+} Me_2^{3+} Me^{4+}O_7$ кўринишидаги формулага эга дейишимиз мумкин; б) синтетик $Sr_2Al_2SiO_7$ оксидларидан синтез қилинган ва хоссалари бўйича у геленитга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

2) Ярим миқдорийси кимёвий таркибни аниқлаш учун: Масалан, айтилик 4-чи намуна таркиби номаълум, лекин 3-чи намуна таркибини билган ҳолда ёзамиз: $Ca_{16} TR_8 Al_8 Si_{16} O_{72}$ (16-расм).

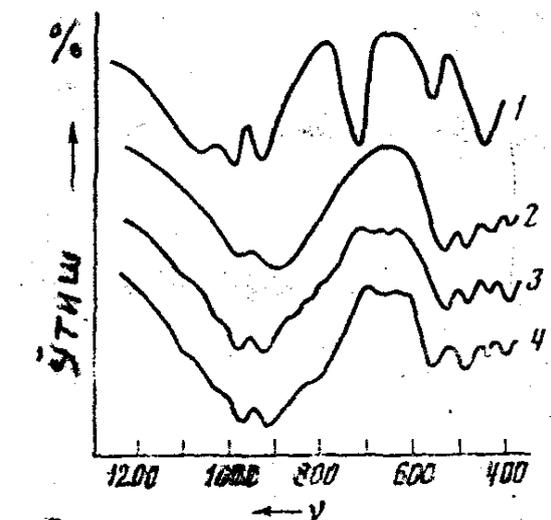
3) Кристалл ёки аморф моддаларнинг кристалланиш даражасини аниқлаш учун. 17-расмда 15-чи спектр $LaMgAlSiO_6$ моддасига тегишли бўлиб, унинг поликристалларидан иборат, 1-чи спектр $CaMgSi_2O_6$ га таалуқли бўлиб, унинг шишасимон ҳолатда эканлигини тасдиқлайди. Намуналар $1550^\circ C$ ли ҳароратда 1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

4) Моддадаги мураккаб группаларнинг тахлили (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).

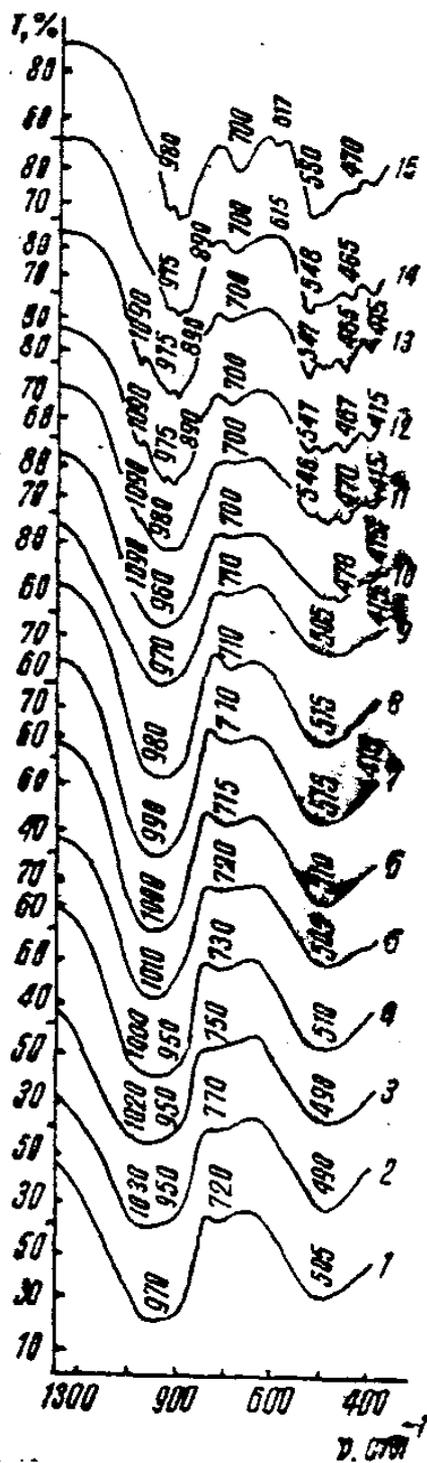
5) Моддаларнинг қиздириш ва бошқа турли реакцияларда ўзгариш жараёнини (янги модда пайдо бўлиши, фазалар аралашмаси, оралик маҳсулот-лар, диссоциация ва бошқалар) ўрганиш.



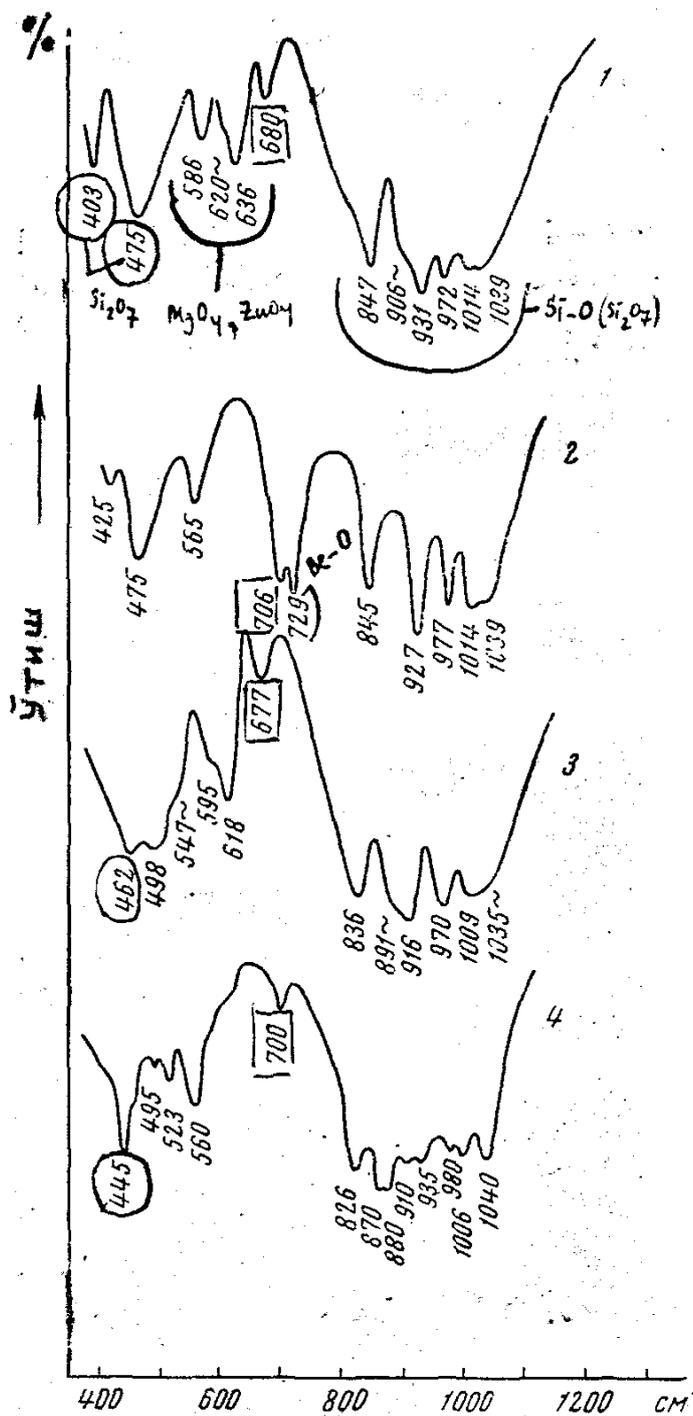
15-расм. Синтетик мелилитларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари: 1- $\text{Ca}_2\text{SiAl}_2\text{O}_7$; 2- $\text{Sr}_2\text{SiAl}_2\text{O}_7$.



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 килинган моддаларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари.



18-расм.

б) Қўшимчалар характерини ўрганиш: 1-5% дан кам бўлмаганда изоморф, механик (қўшимчаларнинг изоморфлиги ҳолатини аралashi ва даст-лабки модданинг интенсив нур ютиш полосаларининг силжиши ва бир вақтда баъзи бир полосалар интенсивлигининг ўзгариши билан намоён бўлади).

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

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

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

Механик қўшилма ҳолда (аниқлик $\pm 1\%$) икки ва ундан ортиқ минераллар аралашмаси - ҳар бир минерални нур ютиш полосалари интенсивлиги ара-лашма минералларининг нисбий миқдorigа тўғри пропорционал.

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

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

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

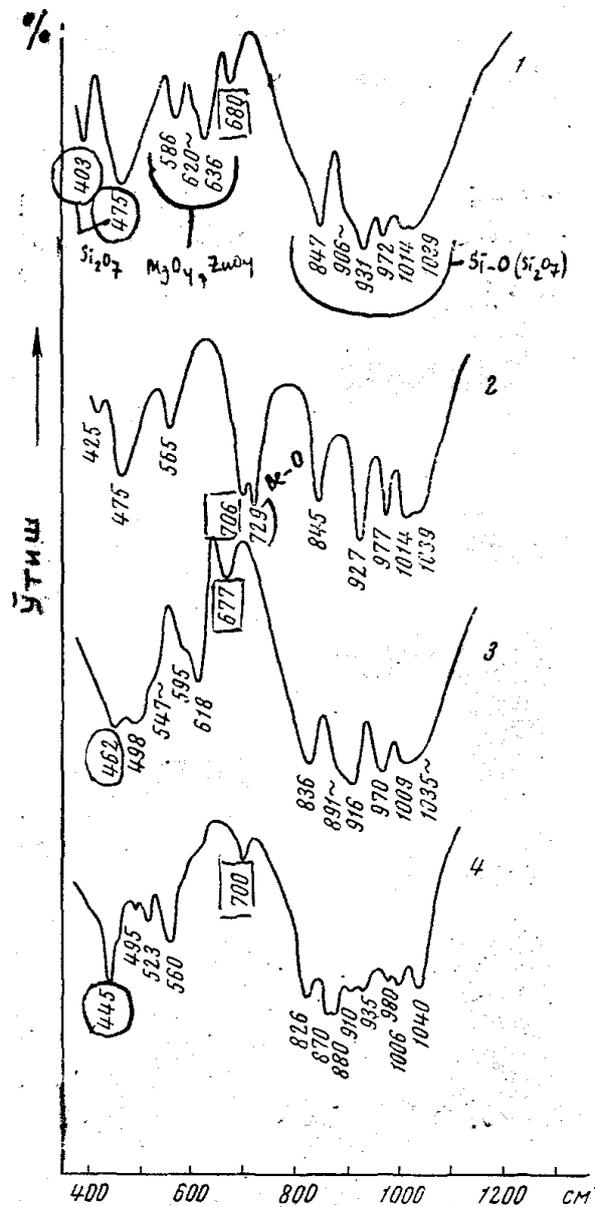
$$n_1^2 - 1 / n_1^2 + 2 = (n_2^2 - 1) \lambda_1^2 / (n_2^2 + 2) \lambda_2^2 / \ln J_1 / J_0 / \ln J_2 / J_0,$$

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

n_2 - λ_2 тўлқин узунлиги учун маълум нур синдириш кўрсаткичи,

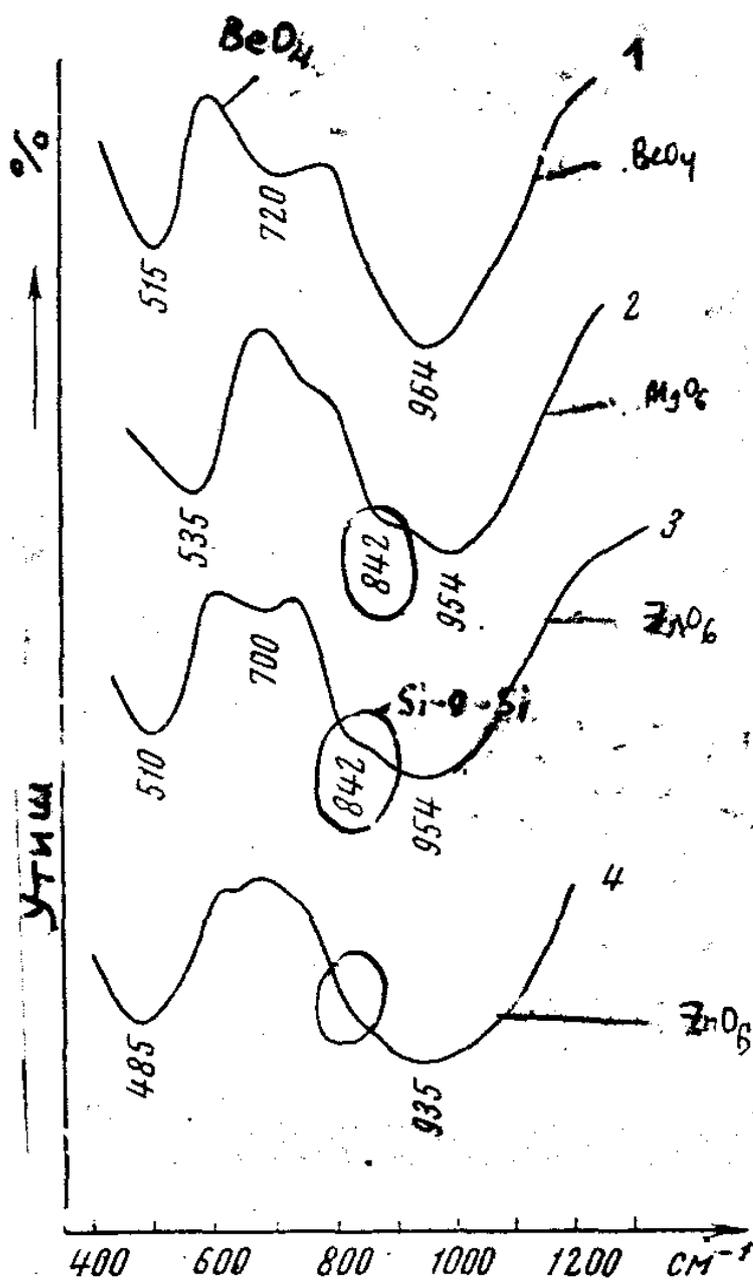
J_1 ва J_2 - моддадан λ_1 ва λ_2 тўлқин узунлигида ўтаётган нурланиш интенсивлиги;

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

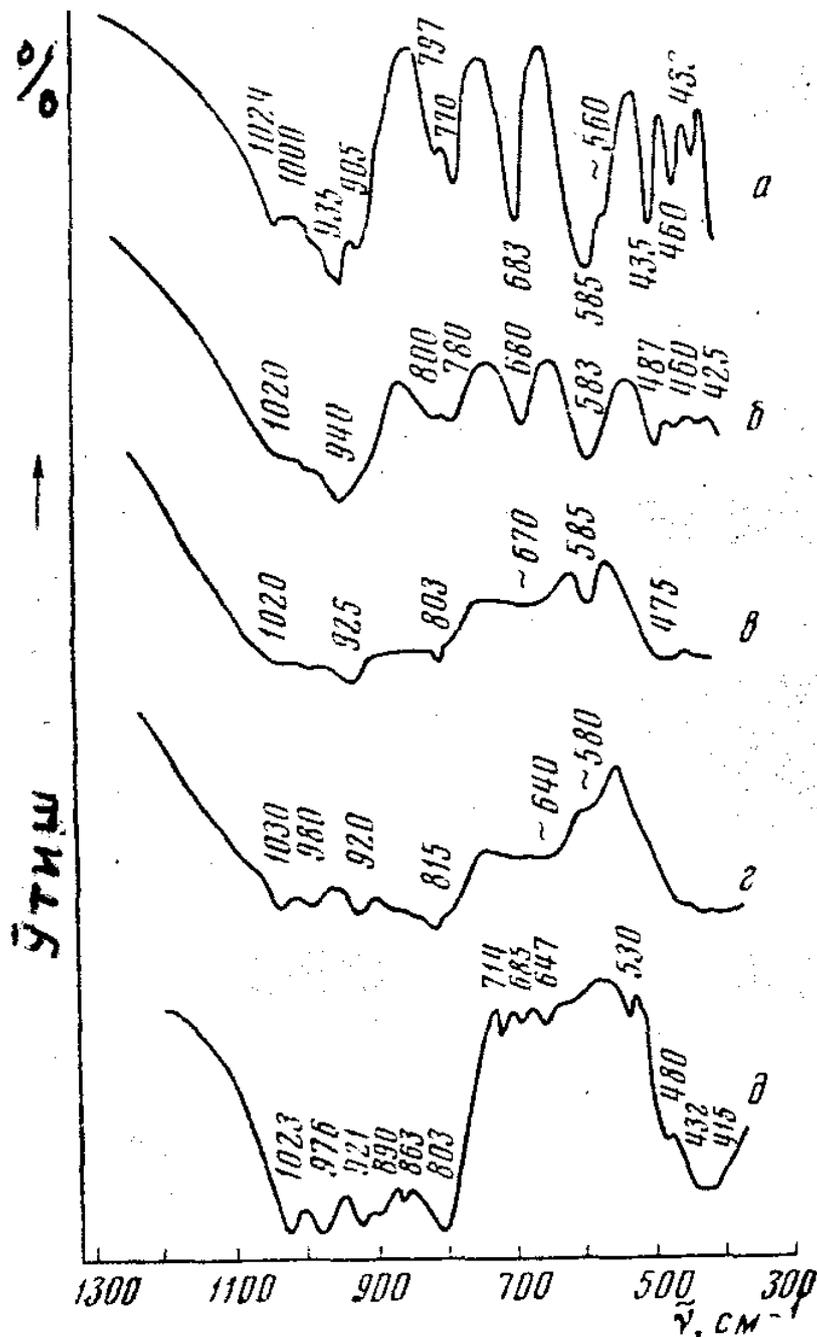


19-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиши спектрлари:

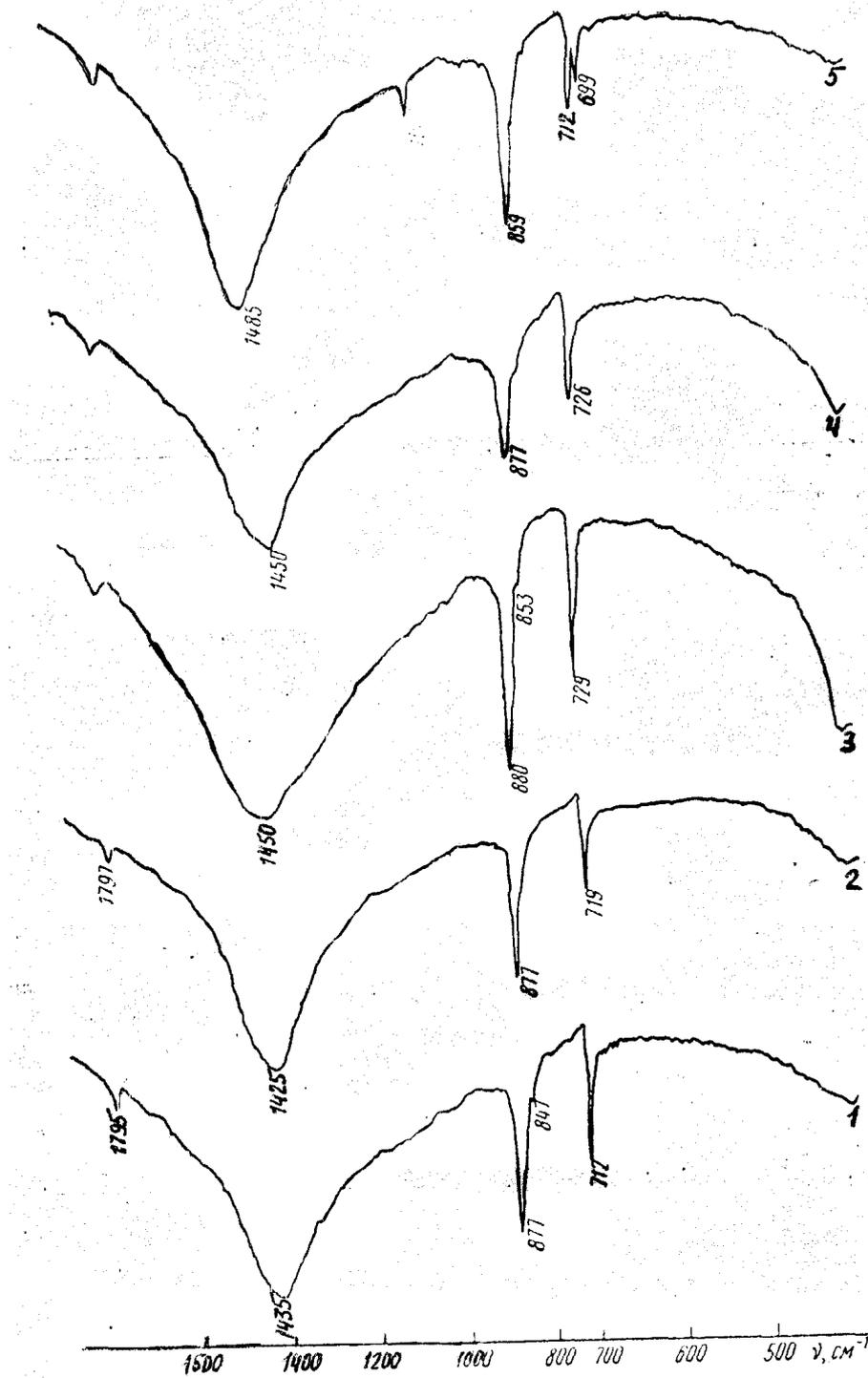
- 1- окерманит $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$;
- 2- бериллийли окерманит $\text{Ca}_2\text{BeSi}_2\text{O}_7$;
- 3- рухли окерманит $\text{Ca}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$;
- 4-қўрғошинли окерманит $\text{Pb}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$.



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



21-расм. ИҚ нур ютиш спектрлари: а) $\text{Y}_2\text{SiBe}_2\text{O}_7$; б) $\text{Ca}_{0.5}\text{Y}_{1.5}\text{SiAl}_{0.5}\text{Be}_{1.5}\text{O}_7$; в) CaYSiAlBeO_7 ; г) $\text{Ca}_{1.5}\text{Y}_{0.5}\text{SiAl}_{1.5}\text{Be}_{0.5}\text{O}_7$; д) $\text{CaSiAl}_2\text{O}_7$ (намуналар KBr аралашмаси билан преслаб тайёрланган).



22-расм. Карбонатларнинг инфрақизил нур ютиш спектрлари: 1-кальцит, 2-кобальтовый 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 ўзга-ришлар содир бўлмайди;
5. Маълум группалардаги атомларнинг жойлашиши, фазавий ҳолати ва умуман жуда нозик структура тахлилини 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 тўлқин 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. Миқдорий анализ натижаларининг юқори даражада эмаслиги;
3. ИҚ нурларини қайтариш спектрларини олишни бироз кийинлиги;
4. Решетканинг ички тебранишлари билан анионлар тебраниши ўрта-сидаги боғлиқликни кўрсата била олиши;
5. Кристаллнинг майдон кучланишини характерловчи коэффициентлар тўпламини етарли даражада ишончли эмаслиги;
6. Қиймати жиҳатидан яқин ва изоморф ўзгарувчан атомларнинг тебраниш частоталарини идентификациясидаги қийинчилик.

7. Моддаларни механик майдалашда ва KBr билан таблеткалар преслашда структура ўзгариши эҳтимолдан ҳоли эмас. Яна текшириладиган модда кристалларининг KBr билан аралашиб кетиши;

8. Кукуннинг баъзи қисмларида нурланишнинг ҳар хил ўтириши натижасида нур қайтариш ва ютилишида ноаниқ эффектларнинг пайдо бўлиши.

22-§. Инфрақизил спектроскопия усули аппаратлари.

Инфрақизил области, юқорида қайд этилганидек спектрнинг бир қисми бўлиб, унинг тўлқин узунлиги қизил рангли ёруғлик спектри (750 мкм) тўлқин узунлигидан катта. Инфрақизил спектрининг юқори чегараси тахминан 350 мкм атрофида жойлашган. Бу областни тадқиқот қилиш учун спектраль усуллар, жумладан иссиқлик чиқишини қайд этиш усуллари қўлланилиши даркор.

Бу усулда қўлланадиган жихозлар спектрометр ёки спектрофотометр деб аталади. Ушбу приборлар ёрдамида нур чиқиш интенсивлиги ўлчанади ва улар детекторли қурилмага фокусировка қилинади. Диспергирлашган элемент-нинг турига қараб улар уч асосий классларга ажралади: призмали, дифракци-ионли ва комбинировкаланишган призма-дифракционли. Приборлар тузилишида фарқлар бўлишига қарамасдан, уларнинг ҳаммаси автоколлимацион типга таълуқли. Ўта перспективли, аммо кам тарқалган аппаратлар турига интер-ференцион спектраль жихозлар 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 юқоридаги маърузада сўз юритган эдик.

Группа ёки радикалларга оид маълумотлар, катионларнинг анионлар билан берадиган валент тебранишларини аниқлашда инфрақизил

спектроскопик тахлил яхши натижа беради. Инфрақизил нурларни ютиш ва қайтариш спектрлари билан қаттиқ модда таркибидаги комплекс группалар ва радикаллар тузилиши орасида назарий боғлиқлик бор. Шу боғлиқлик текширилаётган 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 очилган янгилик ўрганилаётган моддаларни монокристалл ва тупроқли силикатлар ҳисобига кўпайтириш имконини берди.

Аморф модда ва шиша структурасини ИҚ спектрларида текшириш Флоринская номи билан (Ленинград, Вавилов номи Давлат оптика институти)

хамда юқори ҳароратли ИҚ спектроскопияни ривожланиши А.М. Шевяков (Ленсовет номи технология институти, Ленинград) номи билан боғлиқ. ИҚ спектроскопияни амалий ривожланишига Россиялик олимлардан яна Г.Б.Боккий, 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 зўрғасуюлувчан материалларни бу усул билан тадқиқот қилишда Ўзбекистонлик олимлар - Н.А. Сиражиддинов, Б.И. Нудельман, Т.А. Ота-қўзиёв, С.С. Қосимова, А.А. Исматов ва бошқаларнинг ҳам хизматлари жуда катта.

Текшириш учун ускуналар. ИҚ нурларини ўтказиш, нур қайтариллиши ва нур ютиши спектрлари 0,76÷25 мк тўлқинлари оралиғида махсус ИҚ спектро-фотометрларда 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 сис-тема; 2) частоталарни тез беради.

Мавжуд жиҳозларнинг ҳаммаси маълум текшириш диапазониға, 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 каттарок (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 характеристикаси бир-хил бўлса ёки жиҳозий хатолар 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 ($076\div 1000$ 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 Лит-ровнинг айланма кўзгусидир.

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

4) Қабул қилувчидан келаётган электрик сигнални кучайтиргич.

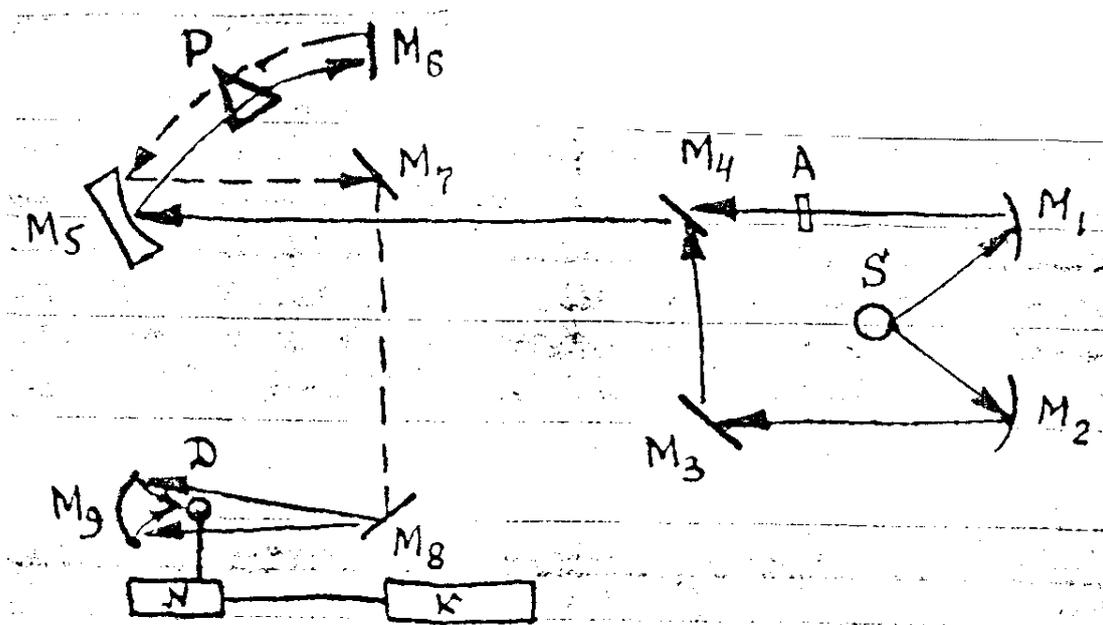
5) Ёруғлик частотасига боғлиқ ҳолда (абсцисса) ўтказувчанлик қийматини (ордината) қоғозга ёзиб олувчи мослама.

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 1500°C да тўла нурланишни беради. Ток қуввати амперларда оператор томо-нидан 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; $\text{KBr} = 9-26$ мк гача; $\text{CsI} = 10-50$ мк гача. Улар ИҚ нурланиш учун кўрсатилган интервалда шаффофдир.

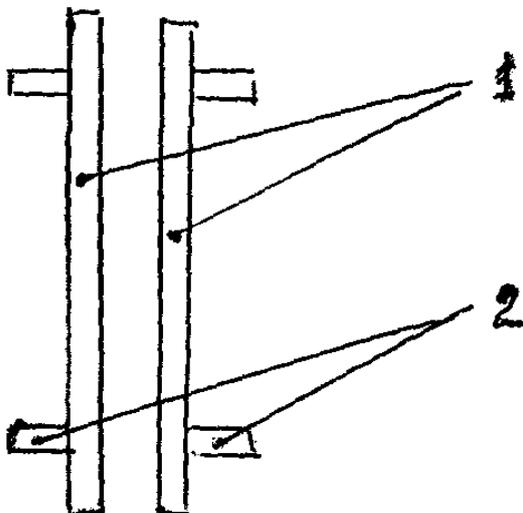
III. Нур энергиясини қабул қилувчилар. Балометр (грекча нурланишни ўлчовчи) Лангле томонида 1881 йилда амалиётга киритилган. Унда ютилган нурланиш металл симни қиздиради ва ҳосил бўлган қаршиликлар ўзгариши регистрация қилинади.



22-расм. ИҚ-спектрометрнинг 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.



23-расм. Микрокюветнинг тузилиш:

1 – Металл рамалари (намуна уларнинг орасига кўйилади);

2- Пластмассали қисқич.

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

Фотоқаршилиқ - 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 классга оид моддалар қаторига 2600 см^{-1} областида қўлланиладиган симоб ҳамда хлорид кислотаси ва 2000 см^{-1} областида қўлланиладиган CO_2 киради. Иккинчи классда натрий хлориди-дан ясалган призмаларни $2000\text{-}660\text{ см}^{-1}$ оралиғида градуировка қилиш учун сув парлари, аммиак ва CO_2 -лардан фойдаланилади.

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

10-жадвал

Спектр области , 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 спектро-метрлар учун график чизилади, ИР-10 аппарати учун эса тегишли поправка киритилади.

ИҚС-14 прибори икки канал усули бўйича ишлайди ва нур ўтказиш катталигини ўтказиш % 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 - полистираль 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 келаётган 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, паралел силлиқланган, ИҚ нур ютиш спектрлари учун мўлжалланган на-мунанинг қалинлиги 2 мм дан то бир неча микронгача, кўпинча қават қалин-лиги 20-30 мк гача бўлади. Пластинка ўлчами ишлатилаётган жихозга боғлиқ бўлиб, 35x10 мм дан 5x5 мм гача бўлиши мумкин.

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

Селен кўзгусиниг нур қайтаришдан олинган ИҚ нурланиш икки ўзаро перпендикуляр йўналиш бўйича монокристалл орқали ўтказилади. Бу нур қай-тариш эгриликлари бўйича группа 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 - 1см^2 юзада 0,1-2 мг миқдорда NaCl, KCl, KBr каби ИҚ областларида шаффоф бўлган подложкага намуна кукуни қотирилади ёки чўкмага тушурилади. Масалан, хаволи мухитда қуйиш: 2-3 г материал агат хавончаларда 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.

Пленка қалинлигини қуйидагича топилади:

$$t = \frac{m}{a\rho} (\text{см}),$$

бу ерда: m - кукуннинг массаси, г;

a - дискнинг юзаси, см^2 ;

ρ - модданинг зичлиги, г/см^3 .

Иккинчи усул - суюқ ёки қаттиқ кукун аралашмасини мос келувчи тўлдирувчилар иштирокида тайёрлаш. Бу усул ҳам ўз навбатида икки йўл билан амалга оширилади:

а) изопропил спирти иштирокида идиш тагига кукунни ўтқозиш, сўнгра қуруқ кукунли пленка ҳосил бўлгунча парлатиш йўли билан қуритиш. Одатда 2 г кукунга 100 мл спирт қўшилади. Жараён охирида ҳосил бўлган пленка 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 олинади. Кўпинча аралашмада 0,1; 0,33; 1 ёки 3%-текширилаётган модда бўлади. Бу усулда наъмуна тайёрлаш тизими қуйидагича бўлади:

500 мг KBr + 2 мг модда
↓
4500-7000 кг/см² 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 кюветадан фойдаланилади:

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

25-§. ИҚ спектрларни ёзиб олиш.

Амалиётда икки турли спектрларни ёзиб олиш ва расшифровка 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 улар процент миқдори аниқланади.

1. Қанча процент нур ўтади ва ютилади;
2. Қанча процент нур қайтади.

Флоринская В.А. маълумотлари бўйича 50% Na₂O+50% SiO₂ дан ташкил топган ва 620°C да кристалланган шишада:

- 1) 13,2 мк да
ўтказди - 70 %,
қайтаради - 7 %,
ютилади ~ 23%.
- 2) 11,2 мк да
ўтказди - 55%,
қайтаради - 25%,
ютилади ~ 20%.
- 3) 10,2 мк да
ўтказди - 33 %,
қайтаради - 42 %,

Жадвал 11

Кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги полоса экстремумларининг ҳолати.

Текширилаётган намуна	Тўлқин узунлиги, мк
Қайтиш спектрлари	
Кварц, ўққа ⊥	8,50; 8,95; 12,54; 14,54; 18,2; 20,7-20,8
Кварц, ўққа	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

Гереус 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
Гереус фирмасининг кварц шишаси	9,05-9,15; 12,50; 21,3

Жадвал 12

Поликристалл ва рангли кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги полоса экстремумларининг ҳолати

Текширилаётган намуна	Тўлқин 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
Ўтиш 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 кварц	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

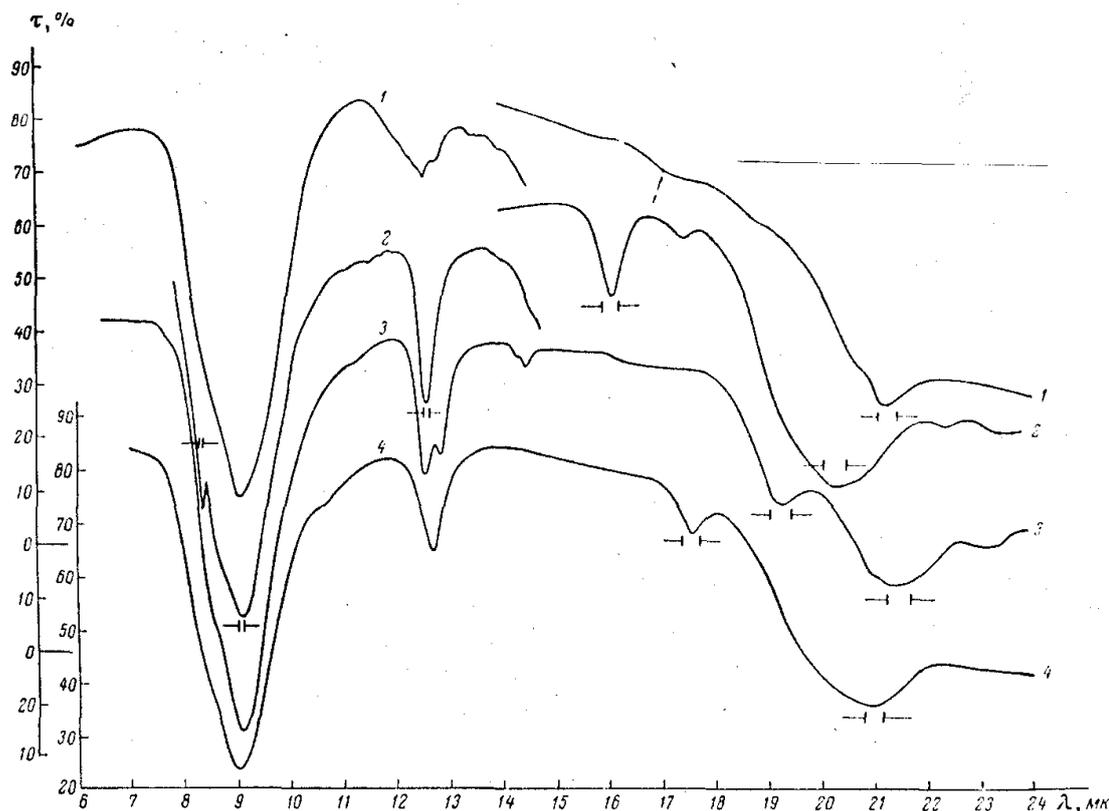
ютилади ~ 25%.

4) 7,8 мк да

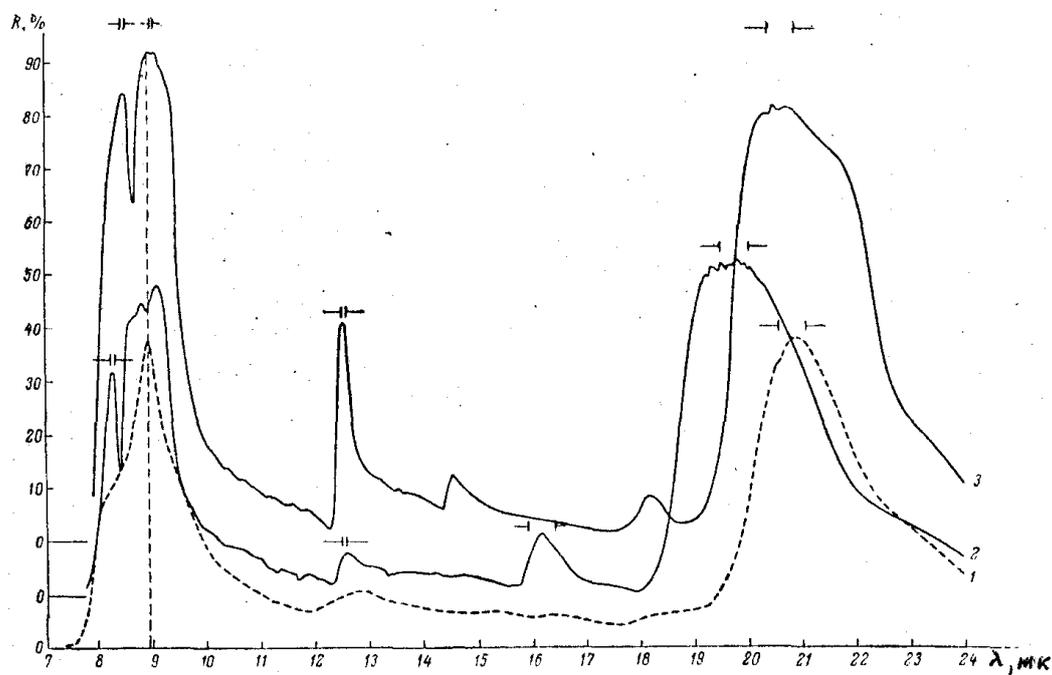
утказди - 70 %,

кайтаради - 0 % ,

ютилади ~ 30%.



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



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

26-§. Мухим фазаларнинг ИҚ спектрлари.

Силикат структурали моддаларда ИҚ спектри атом, молекула ва группаларнинг координациясига ўта боғлиқ бўлади. Буни қуйидаги группалар, улар берадиган полосалар ва полосаларнинг экстремумлари мисолида кўришимиз мумкин.

I. Кремний-Si асосидаги группалар учун:

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

II. Алюминий - Al асосидаги группалар учун:

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

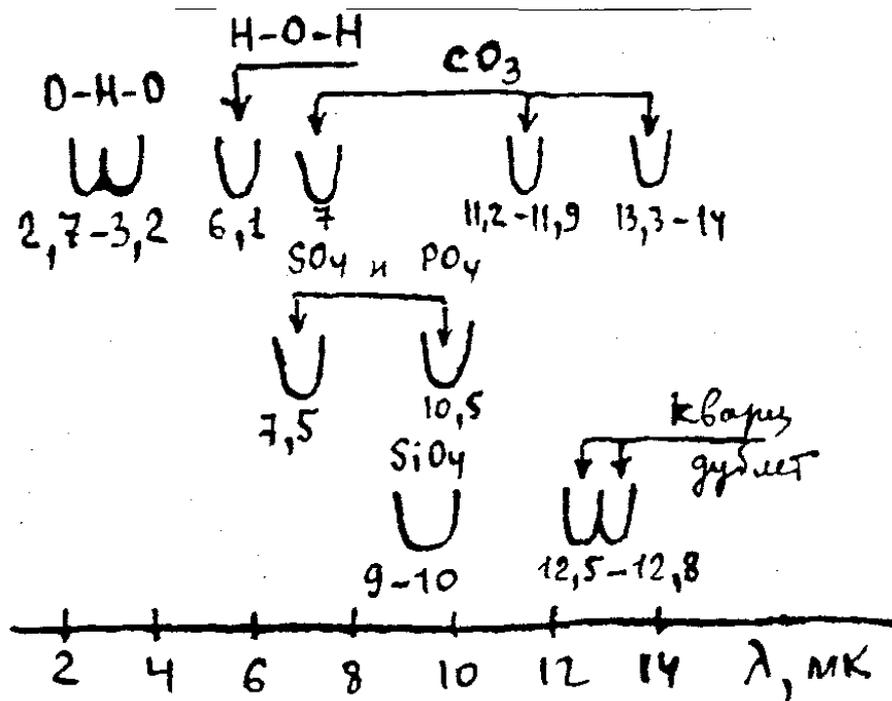
Шундай қилиб, амалий жиҳатдан олинган спектрларни маълум модданинг характерли полосаларига таққослаш буйича расшифровка қилинади. Поло-саларнинг ҳолати группа атомлари, ионлари ва группировка типларидаги боғланишларга боғлиқ ҳолда ўзгаради.

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

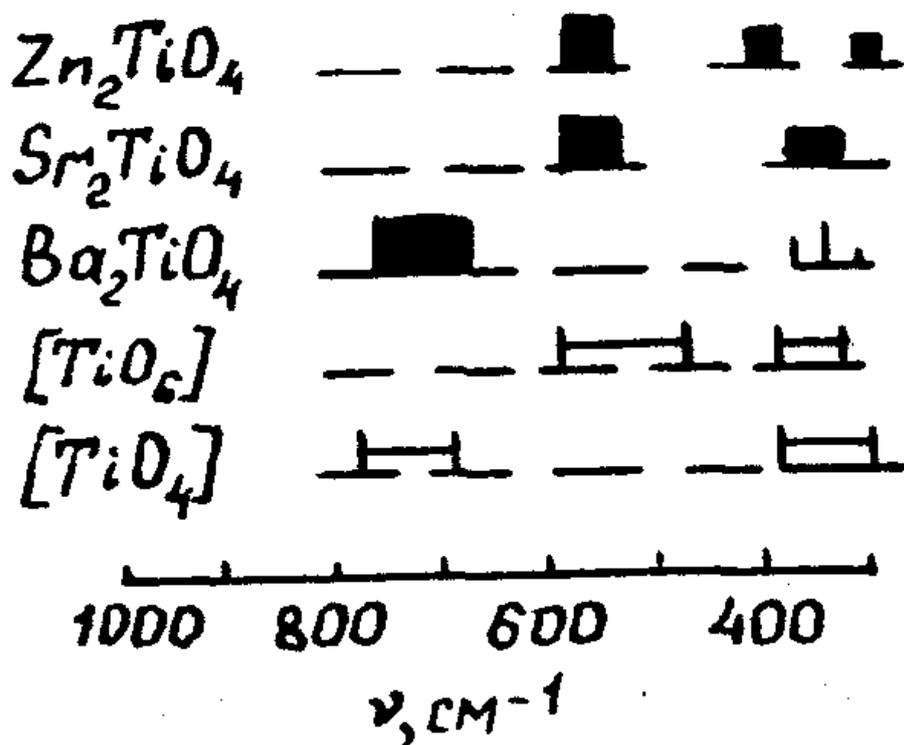
13-жадвал

OH⁻ ионининг рентгенография ва ИҚ спектроскопия бўйича ўлчами

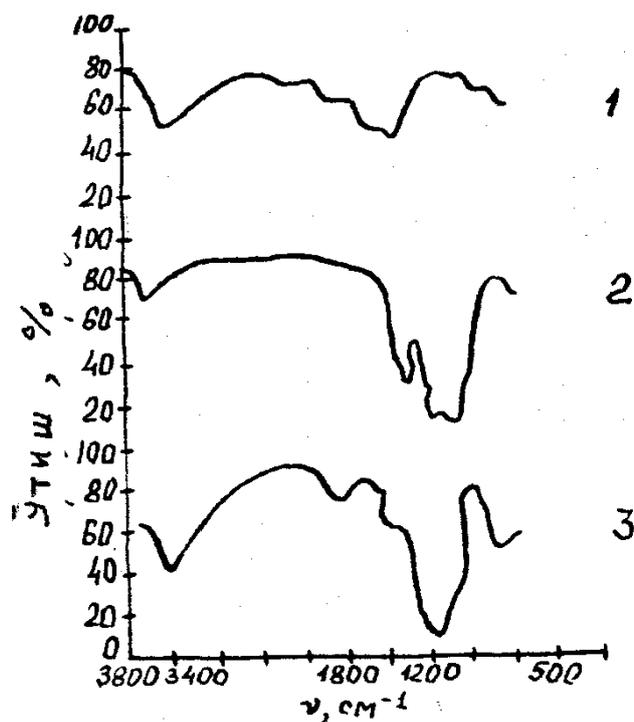
Бирикма	Гидрооксиднинг ион радиуси, А	
	рентгенографик	Спектроскопик
$\text{B}(\text{OH})_3$	1,15	1,12
$\gamma - \text{Al}(\text{OH})_3$	1,16	1,22
$\gamma - \text{FeOOH}$	1,35	1,33



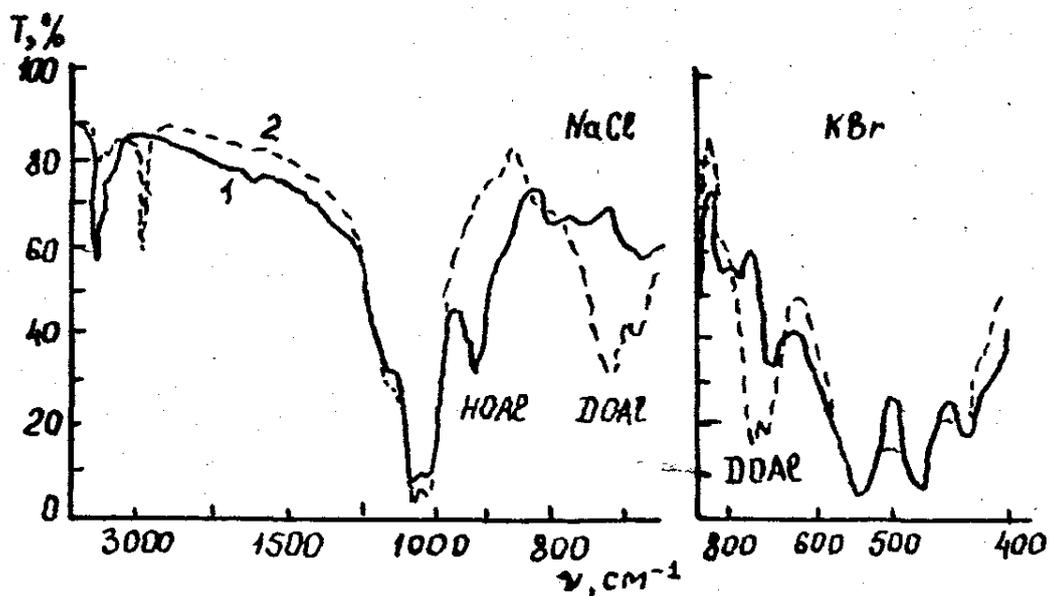
26-расм. Баъзи бир группаларга хос ИҚ-полосалари.



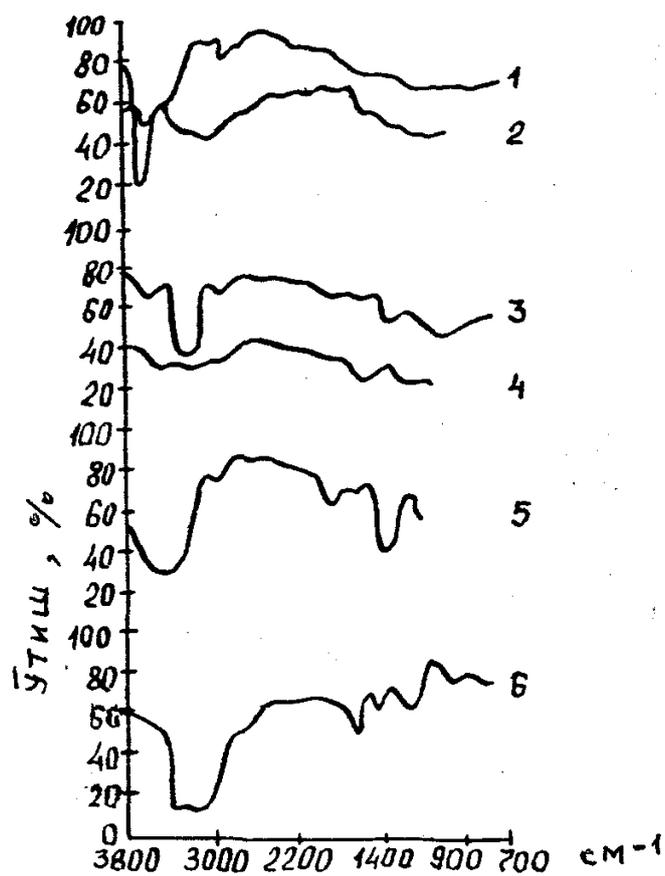
27-расм. Ортотитанатлар ИҚ спектрлари (Zn – ва Sr -ли бирикмаларда – титан октаэдрик координацияда) ва (Ba -ли бирикмада титан тетраэдрик координацияда).



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 гидросульфалюминатларининг ИҚ нурларини ютиш спектрлари:

1-2 – кальций гидроалюминати C_3AH_6 ;

3-4 – кальций гидроалюминати $C_4A_3H_3$;

5 – кальцийнинг бир сульфатли гидросульфалюминати;

6 – кальцийнинг уч сульфатли гидросульфалюминати.

α - $AlO(OH)$	1,45	1,47
	1,55	1,57
α - $FeO(OH)$	1,51	1,53
	1,59	1,63

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

Қуйидаги 14-жадвалда пирогруппалар учун характерли бўлган маълумот-лар келтирилган.

14-жадвал.

Пиросиликат ва пирогерманат частоталари.

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

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

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

Охири мисол сифатида 30-расмда кальцийнинг гидроалюминатлар ва гидросульфалюминатларига оид ИҚ нурларини ютиш спектрлари берилади.

27-§. Инфрақизил спектроскопик таҳлиliga оид диагностик маълумотлар

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

15 - жадвал

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

Модданинг номи,	Ютиш области
-----------------	--------------

формуласи маълумот манбаи	ва	$\vartheta, \text{см}^{-1}$	I	$\vartheta, \text{см}^{-1}$	I	$\vartheta, \text{см}^{-1}$	I
Аморф кварц – SiO_2 [18]		468	Ки.	700	Кз.	804	Ў.
		-	-	-	-	1098	Ж.ки.
α - Кварц – SiO_2 [18]		468	Ки.	695	Ў.	794	Ки.
		523	Ў.	784	Ки.	1095	Ж.ки.
		-	-	-	-	1168	Ки.
Тридимит – SiO_2 [18]		420	Кз.	620	Кз.	830	Кз.
		478	Ки.	695	Кз.	940	Кз.
		568	Кз.	798	Ў.	1105	Ж.ки.
Кристобалит – SiO_2 [18]		417	Кз.	620	Ў.	1105	Ж.ки.
		495	Ки.	755	Ў.	1200	Ки.
Коэсит – SiO_2 [18]		435	Ки.	683	Ў.	1077	Ж.ки.
		468	Кз.	794	Кз.	1158	Ки.
		561	Ў.	804	Кз.	1218	Ки.
		600	Ў.	1036	Ки.	-	-
СТИШОВИТ – SiO_2 [18]		560	Ки.	672	Ки.	885	Кз.
		628	Ки.	730	Ки.	949	Ки.
Силлиманит – $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ [16]		1200	Ки.	751	Ў.	508	Ки.
		1180	Ки.	692	Ки.	491	Ў.
		960	Ки.	635	Ў.	440	Ки.
		913	Ки.	581	Ки.	374	Кз.
		888	Ки.	543	Ў.	346	Кз.
		820	Ки.	534	Ў.	335	Кз.
Муллит – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ [16]		-	-	-	-	322	Кз.
		1178	Ки.	750	Ў.	510	Ж.кз.
		1145	Кз.	620	Ж.кз.	435	Ж.кз.
		915	Ки.	585	Кз.	-	-
		845	Ки.	550	Ж.кз.	-	-

Эгирин – Акмит $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	467	Ки.	639	Ў.	950	Ж.кз.
	507	Ки.	725	Кз.	1004	Ж.кз.
	545	Ки.	864	Ки.	1059	Ж.кз.
	560	Ки.	897	Ки.	-	-
Геденбергит – $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	466	Ж.кз.	663	Ў.	959	Ж.кз.
	492	Ж.кз.	860	Ж.кз.	1056	Ж.кз.
	518	Ж.кз.	912	Ж.кз.	1089	Ж.кз.
	624	Ў.	-	-	-	-
Диопсид – $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [34]	435	Ж.кз.	675	Ў.	970	Ки.
	485	Ки.	790	Ж.кз.	985	Ки.
	515	Ки.	870	Ки.	1080	Ж.ки.
	635	Ў.	920	Ки.	1100	Ў.
Диопсид – $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$ – гаркибли шиша[34]	505	Ки.	780	Кз.	950	Ж.ки.
	-	-	-	-	1020	Ж.ки.
Геленит – $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ [29]	415	Ки.	647	Кз.	850	Ки.
	450	Ки.	675	Кз.	875	Ки.
	482	Ў.	714	Кз.	921	Ки.
	530	Кз.	803	Ки.	976	Ки.
	-	-	-	-	1023	Ки.
Стронциевый геленит – $2\text{SrO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ [29]	415	Ки.	686	Кз.	900	Ки.
	480	Ў.	785	Ки.	976	Ки.
	522	Кз.	840	Ки.	1016	Ки.
	625	Кз.	880	Ки.	-	-
β -Волластонит – $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ [16]	1087	Ж.ки.	925	Ж.кз.	566	Ў.
	1056	Ж.кз.	904	Ж.кз.	508	Ў.
	1019	Ж.кз.	650	Ў.	471	Кз.
	964	Ж.кз.	642	Ў.	452	Ж.кз.
Бустамит – $\text{CaO}\cdot\text{MnO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	1086	Ки.	872	Ж.кз.	560	Ў.
	1062	Ж.кз.	850	Ў.	525	Ў.
	979	Ж.кз.	803	Ў.	510	Кз.
	951	Ж.кз.	660	Ў.	465	Ж.кз.
	911	Ж.кз.	619	Ў.	450	Ж.кз.

Родонит – $\text{CaO} \cdot 4\text{MnO} \cdot 5\text{SiO}_2$ [16]	1080	Ки.	900	Ж.кз.	559	Ў.
	1063	Ж.кз.	720	Ў.	532	Ў.
	1023	Ж.кз.	690	Кз.	514	Ў.
	998	Ки.	661	Ў.	492	Ж.кз.
	951	Ж.кз.	638	Ў.	458	Ж.кз.
	916	Ж.кз.	577	Ў.	-	-
Тремолит – $2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16]	1107	Ж.кз.	920	Ж.кз.	530	Ж.кз.
	1074	Ки.	758	Ў.	510	Ж.кз.
	1048	Ки.	730	Кз.	466	Ж.кз.
	1020	Ки.	687	Ў.	451	Ж.кз.
	998	Ж.кз.	662	Кз.	-	-
	952	Ж.кз.	645	Ки.	-	-
Актинолит – $2\text{CaO} \cdot 5(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16]	1094	Ж.кз.	914	Ж.кз.	646	Кз.
	1052	Ки.	755	Ў.	540	Ки.
	1037	Ки.	727	Кз.	507	Ж.кз.
	1012	Ки.	682	Ў.	466	Ж.кз.
	985	Ж.кз.	658	Кз.	453	Ж.кз.
	948	Ж.кз.	-	-	-	-
Антофиллит – $7(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16]	1097	Ж.кз.	903	Ки.	662	Ў.
	1059	Ки.	781	Ў.	553	Ки.
	1047	Ки.	756	Кз.	532	Ки.
	1016	Ж.кз.	755	Ж.кз.	494	Ж.кз.
	976	Ж.кз.	710	Ў.	448	Ж.кз.
	917	Ки.	688	Ў.	-	-
Тальк – $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16]	4330	Ж.кз.	1706	Ж.кз.	539	Ў.
	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	Ў.	447	Ж.кз.
	1818	Ж.кз.	670	Ки.	426	Ў.
	1770	Ж.кз.	-	-	-	-

Сапонит – $Mg_3(Ai_{0.33}, Si_{3.66}) \cdot O_{10} \cdot (OH)_2 \cdot Na_{0.33} \cdot H_2O$ [16]	4330	Ж.кз.	809	Ж.ки.	534	Ў.
	3697	Кз.	783	Кз.	490	Кз.
	3670	Кз.	737	Кз.	464	Ж.ки.
	1056	Ж.кз.	692	Ў.	450	Ж.ки.
	1005	Ж.ки.	655	Ў.	420	Ў.
Гекторит – $(Mg, Li)_3(Ai_{0.33}, Si_{3.66})O_{10} \cdot (OH)_2 \cdot Na_{0.33} \cdot H_2O$ [16]	4330	Ж.кз.	1011	Ж.ки.	655	Ў.
	3600	Кз.	795	Ж.ки.	533	Ў.
	3610	Кз.	696	Ў.	465	Ж.ки.
	1073	Ж.ки.	-	-	-	-
Окерманит – $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ [29]	380	Кз.	675	Кз.	920	Ки.
	460	Ў.	830	Ки.	950	Ки.
	560	Кз.	880	Ки.	1000	Ки.
	600	Ў.	-	-	-	-
Бериллийли окерманит – $2CaO \cdot BeO \cdot 2SiO_2$ [29]	390	Кз.	675	Ў.	950	Ки.
	460	Ў.	840	Ки.	975	Ки.
	550	Кз.	900	Ки.	1000	Ки.
Гардистонит - $2CaO \cdot ZnO \cdot 2SiO_2$ [29]	430	Ў.	640	Кз.	940	Ки.
	475	Кз.	830	Ки.	1000	Ки.
	560	Кз.	900	Ки.	-	-
	600	Ў.	-	-	-	-
Қўрғошинли гордистонит – $2PbO \cdot ZnO \cdot 2SiO_2$ [29]	440	Ў.	800	Ки.	930	Ки.
	480	Кз.	860	Ки.	975	Ки.
	575	Ў.	900	Ки.	1040	Ки.
	700	Кз.	-	-	-	-
Синтетик β - Эвкрипит – $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ [16]	480	Кз.	665	Кз.	1003	Ки.
	520	Ж.кз.	754	Ў.	1040	Ки.
	540	Кз.	805	Кз.	1150	Кз.
Синтетик α - Эвкрипит – $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ [16]	480	Ки.	665	Кз.	937	Ки.
	510	Ў.	705	Ки.	962	Ки.
	560	Кз.	762	Кз.	985	Ки.
	612	Ў.	920	Кз.	1015	Ки.
	-	-	-	-	1052	Ки.

Табиий Эвкриптит – $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	480	Ки.	708	Ки.	967	Ки.
	514	Ў.	768	Кз.	985	Ки.
	560	Ў.	796	Кз.	1013	Ки.
	614	Ў.	916	Ки.	1028	Ки.
	686	Ў.	999	Ки.	1053	Ки.
Кордиерит – $2(\text{Mg},\text{Fe})\text{O}\cdot$ $2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ [18]	420	Ки.	620	Ў.	960	Ж.ки.
	450	Ки.	675	Кз.	1027	Ў.
	485	Ки.	760	Ки.	1100	Кз.
	570	Кз.	773	Ки.	1148	Ки.
	580	Ў.	912	Ки.	1181	Ж.ки.
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]	420	Ки.	630	Кз.	970	Ки.
	480	Ў.	740	Кз.	1020	Ж.ки.
	510	Кз.	755	Ў.	1130	Ки.
	610	Кз.	780	Ў.	-	-
Калийтитанли силикат – $\text{K}_2\text{O}\cdot \text{TiO}_2\cdot 3\text{SiO}_2\cdot$ H_2O [18]	475	Ў.	753	Ки.	975	Ки.
	525	Ж.кз.	865	Кз.	1027	Ж.ки.
	590	Ж.кз.	-	-	-	-
Калиймарганец цинкли силикат – $\text{KMn}_2\text{Zn}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ [18]	420	Ки.	620	Кз.	960	Ж.ки.
	450	Ки.	675	Кз.	1027	Ў.
	485	Ки.	760	Ки.	1100	Кз.
	570	Кз.	773	Ки.	1148	Ки.
	580	Ў.	912	Ки.	1181	Ки.
Турмалин – $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{OH})_4\cdot$ $(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ [18]	726	Ў.	1000	Ки.	1306	Ки.
	760	Кз.	1030	Ки.	1347	Ў.
	790	Ў.	1058	Ки.	-	-
	857	Кз.	1107	Ки.	-	-
Хирмонтепа кони лёсси [35]	480	Ки.	670	Кз.	800	Ў.
	520	Ж.кз.	700	Кз.	1000	Ки.
	560	Ж.кз.	710	Кз.	1400	Ў.

Ангрен кони	475	Ки.	810	Ў.	1400	Кз.
иккиламчи	625	Кз.	950	Кз.	-	-
каолини [35]	700	Кз.	1100	Ки.	-	-
Қамишбоши –	480	Ки.	710	Кз.	850	Ў.
Чимион кони	510	Ў.	750	Кз.	1050	Ки.
гилис [35]	530	Ў.	810	Ў.	1410	Кз.
Бандихон кони	840	Ки.	675	Кз.	810	Ў.
гилтупроғи	545	Ки.	690	Кз.	1050	Ки.
[35]	650	Кз.	710	Кз.	1460	Кз.
Сардара кони	410	Кз.	610	Ў.	880	Ў.
фосфорити	475	Кз.	660	Кз.	980	Кз.
[30]	525	Кз.	695	Кз.	1050	Ки.
	575	Ў.	720	Кз.	1100	Ки.
Сардара кони	410	Кз.	610	Ў.	1105	Ки.
фосфорити –	475	Кз.	655	Кз.	1160	Ки.
1350 ⁰ С да	525	Кз.	975	Кз.	-	-
куйдирилган [30]	580	Ў.	1050	Ки.	-	-
Кермана кони	700	Ж.кз.	815	Ў.	1500	Кз.
кварц – дала	710	Кз.	1075	Ж.ки.	1670	Кз.
шпати [30]	795	Ў.	1180	Ки.	1857	Кз.
Битаб кони кварц	430	Ў.	615	Кз.	1015	Ки.
– дала шпати	465	Кз.	630	Кз.	1055	Ки.
[30]	535	Ж.кз.	730	Кз.	1140	Ки.
	590	Ў.	775	Кз.	-	-
Битаб кони	420	Ў.	570	Кз.	766	Кз.
фосфорити –	460	Ў.	730	Кз.	1060	Ки.
1350 ⁰ С да						
куйдирилган [30]						

Султонуиздаг кони дала шпати [30]	430	Ў.	615	Кз.	1020	Ки.
	465	Кз.	650	Ў.	1050	Ки.
	535	Кз.	730	Ў.	1145	Ки.
	518	Ў.	770	Ў.	-	-
Султонуиздаг кони фосфорити – 1350 ⁰ С да куйдирилган [30]	420	Ў.	575	Кз.	775	Ў.
	460	Ки.	730	Ў.	1060	Ки.
Ангрен кони риолити [30]	420	Ки.	640	Кз.	795	Ў.
	465	Ў.	690	Кз.	1040	Ки.
	540	Кз.	730	Ки.	1140	Ки.
	580	Кз.	770	Ў.	-	-
Тошкент чинни корхонаси масса- си – 1350 ⁰ С да куйдирилган [30]	465	Ки.	650	Кз.	800	Ў.
	560	Ў.	695	Кз.	1085	Ки.
	615	Кз.	720	Кз.	1160	Ки.
Битаб кони дала шпати киритил- ган чинни масса- си – 1350 ⁰ С да куйдирилган [30]	470	Ў.	615	Ж.кз.	800	Ў.
	515	Кз.	700	Ж.кз.	1090	Ки.
	575	Ж.кз.	780	Ў.	1160	Ки.
Султонуиздаг кони дала шпати киритилган чинни массаси–1350 ⁰ Сда куйдирилган [30]	465	Ки.	700	Кз.	1150	Ки.
	555	Ў.	800	Ў.	-	-
	615	Кз.	1090	Ки.	-	-

Чияли кони дала шпати киритилган чинни массаси – 1350 ⁰ С да куйдирилган [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 тўлқин узунлигини Å , мкм ва см^{-1} ўлчов бир-ликларида келтиринг.
3. ИҚ нурларини қайтариш ва ўтказиш миқдорлари қандай формулалар билан ифодаланади?
4. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари нима билан характерланади?
5. ИҚ нурларни ютиш, ўтказиш ва қайтариш спектрлари қандай ифодаланади?
6. Нур ютиш полосалари ҳақида тушунча беринг.
7. Нур ўтказиш полосалари моҳиятини тушинтириб 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. Кремнезём ИҚ спектрлари полосаларининг экстремумлари ҳолати қандай?
17. Кремний тетраэдрларига қандай полосалар хос?
18. Аллюминийли группалар учун қандай полосалар характерли?

ТҮРТИНЧИ БОБ. ТЕРМОГРАФИК ТАХЛИЛ.

28-§. Термография усули табиати.

Термография ноорганик моддалар, силикат ва зўрғасуюлувчан материалларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процессларни ўргатади. 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 температуранинг платина - платина-родийли

тер-мопараларда ўлчаш орқали термографик эгри чизиқларни ҳосил қилиш мумкинлигини кўрсатди.

Узоқ йиллар давомида тадқиқотчилар қиздириш эгрилигини вақт ва температура боғлиқлигини координата чизигида қайд этганлар. Бироқ кичик эффектларни бу эгриликларда топиш қийин. 1899 йилда Робертс-Остин диф-ференциал термопара қўллади, 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 температураси фарқи;
- 2) Намуна температураси.

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 натижа-сида системаларни физик-кимёвий ва минерологик таркибларини ўрганиш бўйича қиздириш эгриликлари усулидан силикатлар, руда тузлари ва қотишмаларни ўрганиш учун фойдаландилар.

Термик таҳлилдаги дифференциал ёзувларни киритилиши усулни сезувчанлигини янада орттирди. 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. Сыромятников тажриба вақтида дифференциал қиздириш эгрилигига температура шкалаларини суртиш (тушириш) усулини таклиф қилганидан сўнг, термик таҳлил учун аппаратга иккинчи кўзгули гальванометри уланиши ва оддий қиздириш эгрилигини ёзишни ҳожати бўлмай қолди. Янги функция-лар билан термик таҳлил физик-кимёвий анализ рамкасини яна

кенгайтирди. 1939 йилда И.В. Тананаев термик тахлилни термография деб аташни таклиф этди.

Термография деганда текширилаётган модданинг ихтиёрий нуқтасидаги хароратни (ёки хароратдаги бирор функцияни) аниқ программа бўйича моддани узлуксиз равишда қиздирилганда ёки совитилгандаги холатини қайд этиш тушунилади.

Усулнинг физик мохияти: физик ва кимёвий жарёнларнинг катта қисми иссиқликни ажралиши ёки ютилиши билн боради. Баъзи бир жа-раёнлар тўғри ва қайтар йўналишида, баъзилари эса фақат бир йўналишда содир бўлади.

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

Қайтмас жараёнларга киритиш мумкин: кам барқорор холатдан юқори барқорор холатга ўтиш реакциялари, қаттиқ эритмаларнинг парчаланиши, аморф холатдан кристалл холатга ўтиш, ўзаро таъсир реакциялари, монотроп ўзгариш ва бошқалар.

Ҳамма жараёнлар иссиқликни ютилиши ёки ажралиши билан боради, буни хароратни ўлчаш йўли билан ўрганиш мумкин. Жараённи боришини ўлчовчи приборлар ёрдамида қайд этилади. Тажриба натижаларини эгри чизиқлар орқали ифодалаш мумкин, бунда вақт ва хароратни боғлиқлиги ифодаланади. Агар текширилаётган моддада бирорта фазовий ўзгариш ёки кимёвий реакция содир бўлса, қиздириш режими бузилади. Унинг бузилиши қиздириш эгрикларида ёки майдонда пайдо бўлиш бирга боради.

Қуйида температура ўзгаришига асосланган термик анализ тури, темпера-тура ўзгаришига боғлиқ физик параметр ва бу ўзгарувчан параметрни қайд этувчи асбоб схематик равишда қайд этилади: термик анализ (ТА) → энтальпия → калориметрлар; дифференциаль термик анализ (ДТА) → намуна ва эталон ўртасидаги температуралар фарқи → ДТА

аппаратлари; термогравиметрик анализ → масса → термоторозлар; дифференциаль йўналувчан калориметрик анализ → намунага ўтказилган иссиқлик → дифференциаль 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 → қиздирила-диган ёруғлик микроскопи; дилатометрик (термомеханик) анализ → чизиқли ўлчамлар ёки ҳажми → дилатометр; электрўтказувчанлик → электр қаршилиги → қаршилик кўприги; юқори температурали рентгенографик анализ → юзалар- аро масофалар → қиздиришга мойия рентген дифрактометри; термометрик титрлаш анализи → моддалар концентрацияси → термометрик титрометр; газоволюмометрик анализ → газ ҳажми → газ волюмометри; дифференциаль газволюмометрик анализ → газ ажралишининг тезлиги → дифференциаль газ волюмометри.

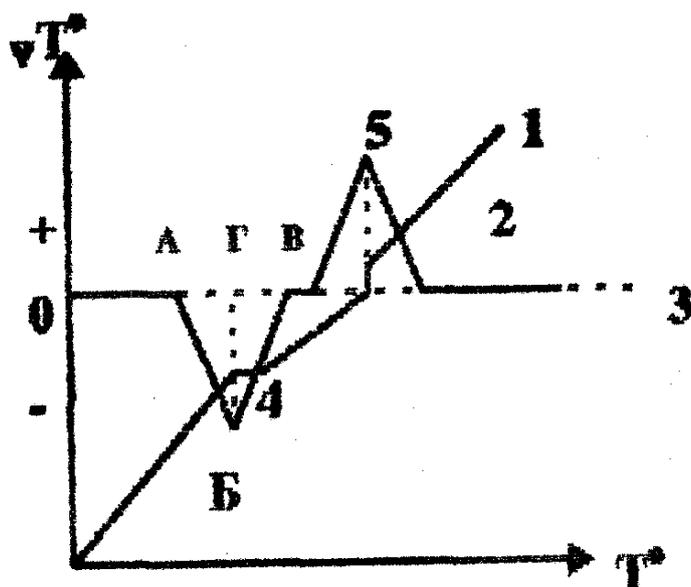
29-§. Термик анализ.

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

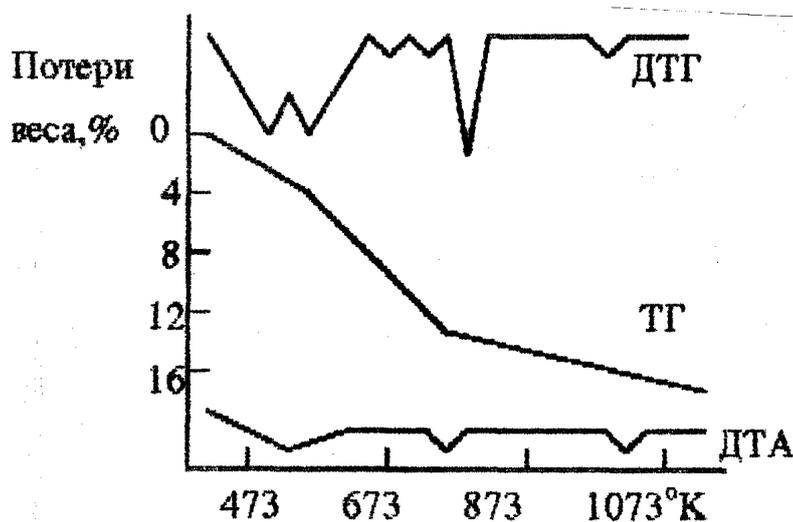
Масалан: I - эффект: $MgCO_3 - MgO + CO_2$ ёки полиморфизм;

II - эффект: $CaCO_3 - CaO + CO_2$ ёки эритиш.

Қиздириш вақтида фазовий ўзгаришлар рўй бериши ва унинг бошланиши аниқ нуқтадан бошланади. Модданинг қиздириш эгрилиги бу вақтда тезлашиши ёки секинлашиши мумкин. Масалан, $\alpha-Al_2O_3$ да қиздириш жарааёнида ҳеч қандай фазовий ўзгаришлар содир бўлмайди. Шунинг учун



32-расм. ДТА табиатини очиб берувчи диаграмма: 1-қиздириш эгрилиги (термик тахлил); 2-дифференциал эгрилик (ДТА); 3-нул 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 хосил бўлишида; АБВ-эндотермик эффект чўққиларини ўлчами; АВ-чўққининг кенглиги; ГВ-чўққининг чуқурлиги ёки баландлиги-термик реакция интенсивлигини кўрсатгичи.



33-расм. Тоза цемент хамирига оид дериватограмма.

30-§. Дифференциал термик анализ (ДТА).

Кўпгина холларда реакцияларнинг термик эффекти жуда кичик, шунинг учун унга мос эгриликлар кам сезиларли. Бундай холларда термопаранинг

се- зувчанлигини дифференциал схема қўллаш билан катталаштирилади (32-расм).

Берилган ушбу ҳолатда дифференциал термопара бир вақтнинг ўзида иккита температурани ўлчайди: 1) текшириляётган модданинг температураси; 2) температура фарқи ёки қиздириляётган модданинг текшириляётган температура интервалида термик ўрганишга йўл қўймайдиган инерт моддага нисбатан ўзгариши.

ДТА чизиғи ёки эгриликларида эндотермик эффектлар қуйидаги ҳолларда рўй беради:

1) Термик бузилиш ёки текшириляётган 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) ;

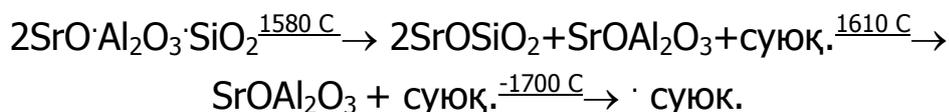
2) Термик парчаланиш, яъни газсимон фаза ажралмасдан модданинг парчаланиши билан.

Масалан, алит минералининг парчаланиши:

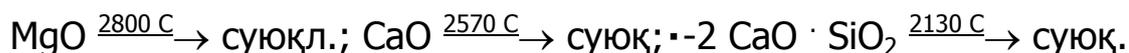
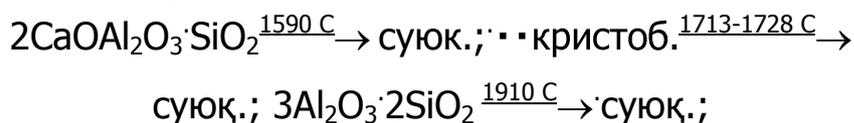


3) Энантиотрон характерли полиморф ўзгариш билан. Масалан, -- кварц \rightarrow -- тридимит (кенгайиш 16%); $\cdot \cdot \text{CaSiO}_3$ (2,91- г/см³) \rightarrow $\dots \text{CaSiO}_3$ (2,90-г/см³).

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 $Fe + O \rightarrow FeO$; $Ce_2O_3 + O \rightarrow 2CeO_2$;

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

•• $2CaO \cdot SiO_2$ (белит) $\xrightarrow{725-20\text{C}}$ γC_2S (2,97 г/см³);

3) Нобарқарор аморф ҳолатидан кристал ҳолатига ўтиш билан SiO_2 _{шиша} \rightarrow •• кристобалит; коллоидлар кристаллизацияси;

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

•¹ - C_2S (брeдигит) + CaO $\xrightarrow{1250\text{C}}$ C_3S (алит) (3,20 г/см³).

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 группага ажралади – физик ва кимёвий ўзгаришлар.

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

Кимёвий термоэффект берувчи жараёнлар сафига хемосорбция, бўлини-ши 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 ўринолмошиш реакциялари, изомеризация ва бошқалар киради.

31-§. Комплекс термик анализ.

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

Воронков бўйича КТА га киради:: 1) ДТА эгриклари; 2) оғирликни ўзгариши эгрилиги; 3) хажми ўзгариши эгрилиги; 4) электрқаршилиқ эгрилиги.

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

Термогравиметрик чизиғи олишда, шу жумладан комплекс термик анализ-да ҳам худди бошқа термография методларида рўй берадиган ҳолатдагидек кўп факторлар мавжуд. Улар тажриба натижаларининг аниқлиги ва қайта тикланишига гоҳ ижобий, гоҳ салбий таъсир ўтказди. Уларни икки асосий гурпуага бўлиш мумкин:

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

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

2. Намуна характеристикаси:

- 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 хоказо.

32-§. Дериватографик анализ.

Бу усулга К.Хонда 1915 йили асос солган ва илк бор термотарозлар яратган. 1915-1920 йиллар давомида усулнинг термогравиметрия қисми Гай-чар томонидан ривожлантирилган. Ўтган асрнинг 40-50 йилларида Дюваль усул афзалликларини амалда синаб кўрсатган. 50-чи йилларда эса юқори сифатли саноат термотарозлари пайдо бўлди. Бу эса дериватографияни пайдо бўлишига олиб келди.

Дериватографиянинг анъанавий ДТА дан фарқи шундаки, бир на-мунанинг ўзида энтальпия ва оғирликни йўқотиш қайд этилади. Оддий холдаги дифференциал термотахлилда температура намунада, термогравиметрияда эса-печдаги мухитда ўлчанади. Бу эгриликларни мос равишда қўйишда қийинчиликларни 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) температура 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 торозиси чашкаларидан бирига перманент магнит ўрнатилган бўлиб, у обмотка ичида вертикал ўқда жойлашган. Материални қиздириш билан оғирлигини ўзгаришида магнит қиздириш тезлигига пропорционал равишда сурилади. Магнит майдонида хосил 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 см²/г га, сувцемент нисбати 0.25, қолиплаш температураси 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 эндо- ва экзотермик эффектларни қайси температура нуқтасида бошланиши ва қайси температурада тугаши ҳақида ўта аниқ хулосага эга бўламиз. Бу эса биринчи ҳарорат нуқтасининг паст ва иккинчи ҳарорат нуқтасининг тепа томонларида рентгенографик, ИҚ спектроскопик ва микроскопик тадқиқотлар ўтказиб, фиксация қилинган эффект моҳиятини англашга олиб боради.

Термограф тадқиқотларни ўтказишда танланган апаратура, тигел ва термопаралар роли ниҳоятда катта. Айниқса, тажрибаларни 1500 ва ундан юқори ҳароратда олиб борилганда намуна ва термопара симларининг учмаслигини таъминлаш, тигел тозалаш жараёнини осонлаштириш 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 яшаш ва тадқиқотлар ўтказиш керак бўлур эди. Термография эса олимлар ишини систематикага солди ва тадқиқотлар сони максимал камайтириш имконини берди.

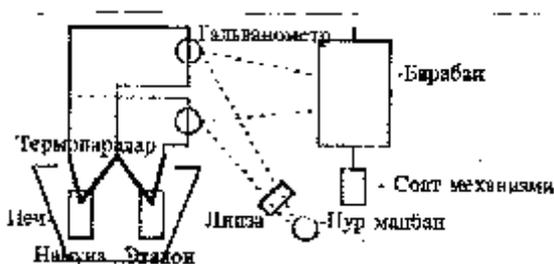
Замонавий термик жихозлар учун қуйидагилар талаб қилинади (34-расм):

1) Вольфрам (2800°С гача), электрографит (2000°С гача), родий (1800°С гача), силит (1500°С гача), 10-20% родийли платина (1500°С гача), глобар (1500°С гача), платина (1400°С гача), тантал (1330°С гача), молибден

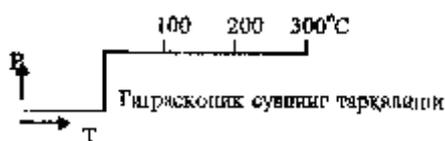
(1200°C гача), хромель (1100°C гача), нихром (1000°C гача) каби қиздирилишларга эга бўлган электрик печлар;

2) Потенциал-регулятор ёки бошқа турдаги печ температурасини бир меъёрда кўтарилишини таъминловчи жихоз. Булар қаторига автоматик ползун-кили реостатлар, автотрансформаторлар ва потенциал-регуляторлар кирази. Контактли гальванометр ва потенциометрларни ҳам ишлатиш мумкин.

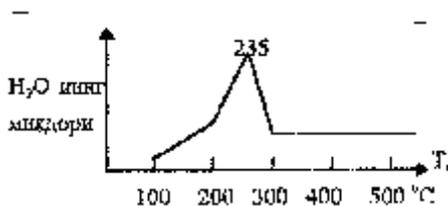
3) Эталон ва намуна солинадиган тигеллар (платинали, корундли, графит-ли ва бошқалар);



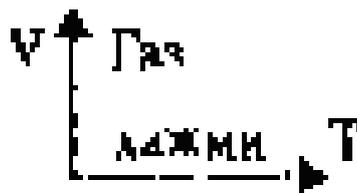
34-расм. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг схемаси.



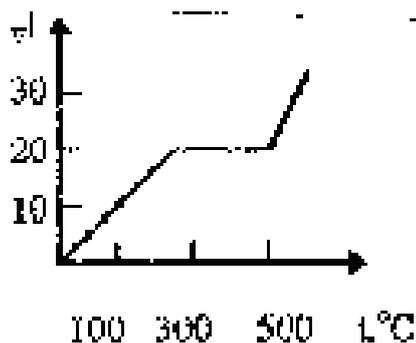
35-расм. Гипстош $2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нинг тензиметрик (P, t) чизиғи.



36-расм. Табиий гипс минералининг дифференциал тензиметрия чизиғи.



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



38-расм. Дилатометрия усулининг ($\Delta l, t$) диаграммаси кўриниши.

4) Платина – платинородийли (20%Rh), платина-платинородийли (10%Rh), хромел-алюмелли, вольфрам-молибденли, никель-хромникелли, темир-конс-тантан, мис-константан ва бошқа оддий ва дифференциал термопаралар. Те-мир-константан термопара 185-370°C оралиғида, хромель-алюмелли термопара 1200°C гача, платина-платинородийли эса 1400 °C гача ишлатилади. 1400°C дан юқорироқ температурада 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 номи қайд қилинган жихозлар устида батафсил тушунтириш берилади:

1. Печлар: металл корпусли ҳимояланган, ичига қиздириш элементлари ўрнатилган жихоз. 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 ($\text{SiC}+\text{C}$, 1773 К гача) ва корборундли стерженлар (SiC , 1773 К гача) ишлатилади.

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

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

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

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

34-§. Дериватограф.

Чет элда чиқариладиган, МДХ мамлакатларида қўлланиладиган жихозга дериватограф номи билан аталувчи ва Будапештнинг “Метримпэкс” фирмасининг 1966 йилда Паулик Ф. ва бошқалар томонидан чиқарган модели жихоз бўлиб, унинг маркаси ОД-102 дир.

Комплекс термоаналитик жихоз дифференциал термоаналитик аппаратлар, термотарози ва дифференциал термотарозидан иборат. Дериватограф шу текшириладиган кукунда бир вақтнинг ўзида оғирликни ўзгариши (ТГ), оғирликни ўзгариш тезлиги (ДТГ), температуралар фарқини ўзгариши (ДТА) ва температуранинг ўзгариши (Т) ни аниқлашга имкон беради.

Кўрсатилган тўрт хил ўлчаш тўла таҳлил шароитида - комплекс текширувни таъминлайди. Температура печда эмас, балки намунада

ўлчанади, демак модданинг температура таъсирида ўзгариши юқори аниқликда ўлчанади.

Намуна учун тигеллар шундай ясалганки, унда содир бўлаётган қаттиқ фаза ва суюқ фазадаги реакцияларни ўрганиш мумкин. Дериватографнинг платина тигелидаги намунани температураси электрик печ қизиши тезлиги билан бир хилда кўтарилади. Модданинг кукуни 50 дан 5000 мг. гача бўлади. Электрпечнинг қизишини бошқарув программаси бўйича минутига $0,5^{\circ}$ дан 20°C тезлик билан кўтарилиши таъминланади. Печнинг энг қизиган мухитидаги максимал температура 150, 300, 600, 900, 1200°C . 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 миллиграмлардаги оптик шкала намунани оғирлигини камайишини аниқлаш учун қуйилган. Термограммалар инерт газда олиниши мумкин. Жихоз тўла автоматлаштирилган.

Паулик Ф. Ва бошқалар томонидан яратилган «ОД-102» дериватографи конструктив 16 элемент, деталь ва жихоздан ташкил топган: 1-намуна солина-диган тигель; 2-инерт модда солинадиган тигель; 3-чинни трубка; 4-термопара-лар; 5-электр токи билан ишлайдиган печь; 6-ғижимланиб кетмайдиган сим; 7-тарозлар; 8-катушка; 9-магнит; 10-ТГП учун гальванометр; 11-ҳароратни ўл-човчи гальванометр; 12-ДТА гальваномтери; 13-лампалар; 14-оптик тешикча; 15-фоторегистрация цилиндри; 16-фотоқоғоз.

МДХ мамлакатларида мавжуд бўлган жихозлар қаторига қуйдагилар киради:

1) СГМ-8 полярографи билан комплексдаги ТП-1 типидagi термик мослама. У Москвадаги Геологқидирув аппаратлари ва жихозлари заводида 1959 йилда чиқарилган. Бу жихоз 15 минут давомида 20° дан 1000°C 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 термоогирлик 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 жихоз Ленинграддаги “Геологқидирув” заводида ишлаб чиқарилади;

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

35-§. Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатометрия асбоблари.

Тензиметрия. Минерални қиздириш жараёнида таркибда 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 (P), ҳажми (V) ни ўзга-ришини ўлчаш имкониятини беради (35 ва 36-расмлар).

Газоволлюметрия - аниқ температурада минераллардан H₂O, CO₂ ва бошқа газсимон фазаларни ажралишига асосланган (37-расм). Л.Г. Берг томонидан 1952 й. ажралаётган газ ҳажми ўзгаришини ўлчаш газли бюреткада амалга оширилган.

Газоволлюметрия температуралари ва ажралиб чиққан газ ҳажмини билиш орқали аралашмадаги минерални дастлабги миқдорини айтиб бериш мум-кин.

Шунинг учун бу усулда кўпроқ 50-200 мг, тенземетрия 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 температура таъсирида кенгайиши аниқланган. Бундай кенгайиш чизиқли кенгайиш коэффициенти (α) ва ҳажмий кенгайиш коэффициенти (β) номли параметрлар билан характерланади.

Чизиқли кенгайиш коэффициенти α деб текшириляётган модда температура-тураси 1°C га кўтарилганда намуна ўлмамининг нисбий узайишига айтилади:

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

бунда l - текшириляётган модда намунасининг узунлиги;

Δl – температураси Δt ° га оширилганда намуна узунлигининг ортиши;

Δt – бошланғич (t_1) ва охириги температура (t_2) лар фарқи.

36-§. Препарат тайёрлаш усуллари.

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

- а) Минералларни тахлили 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 холига 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, ўткир тигли қесгичлар ёрдамида юпқа қаватлар кўринишида олинади, масалан слюдасимон моддалар тайёрланиши шу тарзда бўлади.

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

Анализ учун олинандиган намуна миқдори гилсимон минераллар учун 0,3-2 г га тенг бўлади. Бу холда печдаги қиздириш тезлиги 5-10 град/мин

атрофида бўлади. Агар қиздириш тезлиги 50-60 град/мин бўлса, у холда намуна миқдори 0,1 г гача камайиши мумкин. Натижаларнинг аниқ бўлишига текширилатган модда билан эталоннинг бир хил зичликга 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 борувчилар микроскопия, рентген каби усуллар билангина ишлаганда ўнлаб, 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 юритиш имкони пайдо бўлди;

2) Хом-ашъё 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 гурпуага таалуқлисини тахлил қилиш-га имконият беради. Айниқса карбонатлар, сувли бирикмаларда уларнинг пар-чаланиши, сувни учиб чиқиб кетишини систематик 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 эффеќти содир бўладиган температура оралигини аниқлайди. Термографиядан бошқа усул қўлланганда бу масалани ечиш жуда қи-йин кечади, жуда кўплаб тажрибалар ўтказилиши талаб этилади;

7) Минерал турини табиатдаги кимёвий ўзгаришини аниқлашга имкон беради;

8) Физик-кимёвий жараёни тезлиги ва ваќт бўйича унинг характерини аниқлашга хизмат қилади;

9) Жараёнда хосил бўлаётган модда миқдорини аниқ ўлчашга имкон яратади.

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

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

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

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

4) Усулни тез бажарилиши. У 15 дан то 45-60 мин гача талаб қилади. Шу билан бирга кўп анализ – термоэффеќтлар, оғирликлар ва бошкаларга оид тажрибаларни бир ваќтда ўтказиш имконияти мавжудлиги;

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

6) Минерал турини термоаналитик характеристикасини аниқлаш имконияти;

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

Усулнинг камчиликлари. Маълум даражада камчиликлар ҳам мавжудлиги:

1) Термография орқали маълум бир температурада термоэффект содир бўлганлиги, модданинг миқдори ўзгарабошлаганлиги қайд этилади, лекин у нима асосида рўй берганлиги аниқланаолмайди.

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

3) Термограмма олиш экспериментал шароитга боғлиқлиги (қиздириш тезлиги, намуна оғирлиги, дифференциал термопара занжиридаги ўзгарувчан-лик, 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).

16-жадвал

Баъзи кимёвий бирикма ва минералларнинг термик эффектлари

Модданинг номи ва формуласи	Термоэффект тури	Термоэффект температураси, °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 - $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	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 – β - $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Эндоэффект	480 – 590	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 – 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши, муллит ёки силлиманит ҳосил бўлиши
	Экзоэффект	1130 – 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Накрит – α - $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Эндоэффект	550 – 610	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 – 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши
	Экзоэффект	1200 – 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Монтмориллонит- $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \div (Al_2, Mg_3)O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	Эндоэффект	50 – 150	Адсорбиланган сувнинг йўқотилиши
	Эндоэффект	200 – 235	Пакетлараро сувнинг йўқотилиши
	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	Адсорбиланган ва цеолитли сувларнинг буғланиши
	Эндоэффект	400 – 625	Конституцион сувнинг чиқиши
	Экзоэффект	810 – 920	Янги кристалл модда пайдо бўлиши
	Экзоэффект	925 – 1180	Кристалланишнинг охирига етиши
Монотермит– $0.2\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot$ $1.5\text{H}_2\text{O} (+0,5\text{H}_2\text{O})$	Эндоэффект	50 – 100	Адсорбиланган сувнинг йўқотилиши
	Эндоэффект	450 – 550	Конституцион сувнинг чиқиши
	Экзоэффект	955 – 975	Кристалланиш 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	Адсорбиланган сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	405 – 555	Конституцион сувнинг ажралиб чиқиши
	Экзоэффект	970 – 1060	Кристалл ва янги модданинг ҳосил бўлиши
Пирофиллит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	500 – 800	Сувнинг ажралиб чиқиши
	Экзоэффект	950 – 1100	Янги кристалл модданинг ҳосил бўлиши
Полигорскит- $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	130 – 150	Адсорбиланган сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	270 – 300	Пакетлараро сувнинг йўқотилиши
	Эндоэффект	500 – 530	Конституцион сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	905	Кристалл панжаранинг парчаланиши
	Экзоэффект	950	Янги модданинг кристалланиши
Кальцит- CaCO_3	Эндоэффект	800 – 950	Диссоциаланиш
Арагонит – CaCO_3	Эндоэффект	390-420	Кальцитга айланиш
Ватерит (фатерит)- μ-форма CaCO_3	Эндоэффект	440	Кальцитга айланиш
	Эндоэффект	900 – 950	Диссоциаланиш
Тремолит- $2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	800	Конституцион сувнинг чиқиши
Шохли алдагич- $\text{Ca}, \text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4 \cdot (\text{Al}, \text{Fe}) \cdot [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}] \cdot (\text{OH})_3$	Эндоэффект	400	Сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	1175	Сувнинг бутунлайин ажралиб чиқиши
Кальций гидроксид – $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Эндоэффект	530-580	Дегидратланиш

Магнезит- $MgCO_3$	Эндоэффект	540-710	Диссоциаланиш
Доломит- Ca $Mg(CO_3)_2$	Эндоэффект	730-790	Доломитнинг $CaCO_3$ ва $MgCO_3$ га парчаланиши ҳамда $MgCO_3$ нинг диссо-цияланиши.
Ангидрит – Ca SO_4	Эндоэффект	1190	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс - α - $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$	Эндоэффект	160	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	Дегидратланиш
	Эндоэффект	380	Ангидрит инвер- сияси
	Эндоэффект	1180-1200	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс – β Ca $SO_4 \cdot 0,5H_2O$	Эндоэффект	120	Дегидратланиш
	Эндоэффект	180	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	0,5 моль H_2O йўқо- лади
	Эндоэффект	410	Ангидрид инвер- сияси
	Эндоэффект	1180 – 1200	Полиморф ўзгариш
Икки молекула сувли гипс- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Эндоэффект	100 - 120	Адсорбиланган сувнинг йўқолиши
	Эндоэффект	220	0,5 моль H_2O нинг йўқолиши
	Эндоэффект	240	0,5 моль H_2O 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- $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot$ $Al_2O_3 \cdot MgO$	Эндоэффект	825	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	1427	Полиморф ўзгариш
Икки кальцийли сили- кат - γ -2CaO · SiO_2	Эндоэффект	780-830	α' C_2S га ўтиш
	Эндоэффект	1447	α' C_2S дан α C_2S га ўтиш
Тальк - $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	Эндоэффект	850 - 950	Дегидратланиш

Хризотил – асбест - $Mg_6(Si_4O_{11}) \cdot (OH)_6 \cdot H_2O$	Эндоэффект	100	Адсорбиланган сувнинг йўқолиши
Кальций гидросульфатоалюминат- $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$	Эндоэффект	200-250	Қисман дегидратланиш, таркибдаги сувнинг кўп қисмини йўқотиш
	Эндоэффект	300-320	Дегидратланиш
	Эндоэффект	500	Дегидратланиш
	Эндоэффект	800	Сувсиз аморф ҳолатдаги фазанинг кристалланиши
Натрий гидросиликат- $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 6 \cdot H_2O$	Эндоэффект	95	Босқичли дегидратланиш
	Эндоэффект	1083	Сувсиз тузнинг суюқланиши
Гидраргиллит- $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	Эндоэффект	250 - 300	Қисман дегидратланиш, бемит осил бўлиши
	Эндоэффект	500 – 550	Бемитнинг дегидратланиши
	Экзоэффект	800	γ - Al_2O_3 нинг α - Al_2O_3 га ўтиши
Байерит (метастабиль форма) – $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$		310 –315	Қисман дегидратланиш, бемитга ўтиши
		500 – 550	Бемитнинг бутунлайин дегидратланиш
		800	γ - Al_2O_3 нинг α - Al_2O_3 га ўтиши
Бемит – $Al_2O_3 \cdot H_2O$	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 – $Fe_2O_3 \cdot H_2O$	Эндоэффект	300 – 420	Дегидратланиш, α - Fe_2O_3 га ўтиш
	Эндоэффект	680	Полиморф ўзгариш, α - Fe_2O_3 дан γ - Fe_2O_3 га ўтиш

Магнетит- FeFe_2O_4	Экзоэффект	250 – 375	Магнетитнинг маггемит – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиши
	Экзоэффект	590 – 650	Маггемитнинг гематит – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиши
Гематит- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Эндоэффект	658	Маггемит – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиш
	Эндоэффект	1370 - 1400	Магнетит – Fe_3O_4 га ўтиши
Натрийли дала шпати- $\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$	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 панжара парчаланиши
Биотит – $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH,F})_2$	Эндоэффект	1160	Кристалл панжара парчаланиши
	Экзоэффект	1200	Янги кристалл мод-да ҳосил бўлиши
Брусит – $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Эндоэффект	400-550	Дегидратланиш
Ксонотлит – $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	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 тахлил турига айтилади?

- 4.Доломит минералининг термик тахлилига оид вақт-температура диаграммасини чизинг ва ундаги эгри чизиклар холатини 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 экзоэффект қандай рўй беради?
- 10.Силикат ва зўрғасуюлувчан материалларни тахлил қилишда термография қандай вазифани ўтайди?
- 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 тахлили 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 афзалликга эга?
- 20.Термография усулининг камчиликларини кўрсатинг.

БЕШИНЧИ БОБ. РЕНТГЕНОГРАФИК ТАХЛИЛ.

39-§. Рентген нурларининг хоссалари.

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

1895 йили физика фанида оламшумул воқеа руй берди. Шу йили улуг немис физиги, Нобель 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 яра-тишга муваффақ бўлинди.

Рентген нурларини регистрация қилувчи ионизацион ва сцинтиляцион счетчикларнинг 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 жихозлар

нинг қўлланилиши физика, кимё, тиббиёт ва айниқса техника фанлари (металлар технологияси, металлургия, машинасозлик)га имкониятлар очиб берди.

Рентген нурлари $0,01 \div 0,00001$ мк ёки $10^2 \div 10^{-1}$ А тўлқин узунлигига эга бўлиб, улар ёруғлик нурлари каби электромагнит табиатга эга. Улар ижобий ядро ва сал-бий электронлардан ташкил топган атомга доимий осцилляцияларга каланувчи кучи ка-би таъсир этади. Электрон ва ядро бир яқинлашади, бир узоқлашади. Натижада атомнинг ўзи тушаётган рентген нури тўлқин узунли-гига нурланади. Алоҳида атомлардан чиқарилаётган нур тўлқинлари ёйи бир-бирига қўшилади ва ёйилган тўлқинлар фронтини ҳосил қилади. Атомларнинг панжараларидан ёйилган кўп-гина 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 бўлиш керак. Хажмий кристаллар учун бу картина 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 электродлардан ўзига хос, кўзга кўринмайдиган нурлар чиқиши қайд этилган.

Рентген нурлари квант нурлари қаторига киради, таъсири гамма нурлари каbidир. Бу нурларнинг хиди йўқ. Улар рангсиз бўлиб, буюмлар ичига кири-ши, сингиш, тарқалиш, ёритиш, фотохимёвий 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 жисмлардан ўтаётган-да ўзгаради. Бу уларнинг қалинлиги, қаттиқлиги, солиштира оғирлиги ва кимёвий тузилишига боғлиқ. Газ ва ҳаво рентген нурларини сингдирмай ҳам-масини ўтказиб юборади. Лекин барий сульфат ёки кўрғошин кўп 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 манбага айланиб қолади.

Рентген нурларини олиш замонавий турлича тузилган аппаратларда амал-га оширилади, лекин уларнинг пайдо бўлиши бир хил принципга – рентген трубкасида катодга юқори кучланиш берилганда ўзидан электронлар – гамма нурлари чиқарилиши, уларнинг кутбланган 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 макроструктуралари ҳамда кимёвий таркибини аниқ билишга хизмат қилади. Кимёвий модда ёки минерал атом даражасидаги тузилишини 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. Брэгглар томонидан биринчи мартаба ўрганилган. Қайтган

нур-ларни олимларнинг фикрича кристаллдаги атомлар текислигидан қайтган деб ҳисоблаш мумкин.

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

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

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

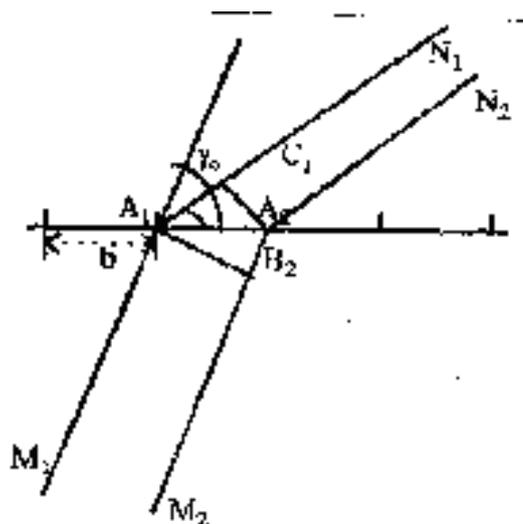
λ -рентген нурлари тўлқин узунлиги, **λ** ;

d -кристалл панжарадаги атомлар юзаси орасидаги масофа;

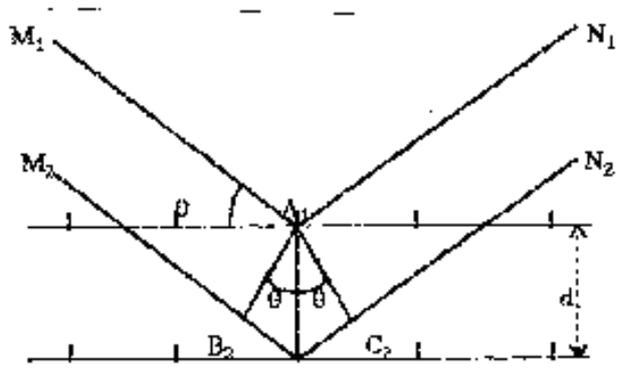
θ - атом юзасига тушаётган рентген нурлари тушиш бурчаги.

Юқорида берилган тенглама рентгеноструктуравий ва рентгеноспектраль анализлар учун асосий ҳисоблаш формуласи бўлиб, y дифракция натижасида оған нурларнинг йўналиши кристалл панжара тuzилишига ўта боғлиқ эканли-гидан далолат беради.

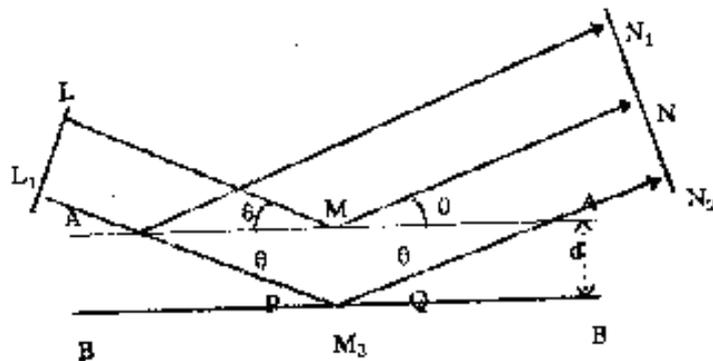
Рентген нурларининг синдириш кўрсаткичи бирга тенг деб қабул қилинган. Бу рақам рентген нурининг кристалл ташқарисидаги ва унинг ичидаги йўналишлари бир хил бўлади деган хулосани келтириб чиқаради.



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:

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

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

Уч координатали решеткада дифракция амалга ошиши учун бундай тенгликлар уччала 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 периоды;

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

α_n , β_m ва γ_p - дифракцион нур йўналишлари орифтидаги 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 шарти қуйидагича бўлади:

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

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

40-расмдан маълумки, $M_1A_1N_1$ нури $M_2A_2N_2$ нурига нисбатан $B_2A_2 + A_2C_2$ узунлигида қисқароқ ўтади. Аммо $B_2A_2 = A_2C_2 = d \sin \theta$, 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 бўлаклари 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 фотопленкада) қайд этил-

ганидан қатъий назар, қаттиқ моддаларни атом тузилишини ўрганишга имкон беради.

Рентген нурлари ёрдамида Брегг, Н.В.Белов, Курдюмов, Жданов ва бошқалар томонидан деярли ҳамма қаттиқ моддаларнинг структураси ўрганилган. Ҳар бир кристалл структура ўзининг асосида баъзи "ғиштча"лардан - оддий ёки элементар ячейкага эга. Уларнинг уччала 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 структура факторлари аҳамиятлироқдир. Графит ва олмосни каби яхши таниш мисолларни келтирсак сўзимиз тасдиғини топади. Улар бир навли атомлардан ташкил топган, лекин структуралари хар-хил бўлгани учун хоссалари ҳам турлича. Олмосда углерод атомлари октаэдрик структурани ҳосил қилади. Олмоснинг атомлари уч ўлчамли сеткаларни ташкил этади. Бу эса унга юқори қаттиқлик ва шаффофликни аъто қилади. Графитда эса углерод атомлари гексагонал структурани ҳосил қилади. Унда баъзи атомлар юза бўйлаб мустаҳкам ва тангасимон жойлашган бўлиб, бир-бири билан (мустаҳкам юзалар) кучсиз боғланган бўлади. Бу хол графитни мустаҳкамлигини ва шаффофлигини кескин камайтиради.

41-§. Рентген нурларини олиниши.

Катод нурлари, яъни электронлар оқимининг рентгеннинг электрон трубаларида баъзи металлларни юзасини бомбардимон қилишдан 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 $1,33 \cdot 10^{-4} - 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ нм}^{-2}$ ($10^{-5} \div 10^{-7} \text{ мм}$ симоб столбчаси) вакуумда ушлаб турилади. Электродларга берилаётган

кучланиш электронларини антикатодга бериш харакат 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 қатъий назар ва пленкани тўла қоралашишини таъминлайди, яъни нурнинг тўла спектрларни ҳосил қилади. Характерли нурланишда эса алоҳида чизиқли спектрини беради ва у материал - антикатоднинг кристал 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 характерлайди. Улар берилган элемент - антикатод учун аниқ бўлади ва уни характерли спектрларини пайдо этади. Характерли линиялар сериялар ташкил этади ва K, L, M ва бошқа харфлар 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. Монохро-матик 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).

17-жадвал

Мис элементининг электрон конфигурацияси

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 счетчик-лар ва камераларда фойдаланилади. Агар ионизацион камера туйинган ток ре-жимда ишлаётган бўлса бу холда пайдо бўлган ионизацион ток миқдори рентген нурлари интенсивлигига пропорциональدير. Амалиётда у ўзининг қўлланишини хозирги кунда сцинтилляцион счетчиклар томонидан сиқиб чи-қарилаётган Гейгер – Мюллер счетчикларида топган.

Ёруғлик нурларига ўхшаш рентген нурлари фотоленкага нисбатан катта қалинликка эга бўлган ва икки томони махсус қатлам билан қопланган рентген пленкасининг 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 ходисаси рентгеноструктуравий анализнинг назорат экранлари ҳамда нурланувчи рентгенотехниканинг экранларини яшаш ва эксплуатация килишда ишлатилади.

42-§. Кристалл панжара текисликлариаро масофани ҳисоблаш.

Турли бирикмаларни кристал панжара юзаси орасидаги масофани Вульф-Брегг формуласи ёрдамида ҳисобланади.

Бунда модданинг ҳамма атомлари кристалл юза бўйлаб бир-биридан паралелл ва тенг узокликда жойлашганлигини намоён қилади. Қуйидаги схе-мада (40 расм) тенглама яққол кўринади.

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

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

максимум шarti $n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$,

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

Умуман олганда рентгенография усулларида кристалл панжара текислик-лариаро 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 элек-тронларга 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 кристаллар ҳолатининг параллель юзалар системаси кўринишида талқин қилинишига ке-либ тақалади. Ҳар бир бундай юза ёки текислик панжаранинг кўп сонли болғовчи нуқталари орқали ўтад ва улар сеткасимон юза деб аталади. Сетка- симон 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 дифракция-ланувчи тўлқин узунлиг (λ) ва

сеткали юзага тушаётган нур бурчаги (α) 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 қўзғалмайдиган монокристалларни текшириш усули - бунда тасвир фотопленкали касетага 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 - фотопленкада доғлар шаклида тасвир олинади. Намуна текшириш пайтида камеранинг ўқи атрофида 1 минутда 0,2-2 маротаба айланади. Бу ҳолатда элементар ячейканинг ўлчамлари ва шаклини аниқ топиш имконияти пайдо бўлади;

3. Кукун усули - фотопленкали цилиндрик касетага махсус эгри чизиклар ҳолида қайд этилади. Ионизацион рентгенограмма ҳолида олинishi ҳам мум-кин. Бу ҳолда фотопленка ролини дифрактометрдаги счетчик тешиги бажара-ди. Дифракцион шакл секин – аста, счетчик айланишида пайдо бўлувчи ва кетма-кет келувчи чизиклар 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 - текширилаётган аъзонинг сояси рентген пленкасида тасвирланишига асосланган;

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

4. Электронорентгенография - текширилаётган 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 структураси хажмий 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, ракета-созлик каби соҳаларида кўпайди.

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

Ўзбекистонлик олимлар - проф. И.С.Канцельский, Н.А. Сирожиддинов, Б.И.Нудельман, Т.А.Отақўзиев, А.А.Исмаев 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 структура тахлили аппаратлари. Уларга биринчи навбатда УРС-60 ва УРС-55 аппаратлари киради:

УРС-55 аппарати. У 55 кв ли кучланишда ишлашга мўлжалланган. Бу аппарат стол усти аппарати бўлиб, унда структура тахлили ўтказиш мумкин.

УРС-55 аппаратининг муҳим томонлари сифатида оператив столнинг кичиклиги, юқори қувватли кенотроннинг йўқлиги ва бошқарув пулти (тўғри-ловчи вазифасини рентген трубкаси бажаради)нинг ихчамлини айтса бўлади.

УРС-55 аппарати БСВ-2 типдаги чизиқли фокус ва торировкаланган катодли махсус электрон трубка билан ишлашга мўлжалланган.

УРС-60 аппарати. У 120 ва 220 в ли 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 ўчиб қолганида, анод токи миқдорининг нормадан ошиб кетганида блокировка қилувчи қурилма бор. Анод токини феррорезонанс ва электрон стабилизатор СН-2 ёрдамида барқарорлаштириш кўзда тутиган. Аппарат ток кўрсаткичларининг +7 дан -15% гача тебранишида ишончли ишлайди. Қурилма иш ва оператив стол шаклида. Оператив стол ичида генератор мосламаси мавжуд.

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

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

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

АРС-4 аппарати. У портатив, жуда тор нур боғларини олиш учун ишла-тилади. Аппаратда БСВ-5 (чиқиш сони-2) микрофокус трубкадан фойдалана-тилади. Трубка аноди катта кучланиш остида бўлиб, катод ерга улаб қўйил-ган. Корпуснинг катод чўғлаш 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. Трубкадаги қувват амплитудаси 45 кв; трубкадан 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 температураларда, вакуум ва босим остида олиб борилиши мумкин. Юқори температураларда рентгенографик шаклларни олиш юқори температурали фазавий ўзгаришларини қайд қилиш учун, модданинг юқори ҳароратда қандай параметрларига эга эканлигини би-лиш учун, уларнинг иссиқликдан кенгайиш коэффициентларини аниқлаш учун олиб борилади:

1.Юқори температурали рентген жихози УРВТ-1300. Унда намунани иситиш аппаратда ўрнатилган электр печи ёрдамида амалга ошади. Бу жихоз Де-бай методи ёрдамида поликристаллик моддаларни вакуумда хона хароратидан то 1300°С гача текширишга имкон беради. Агар тажриба инерт гази ёки ат-мосферада олиб борилса, у холда харорат 1100°С кўтарилиши мумкин;

2.Юқори температурали рентген жихози УРВТ-1500. Бу аппарат ёрдамида вакуумда тажрибаларни 1500°С гача олиб борса бўлади. Тажриба хаво ёки инерт гази атмосферасида олиб борилса, у холда харорат 1200°С гача кўта-рилиши мумкин.

Рентгенографик анализни паст хароратда ҳам олиб бориш мумкин:

1.ДРОН-1, УРС-50ИМ аппаратларига паст хароратли кўшимча УРНТ-180 ўрнатилади. Бу приставка ёрдамида тажрибаларни минус 180°С гача олиб бориш тавсия этилади. Намуна сифатида кукун ёки шлифдан фойдаланилади. Намунани совитиш азот парлари хисобига бўлади;

2.ДРОН-1 га КРН-190 приставкасини ҳам ўрнатиб тажрибаларни минус 190°С гача ўтказиш мумкин. Намуналар бу жихозда вакуумда иссиқлик контакти хисобига совийди.

ДРОН-серияли аппаратлар: ДРОН-1, ДРОН-1,5, ДРОН-2, ДРОН-4, ДРОН-УМ1-0,1 ва хоказо. Рентген дифрактометри умумий вазифаларни бажаришга

мўлжалланган бўлиб, у ионизацион шаклни электрон хисоблаш машиналарига уланган перфолентага ҳам тушуриши мумкин. Бундай аппаратлар юқори унумдорликка эга. Рентген трубкасидаги максималь кучланиш 50 кВ, макси-маль ток эса 60 мА.

Адабиётда ДРМк-2.0–кўп каналли махсус рентген дифрактометри, ДРД-4- дистанцион бошқариладиган рентген дифрактометри, ДАРМ-2.0 – ЭХМ

дасту-рига мўлжалланган автоматик рентген дифрактометри, АРС-4 – структуравий текширишга мўлжалланган портатив рентген аппарати, МАРС-1 ва МАРС-2 – структуравий анализга мўлжалланган кўп фокусли рентген аппарати ва бошқа-лар борлиги ва уларнинг ишлаш принциплари ёритилган. ДРОН ва УРС ларга УРНТ-180, КРН-190 ўрнатилса паст хароратда иш олиб бориш мумкин. Юқо-ри хароратда 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 Венг-рияда чиқарилган ЕДР-750 аппаратлари. Улар уч фазали олти ярим ўтказгич тўғрилагувчиларга эга бўлиб, максимал юқори кучланиши 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 системасига 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 киради: рентген трубкаси, тўғриловчи лампа - кенотрон, чўғланиш реостати, юқори вольтли трансформатор, чўғланиш трансформатори, бошқарув пульти ва унинг зинапояли

автотрансформатори ва бошқалар. Қуйида уларнинг тузилишига оид маълумот-лар берилади.

1. Рентген трубкалари БСВ-2, БСВ-4, БСВ-6 ва бошқалар. Б-ҳимояли қопламада, хавфсиз; С-структура тахлили учун; В-сувли совитиш маъноларини англатади.

Рентген трубкаси рентген нурлари манбаи бўлиб, у тез учувчан электронларнинг йўлида жойлашган анод билан тўқнашуви 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 ўзаро 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 бомбордировка 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. Шунда-гина катоддан озод электронлар ажралиб чиқади ва идишдаги вакуум туфайли анод томон йўл олади. У анод атомлари билан жуда катта тезликда тўқнашади ва ниҳоят улардан рентген нурларини ажралиб чиқишига сабабчи бўлади.

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

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

Қалайланган трубкаларда юқори вакуум трубка тайёрланаётган вақтнинг ўзида яратилади ва у ўзининг герметик корпуси (баллон)га кўра ишлаш дав-рида вакуум ҳолатини сақлайди. Вакуумнинг ўзгариши трубкини ишдан чиқ-қанлигини билдиради.

Йиғма трубкаларда бўшлиқ вакуум насос ёрдамида яратилади ва ушлаб турилади.

3) Ишлатилиши бўйича. Трубка материални ёритиш, структура тахлили ва тиббий мақсадларда (диагностика ва даволаш мақсадида) қўлланилади.

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

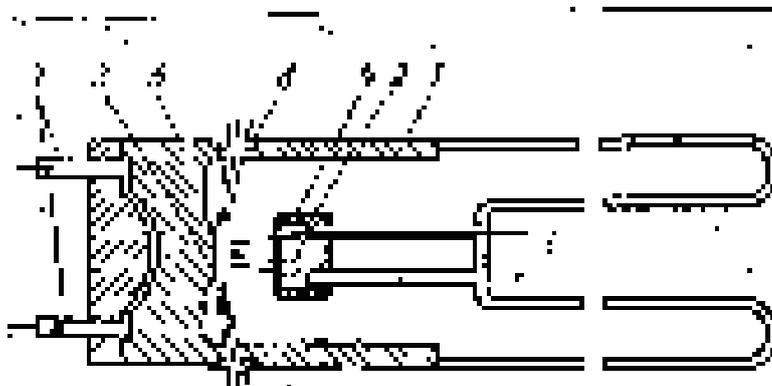
Структура тахлили учун қалайланган электрон трубкалар ишлатилади. Унинг кўриниши БСВ-2 мисолида қуйида берилади (42-расм).

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

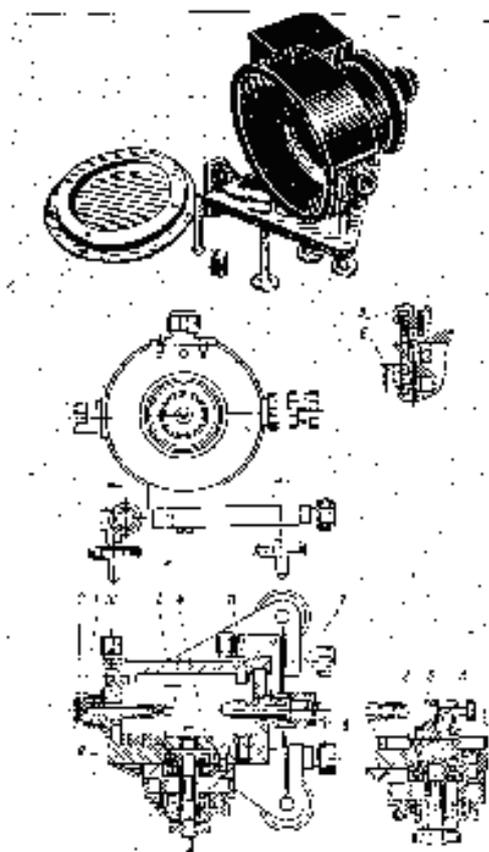
Шиша баллонда юқори вакуум ($10^{-5}\div 10^{-7}$ мм симоб устуни) ҳосил қилинади. Унда электронларнинг катоддан анодга бориш эркин ҳаракати таъминланади. Катод иссиқлик ва кимёвий таъсирдан ҳамда электронлар орасидаги газли мухитда чақмоқ ҳосил бўлишидан ҳимояланган.

Вольфрам спирал $2100-2200^\circ\text{C}$ гача тоқда қиздирилганда электронларни чиқаради. Трубка полюсига юқори кучланиш қўйилганлиги туфайли анодга катта тезлик билан интилади. Анод (анод кўзгуси) майдонига урилиб, электронлар тормозланади. Тахминан 1% атрофида кинетик энергия рентген нур-ларининг электромагнит энергияси тебранишига ўзгаради; қолган энергия аноддан ажралаётган иссиқликка сарфланади.

Структура тахлили учун трубкадан чиқарилаётган нисбатан юмшоқ нур (1 \AA ва кўпроқ тўлқин узунлигида) шишада жуда кучли ютилади. Шунинг учун



42-расм. Структура тахлили учун ишлатиладиган БСВ-2-электрон рентген трубаки: 1-балон; 2-катод; 3-анод; 4-йўналтирувчи қалпоқ; 5-мухофаза воси-таси; 6-йўналтириш тешиклари; 7-совитиш системаси.



43-расм. РКД-57 камерасининг асосий қисмлари.

трубка баллонига рентген нурларини чиқаришни таъминлаш учун энгил элементлар (бериллий, литий, бор) дан ташкил топган гетан қотишмаси ёки бериллий металлдан ясалган дарча қотирилади (қалайланади).

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

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

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

Анод - яхлит цилиндр кўринишида (кўпинча мисдан), юқори иссиқлик ўтказувчан материаллардан тайёрланади. Аноднинг ташқи ён деворига элект-ронларни тормозловчи пластинка антикатод прессланади. Структура тахлили учун трубкадаги анод ёни 90° бурчакда анод ўқига нисбатан кесилган.

Кўпроқ тарқалган анодли трубка - антикатодлар хром, темир, ванадий кобальт, никель, 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 характерли кўрсаткичи унинг қувват чегараси бўлиб, у қуйидагича ифодаланади: $P = UI$ вт,
бу ерда U - максимал юқори кучланиш, в ; I - трубка токи, амперда.

Қувват чегарасини ошириш мумкин эмас, сабаби анод қизиби кетади.

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

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

Кўрсатилган фокус юзада максимал қувват УРС-60 аппарати учун 60 квт бўлса, у ҳолда трубка токи $I \leq P/U = 700/60000 \leq 12$ ма дан ошмаслиги керак.

Структуравий таҳлилда ишлатиладиган рентген трубкаларнинг характерли кўрсаткичлари 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 родини ўйнайди, бироқ қийин шароитларда рентген трубкага бир йўналиш бўйича фақат битта ток ўтказилади.

18-жадвал.

Структуравий таҳлил трубкаларининг характеристикалари

Трубка типи	Мак- си- мал қув- ват, вт	Нур те- шик- лари сони	Фокус форма- си	Фокус ўлчами, мм	Фокус проекция- си ўлча- ми, мм	Фокус майдо- нига со- лиштирма таъсир	Интеграл интенсивл ик, $\times 10^3$	Мисли анод кучла- ниши, кв	Максим ал анод токи, та
БСВ-2	700	2	тўғри	1,2x12	1,2x1,2	48	327		
БСВ-3	450	2	"-	1x2,5	-	22		45	14
БСВ-4	120	4	айланма	3	3x0,3	17	88		
БСВ-5	20	2	"-	0,040	0,04x0,04	4000			
БСВ-6	450	2	тўғри	25x5	2,5x0,5	36	304	45	14

БСВ-8	1000	2	"-"	1x12	1x1,2	83	454	50	40
		1			0,1x12				
БСВ-9	1500	2	"-"	2x12	2x1,2	63	170	50	60
		1			0,2x12				
БСВ-10	600	2	"-"	0,4x8	0,4x0,8	1900		45	24
		1			0,04x8				

3.Чўғлаш реостатлари (R_{HK} , R_{HP}). Улар - кенотрон ва трубка катоди ток кучини бошқариш учун хизмат қилади. Шаҳар тармоғидаги катта бўлмаган тебраниш чўғлаш 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 автотрансформатордан ёки қувватни текис ўзгартирувчан қувват вариаторидан озиқланади.

5.Чўғлаш трансформаторлари (T_{HP} и T_{HK}). Кенотрон ва рентген трубка симларини чўғлантириш учун ишлатилади. Вольфрамли катодли иплар 2100°C 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 пасайтириш учун берилади.

6.Зинасимон бошқариш пульти автотрансформатори (АА)- юқоривольтли трансформаторни биринчи обмоткасини юқори кучланишини ўзгаришини бошқариш учун ишлатилади.

7.Бошқарув пульти. Рентген аппарати махсус бошқарув пульти орқали бошқарилади. Бошқарув пульти рентген аппаратининг 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 регуировка 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 - кўп масалаларни ечиш учун одатда Дебай камераси - РКД ва бошқалардан кенг фойдаланилади. Улар кўпроқ по-ликристаллар структурасини ўрганиш учун мўлжалланган.

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 10x12x5 мм га тенг.

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

РҚД-57 камерасининг асосий қисмларини қуйидагилар ташкил этади:

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

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

в) камера корпуси–рентген пленкаси учун кассета вазифасини ўтайди.

РҚД – типдаги рентген камералари 4° дан 84° гача бурчак остида қайтган нурларни қайт қилишга имкон беради. Пленка камера корпусининг ички қисмига зич жойлашиб қолиши учун халқасимон пружиналар ёрдамида қотириб қуйилади.

Рентген камерасига рентген плёнкаси қўйиш чоғида ундан коллиматор ва тубус олиб турилади. Плёнка жойлаштирилиб маҳкамлангач камеранинг коп-қоғи винтлар ёрдамида беркитилади. Шундан кейин камера рентген аппарата-тига – нур тушиш йўлига жойланади.

Камерада рентген нурларини қайд қилиш вақти турлича бўлиб, у тушаётган нурларнинг интенсивлиги, текширилаётган модда структураси ва бошқа ҳолатларга боғлиқ. Хозирги кунда цилиндрик рентген камераларида рентгеног-рамма олишнинг уч хил усули мавжуд.

РКФ-86. Дебаеграмм съёмкаси учун мўлжалланган. Фоксловчи, поликристалларни прицизион решеткаси перидини аниқлаш учун. Д-85,95 мм, θ расмга олиш= $60-88^{\circ}$, 16×16 мм ўлчамдаги картонга ёпиштирилган кукун ва камеранинг цилиндр юзаси бўйича айланмайди, цилиндр юзаси бўйича пленка ёйилади.

КРОС - дебаеграмм олиш учун. Қарши съёмка учун. Поликристалл панжараси ўлчамларини прецизион аниқлаш, структурасининг мукамаллик даражаси, кассета юзаси оралиғидан 25-100 мм ли намуна юзасигача, $\theta=54-85^\circ$. 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, $\theta=10-30^\circ$ фазовий анализда, $60-88^\circ$ 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 ориентировкасини аниқлаш учун. Камеранинг оптик марказидан пленкагача бўлган масофа 40 мм; $\theta=2-30^\circ$ ва $60-87^\circ$. Намуна шакли - ихтиёрий. Кассеталар 120x100 мм да тўғри ва 100x80 мм қарши съёмкада.

РКВ-86. Монокристалл съёмкаси учун мўлжалланган. Лауэграмм айланиш

билан, камера диаметри 86 мм, намуна шакли-ихтиёрий, $\theta=4-80^\circ$.

РКУ-86,РКУ-95 ва РКУ-114. Улар дебаеграмм олиш учун, фазовий таҳлил, монокристаллар занжири периодини аниқлаш учун хизмат қиладилар. $\theta=4-85^\circ$, айланиш билан ва айланишсиз пленка цилиндр юзаси бўйича.

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

КМПС-вакуум камераси. Съёмкани қайд этувчи монохроматор фазовий таҳлил, поликристалл панжарасини аниқлаш учун. $D=171,9$ мм ёки 57,3 мм; $\theta=12-89^\circ$ катта камерада; $\theta=3-30^\circ$ ва $60-87^\circ$ кичик камерада. Кукун картонга ёпиштирилган, кўзғалмас.

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

Юқоридаги 43-расмда РКД-57 камераси мисолида камераларнинг муҳим боғларини кўриб чиқамиз. Камера қўйидаги 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. Қопқоқ 3 корпусга маҳкамланган ва 4 қопқоқ 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 столиқдан иборат бўлиб, унга намуна устун ёки симлар шаклида қўйилади.

Намунани камера ўқи бўйича марказлаштириш учта қисиб турувчи винтлар орқали амалга оширилади. Такмиллашган моделларда эса – конусси-мон бошчани магнитга жойлаштириш билан амалга оширилади.

47-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппаратлари.

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

Дифрактометрия рентгеноструктура тахлилинини ечишди, ҳамда катта даражада рентгенографик текширувлар ўтказишда катта аҳамиятга эга. Сабаби нур қайтариш интенсивлигини нафақат объектив баҳолаш, балки

асбобнинг юқори ечиш 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 ҳал этишда жуда муҳим, масалан, карбонатларни аниқлашда, дала шпатининг микроклиниги даражаси ва минералларнинг структура 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 справочникларга йиғилган нурланишни жадвалларидан фойдаланиш орқали бўлади.

Шундай қилиб, рентген дифрактограммаси бошқа рентгенограммалардан фарқ қилади;

- 1) Фазовий таҳлил учун рентгенограммани тез олиниши;
- 2) Уни ҳисоблашни осонлиги (содаллиги);
- 3) Фон диффузияси ва чизиқларнинг интенсивлигини аниқ ва оддий топиш имконияти;
- 4) монокристалларни ориентировкасини 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 аинқликга эга бўлиб, уларда ёзув автоматик тарзда рўй беради. Бундан ташқари бу аппарат визуально дифракция бурчакларини гониометрик мослама ёрдамида ҳисобга олишига ҳам имкон беради (44-расм).

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

Дифрактометрларнинг техник кўрсаткичлари:

1. Интенсивликни ўлчашдаги максимал ҳато 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.

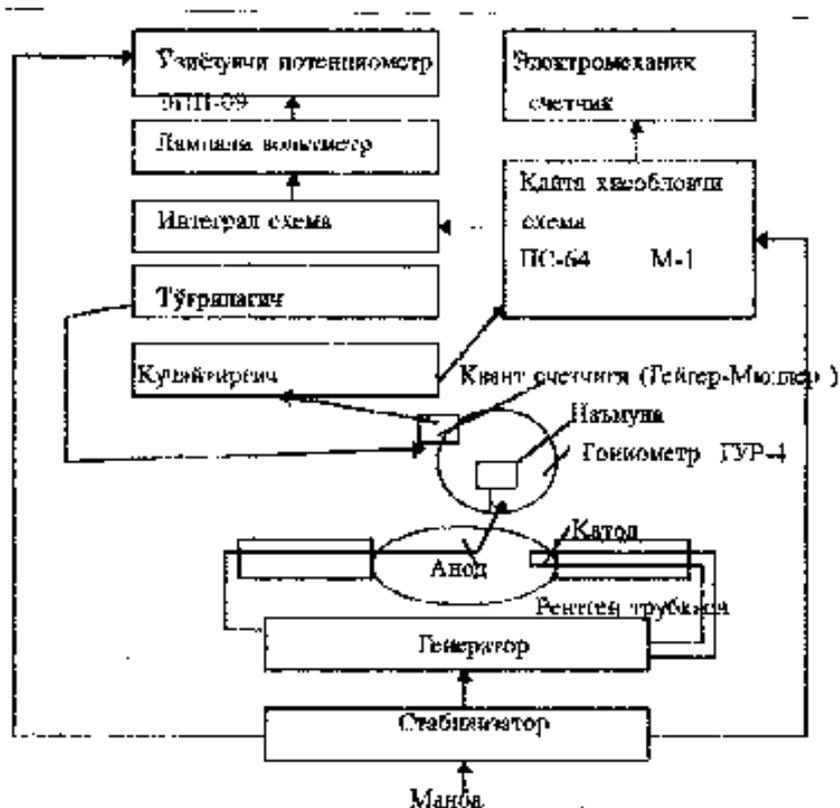
4. Трубка манбаи: V 50 кв гача, I 12 та гача.

5. Рентген трубкаси типи - БСВ -6.

ДРОН-0,5 ва ДРОН-1 дифрактометрлари - амплитуда дискриминациясили сцинтиляцион счётчикка эга. Бу аппарат жуда қулай ва фазовий тахлили жараёнидаги барча масалаларни ечишга имкон беради.

Аппаратларнинг техник маълумотлари:

1) Автоматик счётчик 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 принципиал блок-схемаси.

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

3. Счѣткини айланиш бурчаги +90 дан – 168° гача.

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

5. Гониометр радиуси – 180 мм.

6. БСВ-8, БСВ-9 ва БСВ-10 труblари 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, бурчадан тушаётан иккиламчи нурларнинг интенсивлиги (2θ бурчада) 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 микрофокуси боғлари билан ва бошқалар.

ДАР-1 автоматик дифрактометр. Монокристалларни программали бошқа-ришда текшириш учун. Бу аппарат кристаллографларнинг VII Халқаро Кон-грессида (Москва, июль, 1966 й.) кристаллографик аппаратуралар кўргазмасида намоёниш этилган.

Биринчи маркали аппаратларда (УРС-25 И, УРС-50 И ва УРС-50 ИМ) рентген нурлари детектори сифатида Гейгер-Мюллер сўтчиғидан, иккинчисида (ДРОН-0,5, ДРОН-1, ДРОН-2, ДРОН-4 ва бошқалар) – дискриминация амплитудасини пропорционал сўтчик ёки сцинтилляцион сўтчикдан фойда-ланилади.

48-§. Нурланиш детекторларининг қисқача тавсифи.

Пропорционал ва Гейгер-Мюллер сўтчиклари. Улар ионизацион табиа-тига эга. Сўтчик корпуси шиша трубадан иборат бўлиб, ичида гази бор (одатда аргон ёки криптон, босими 500 мм симоб устунни) У иккита электрод (анод ва катод) дан ташкил топган. Трубка ёни рентген нурларини кам ютувчи материаллардан (слюда, бериллий ва бошқалар) ясалган.

Рентген нурлари квантлари сўтчикка тушиб, газларни ионлаштиради; ҳосил бўлган ионлар (электродлар орасидаги потенциаллар мавжудлиғида) ток импульсини яратади. Бунда давомийликни разряд вақти белгилайди.

Ионизацион сўтчиклар: 200 в га тенг бўлган потенциаллар фарқида, ҳамма ионлар электродга тушади ва сўтчик ионизацион камера (Vo-Vi)

режимда ишлайди. Токнинг кичик ($\sim 10^{-12}$ а) лиги ва детекторнинг паст сезувчанлиги туфайлиги бу режимда ўлчовларни ўтказиш мураккаб (45- ва 46-расм).

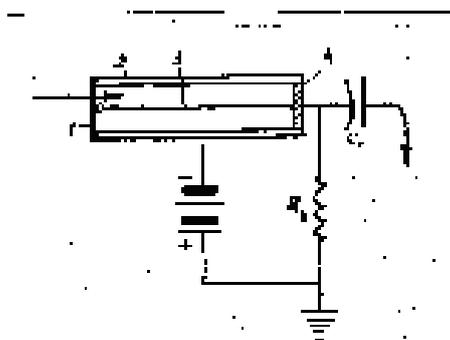
Пропорционал счётчиклар. 600-900 в (V_1-V_2) потенциаллар фарқида электронлар тезлиги шунчалик ошадики, унда ток импульси кучаяди, иккинчи ионизацион эффект яшнайди; бироқ бу ҳодиса кичик участкаларда счётчик иплари билан чегаранган ва шунинг учун тез кучини йўқотади. Счётчикнинг кичик “ўлик вақти” га $5 \cdot 10^5$ 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 счётчикларни пропорционалли деб аталади.

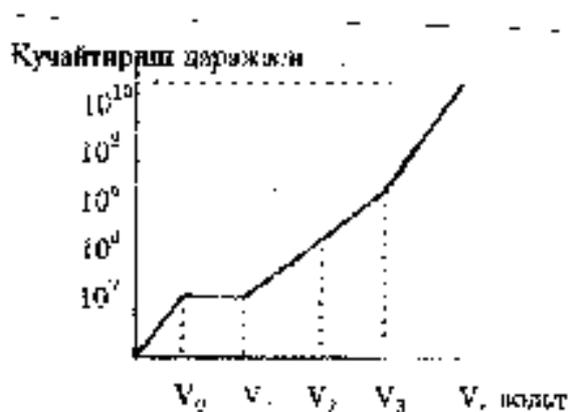
Гейгер-Мюллер счётчиги. Агар потенциаллар фарқи V_3 га оширилса, иплар бўйлаб иккиламчи разряд тарқалади. Счётчик Гейгер-Мюллер счётчиги режимда ишлайди. Импульс катталиги энди квант энергиясига боғлиқ эмас, аммо 10^{-3} а гача ошади. Бу регистрация қилишни осонлаштиради.

Бу нарса счётчикнинг “ўлик вақти” ни катталаштиради ва натижада ҳисобнинг максимал тезлиги $5 \cdot 10^3$ импульс / секундга 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-ўт-казгич (анод); 4-изолятор.



46-расм. Газ ионизациясининг счётчикка йўналтирилган потенциаллар фарқига боғлиқлиги ($Cu-K_{\alpha}$ 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.

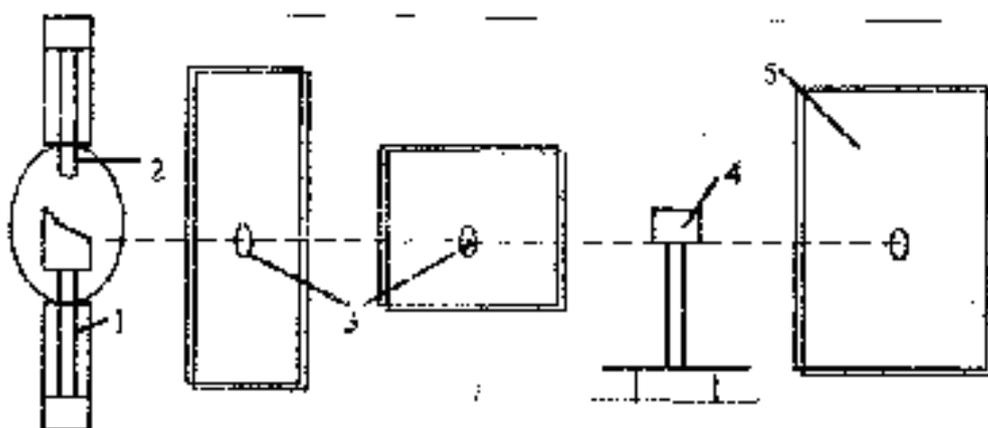
Лауэграмм монокристалнинг сифати, унинг кристалл структурасини такомиллиги, унда иккиёқлама ёки қонуниятсиз ўсишлар борлиги, рентген нурлари йўналишида кристалл симметрияларини баҳолашга имкон беради, лекин бу усул бўйича элементар ячейка ўлчамларини аниқлаш қийин. Бу мақсад учун аниқ кристаллографик йўналиш атрофида монокристаллни айлантириш ва тебраниш усуллари ишлатилади. Бунда монохроматик 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).

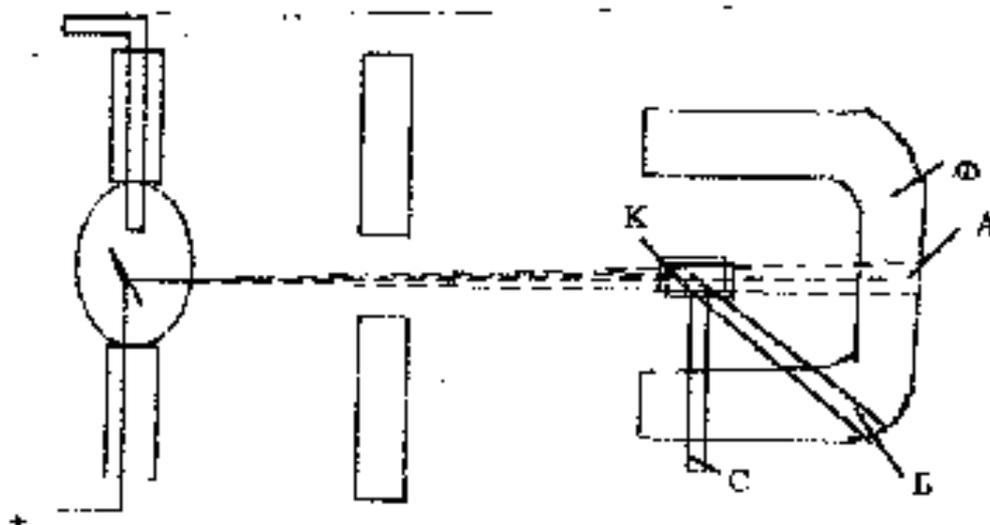
Усул панжара ёки кристаллар симметрияси периодини аниқлашда қўлланилади. Плёнка ёки пластинкадаги ёритилган нуқталарнинг интенсивлиги бўйича, бирикмаларнинг атомларини жойлашиши, элементар ячейкаси ва ўлчамлари ҳақида хулоса қилинади.

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.

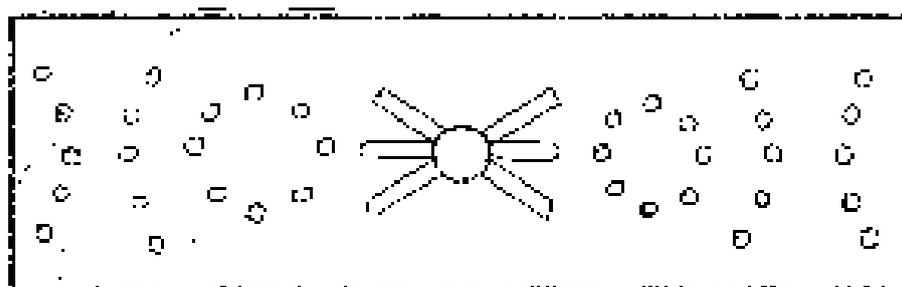
Нурланишни монохроматлаштириш учун дифференциал филтър ёки Росс филтѐри ишлатилади.



47-расм. Кристаллдан дифракцион кўринишни олишнинг биринчи тарихий усули: 1-катод; 2-антикатод; 3-дарчалар; 4-кристалл ўрнатилган гониомет-рик бош; 5-ясси пленкали кассета.



48-расм. Айланаётган монокристалл тасвирини олиш схемаси: Ф- пленка; К – айланаётган кристалл; С – айланиш подставкаси; Б - доғ; А – доғ.



49-расм. «С» ўқи атрофида берилл монокристаллининг айланма рентгено-граммаси.

3) Кукун усулида дебаеграмм олиш усули (Дебай-Шерернинг кукун усули). Олдинги икки усул, яъни қўзғалмас ва айланаётган кристаллнинг лауэ-граммасини 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 кукунни билан ишлаш мумкин;
- б) текширишга мўлжалланган материални тайёрлаш оддийлиги;
- в) тажриба ўтказишни оддийлиги.

Камчиликлари:

- а) бирмунча кичик аниқлик билан характерланади;
- б) структура ҳисобини мураккаблиги;
- в) рентгенограммада линияларнинг тарқоқлиги.

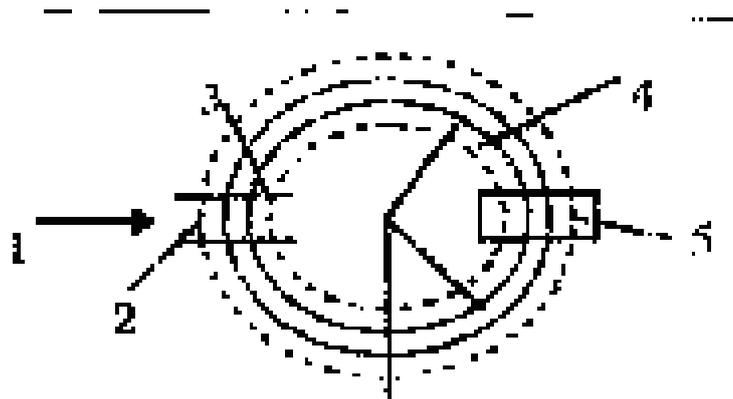
Тасвир олиш тартиби: камерадаги фотопленка цилиндрик шаклга эга: Трубкадан монохроматик нур боғлари тирқиш орқали диафрагма (коллиматор) га тушади. Ёпишувчи модда билан нозик стержен ёки целлулоидли трубкага қўйилган намуна - майда кукунга тушади. Намунага нурнинг тушиши тубус ёрдамида ёритувчи экранда назорат этилади.

Текшириладиган 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 модданинг характерли константларини ҳисоблаш мумкин.

Бу усул намуналарини текширишга тайёрлаш. Улар қуйидагича амалга оширилади:

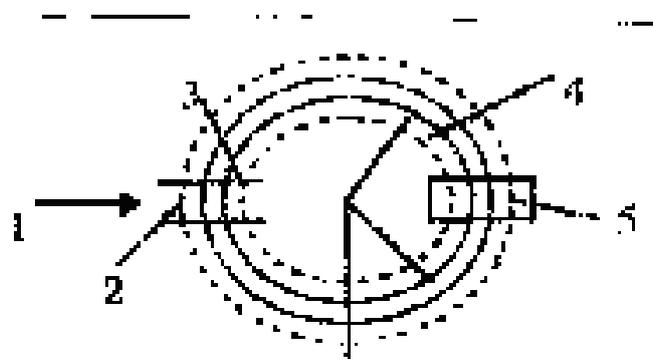
1) Ҳавода ўзгарувчан намуналарни тайёрлаш. Агар модда гигроскопик бўлса ва ҳаво кислороди билан реакцияга киришса.

“Пирекс” ёки “гетан” шишалари (улар рентген нурларини кам ютади)дан нозик капилляр олинади, у олдиндан кукун ҳолатигача майдаланган бўлади.

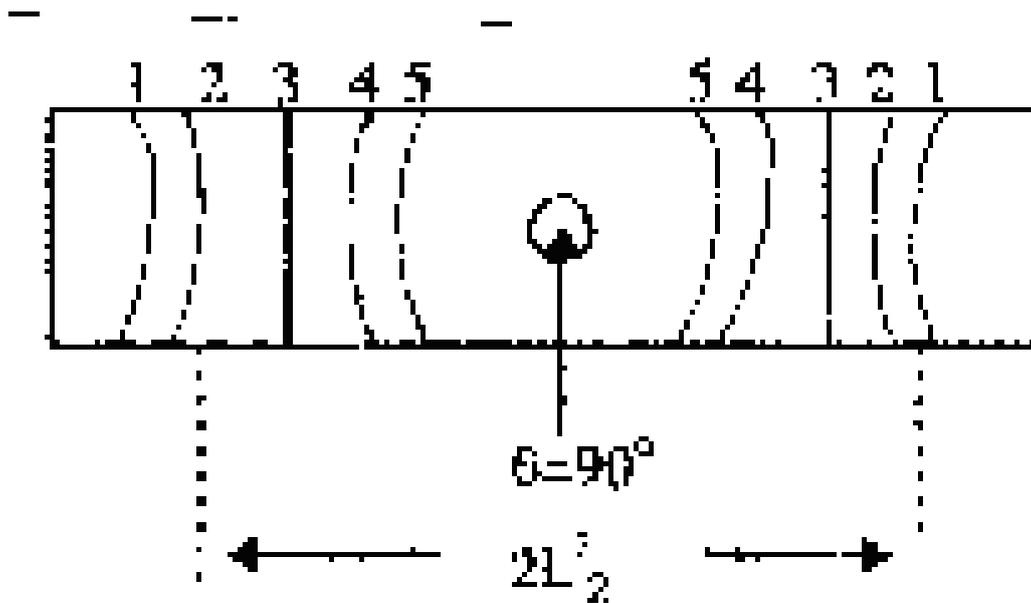


50-расм. Кукун усулида дебаеграмма олишнинг схематик кўриниши: 1-рентген трубки; 2-дарча; 3-намунани сақловчи қурилма, 4-намунани айлан-тириш механизми; 5-фотоплёнка; 6-ёритувчи экран тубуси билан; 7-намуна; 8-кўрғошинли диафрагма (коллиматор).

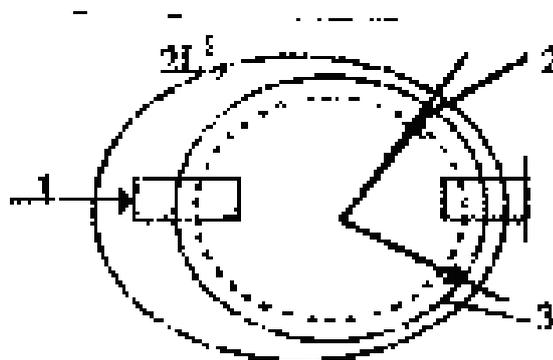
51-расм. Тўғридан-тўғри тасвир олиш усули плёнкасининг кўриниши.



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-пленка охирлари ва 3-пленка.

Кейин махсус воск ва канифол аралашмаси ёрдамида ёпиштирилади ёки суртилади. Капилляр диаметри $d=0,7$ мм атрофида, қалинлиги уни бармоқ билан енгил босилганда синувчан бўлиши керак.

Катта диаметрда эса кенг диафрагмалар қўллаш лозим, у тасвирларни фонини оширади ва умуман рентгенограмма сифатини камайтиради.

2. Ҳавода ўзгармайдиган намуналарни тайёрлаш. Яхши майдаланган кукунни клей (резина клейи ёки цапонлак) билан қориштириб аралашма тайёрланади. Кейинги нозик тола ($d = 0,05-0,1$ мм) кесилади ва тола қурига-нида эгилмаслиги учун клей кам бўлиши керак.

Кукун усулида дебаеграмм олиш усулининг турлари:

а) Тўғридан-тўғри тасвир олиш. Цилиндрик камерадаги пленканинг тугал-ланган қисми коллиматорнинг кириш тешигига мос келади. Линиялар бурчак ўсиш тартибида K пленка ўртасидан унинг чеккаларига тақсимланади. Симметрия чизиқларини орасида масофа $2L$ бўлиб, бурчак 4θ орқали аниқланади (51-расм).

$$2L_i = 4\theta_i \cdot R \quad \text{ёки градусли ўлчамда}$$

$$2L_i = 2\pi R / 360 \cdot 4\theta_i$$

бу ердан $Q = 2L_i \cdot 57,3 / 2D$;

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:

$$Q_i = 2L_i \cdot 57,3 / 2D = (\pi D - 2L'_i) \cdot 57,3 / 2D$$

в) Цилиндрик камерада асимметрик тасвир олиш. Бу усулда пленкалар 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 пленка ўлчамларини фотография вақтида ўзгариши, камеранинг эффектив- 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: $\theta = L_i \cdot 57,3 / D$;

б) намуна рентген боғига перпендикуляр жойлашган:

$$\theta_i = (\pi D - 2 L'_i) \cdot 57,3 / 2D$$

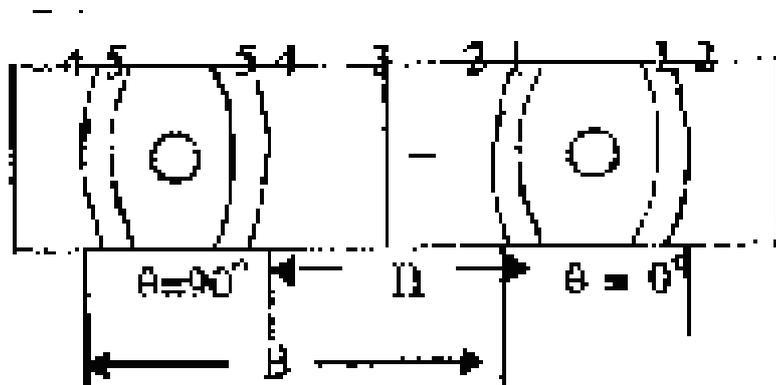
в) Аксиал цилиндр камерада тасвир олиш. Бу усулда камера ва намуна жойлашиши ҳамда рентген нури йўналиши қуйидагича бўлади (57-расм):

Бундай тасвир дебай ҳалқа атрофидаги дифрагирован нурланишнинг тарқалиш интенсивлигини таҳлил этиш учун муҳимдир. Масалан, моддаларнинг текстурасини текширишда. Яхши натижаларни θ кичик бурчаги томонидан таҳлил қилиш беради.

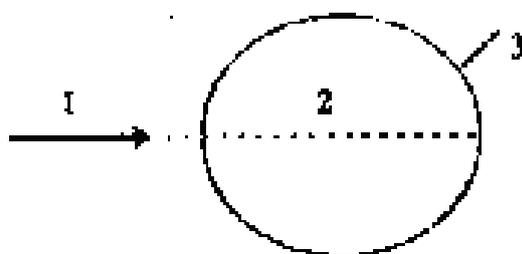
г) Ясси пленкага тасвир тушириш. У ўз навбатида икки хил бўлади (58- расм):

1) нур ўтишида тўғридан-тўғри тасвир ҳосил қилиш;

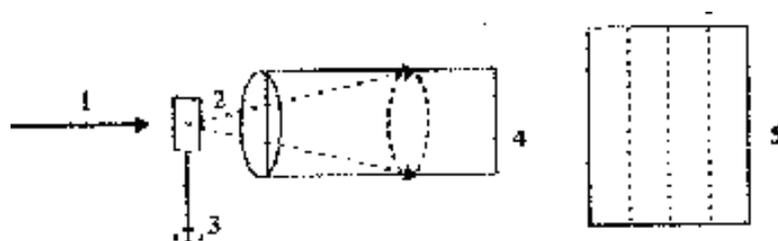
2) нур қайтишида тасвир тушириш.



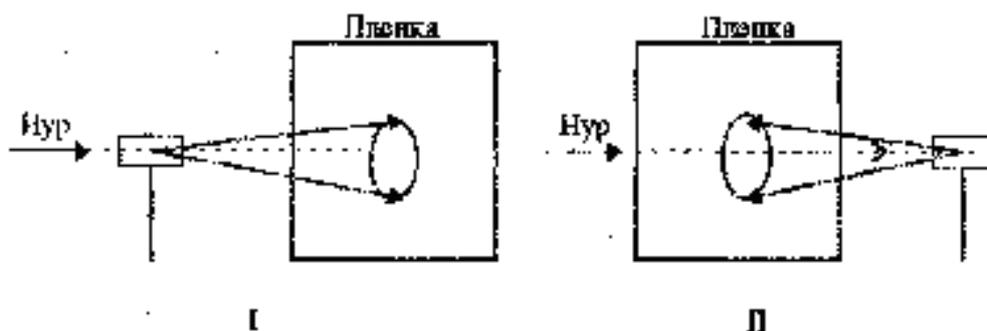
55-расм. Пленкадаги асимметрик тасвир.



56-расм. Асимметрик тасвир усули камераси: 1-рентген нури; 2-камера; 3-пленка.



57-расм. Аксиал цилиндрик камерада тасвир ҳосил қилиш схемаси: 1-рентген нури; 2-намуна; 3-айланувчан механизм; 4-аксиал камера; 5-пленка.



58-расм. Ясси пленкага тасвир туширишда рентген нури йўналиши, намуна ва пленкаларни жойлаш схемалари: 1-нур ўтишига асосланган; 2-нур қайтишига асосланган.

50-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппаратларида дифрактограмма олиш усуллари.

Рентген нурланиши бундан 90-йил бурун очилган бўлса ҳам тадқиқотлар асосан фотоусулларни қўллаш йўли билан давом этди. Бу усул юқори аниқ-ликка эга, аммо уни ишлатаётган илмий ходимдан ҳам рентгенография, ҳам фотографиядан юқори малака талаб қилади.

Кейинги 25-30 йил ичида фотоусулларда лауэграмма ва дебаеграмма олиш ўрнига нурланишни ионизацион қайд этишга асосланган дифрактограм-ма усуллари жорий этила бошланди. Бу усулларда иш олиб бориш махсус счетчикларга асосланган бўлиб, уларда дифракцион максимумлар регистрация қилинади.

Ҳозирги вақтда нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппаратларида дифрактограмма олишнинг икки усули қуйидагича регистрация қилиш-га асосланган:

1. Гейгер-Мюллернинг ионизацион счетчиги ёрдамида.
2. Сцинтилляцион счетчиги ёрдамида.

Биринчи газли счетчикларининг 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 активлаштирилган йодли натрий кристалли) ва фотоқўпайтиргичдан ташкил топган сцинтилляцион счетчикларда Гейгер-Мюллер газли счетчикларига нисбатан фон анча кичик бўлади. Шунинг учун уларнинг эффективлиги 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. Хўл 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 қат-тиқ риоя қилиш зарур. У узок вақт киши организмига таъсир ўтказса сало-матлик масаласига путур етади:

1. Инсон қонининг таркиби ўзгаради;
2. Ички органлар шикастланади;
3. Тери қавати куяди.

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 бўлакларига тегиш, юқори вольтли қисмларини таъмирлаш ва бошқалар ман этилади;
5. Вақт-вақти билан рентген нурланишидан ҳимоя воситаларининг эффек-тивлиги дозиметрлар орқали текшириб турилиши шарт;

6.Рентген трубкаси ва рентген камераси алмаштирилгач аппарат ўрнатил-ган хонани дозиметр ёрдамида текшириб туриш керак.

Рентген нурлари билан ишлашда ҳавфсизлик техникаси қоидаларини риоя қилишни таъминлашда рентген дозиметрлари катта роль уйнайди. Рент-ген нурлари дозасини ўлчашда одатда кўчма асбоблардан – универсал ГРИ дозиметрларидан кенг фойдаланилади. Бу асбоб бир ипли электрометр ва ал-маштириб туриладиган ионланиш камералари тўпламидан ташкил топган.

51-§. Рентгенографик таҳлилдан фойдаланиш имкониятлари.

Усулни қўллашни амалий имкониятлари жуда катта. Қўйида улардан асосийлари келтирилади:

1. Табиий ва сунъий минераллар ва кимёвий бирикмаларнинг диагностикаси учун (кимёгар, кристаллокимёгар, кристаллограф, геохимёгар, гео-

лог, 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, флогонит, мусковит; натрийли -, калийли- ва кальцийли дала шпатлари; каолинит, гал-луазит ва бошқа тупроқ минераллари);

в) Структура турларини аниқлаш (дала шпатининг моноклин ёки триклин шакли, пироксенларнинг моноклин ва бошқа турлари, нефелиннинг ромбик ва гексагоналъ шакллари ва хоказо);

г) Минерал таркибини сифат ва миқдорий баҳолаш (ион ўлчамлари ва бошқаларга боғлиқ холда).

2. Структура таҳлили учун:

а) Моддаларнинг симметрияларини аниқлаш;

б) Симметрия фазовий группаларини-элементар ячейкада молекула, ион, атомларни 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 структурасини баёни, структурани ташқил қилувчи атомлар орасидаги масофа, координацион рақам ва бошқалар.

3. Аниқлаш учун:

а) Модданинг монокристаллиги - монокристални структуравий етуқлиги, қўшалокларнинг мавжудлиги, ўлчами, сифати ва бошқа диагностик параметрларини баҳолаш имкони;

б) Модданинг поликристаллиги – поликристаллар кимёвий таркиби, поликристалл заррачалари ўлчами ва хоказо.

4. Минерал структурасидаги у ёки бу элементлар ва уларнинг шаклини аниқлаш - минерал, рудадаги қўшилма (изоморф, механик) ларнинг қандай аралашмаллиги ва эрувчанлигини ўрганиш учун.

5. Тоғ жинслари ва рудаларини сифати ва миқдорини фазовий рентгенографик тахлили.

6. Минералларнинг дисперслиги ва кристалларининг катталикларини баҳолаш.

7. Минераллар структуралари тузилиши, нуқсонлар-Шотки, Френкель ноаниқликлари ва дислокацияларни баҳолаш.

8. Минерални текстураларини аниқлаш.

9. Рентгеноаморф ва коллоид минералларни ўрганиш;

10. Минералларнинг барқарорлиги ва турли таъсирлардан фазовий ўзгари-шини ўрганиш;

11. Зичлик, иссиқликдан кенгайиш коэффициенти, Кюри нуқтаси, қаттиқ эритмаларнинг идеаллиги ёки дефект структурага эга эканлиги каби физик хосса - хусусиятларини аниқлаш;

12. Хона хароратидан 1500°C ли харорат таъсирида рўй берувчи физик-кимёвий ўзгаришларни аниқлаш;

13. Минус 190°C гача тадқиқотлар олиб бориш, совуқлик таъсирида рўй берган ўзгаришларни аниқлаш;

14. Рентгенографик таҳлилни хаво шароитида олиб бориш ва олинган натижалар турғунлигини таъминлаш;

15. Рентгенографик таҳлилни юқори босим остида махсус камералардан фойдаланган ҳолда олиб бориш;

16. Шиша, канифоль, гудрон каби ноорганик ва органик моддаларни кичик рентген бурчаклари остида текшириш ва уларда бор бўлган фрагментлар-ни аниқлаш;

52-§. Рентгенографик таҳлил афзаллиги.

Жуда кўп афзалликлари бор. Улардан асосийлари қаторида қуйидагилар-ни қайд этиш мумкин.

1. Флуоресцент нурланишни филтрлаш мақсадида монохроматлардан фойдаланиш имконияти беради.

2. Интенсивликни юқори аниқликда ўлчаш мумкинлиги (чегаралар фотографик усулда 5-7 %, электрик усулда ўлчашда 0,5-1%).

3. Текшириш натижаларини хужжатлилиги. Иккиламчи нурланишни фото-график қайд этишда рентгенограмманинг хамма линиялари бир вақтнинг ўзида қайд этилади. Дифрактометр ёрдамида турли чизиқларнинг интенсивлиги ҳисобга олинади, счётчик айланиши ёки ионизацион камеранинг ўзиёзар машинкасида ёзилади.

4. Кристалларнинг ўлчамларини аниқлаш имконияти. Поликристалл ўлчами (10^{-3} - 10^{-5} см оралиғида ётган бўлса рентгенограммада узлуксиз ва

нозик чизиқлари қайд этилади. 10^{-5} см дан кичик ўлчамли кристалларнинг мавжудлиги чизиқларнинг “дифракцион кенгайиш”га олиб келади. Агар кристаллар йирик донали ва 10^{-3} дан катта бўлса, рентгенограмма донадор, яъни алоҳида нуқталардан ташкил топади. Чизиқларда кузатилаётган иккала ўзгаришни ҳам кристалларнинг ўлчамларини аниқлашда ишлатиш мумкин.

5. Кичик бурчак остида кичик ўлчамли объект рентгенограммаларини олиш имконияти (масалан, қаттиқ эритмаларнинг тузилиши бир хилда эмаслиги, шиша ва бошқалар).

6. Текстуранинг аниқлаш имконияти (майда кристалл - агрегатларнинг йўналтириш қонуниятлари).

7. Усулнинг юқори даражада унумдорлиги (дифрактометрия);

8. Кристаллнинг керакли йўналиши бўйича қўйиши ва рентгенограммасини олиш имконияти.

9. Рентгенография усулининг таъсирида электронография ва нейтронография усулларининг пайдо бўлиши ва такомиллашиши. Уларда электронлар ёки нейтронлар боғларининг намунага таъсири қайд этилади.

53-§. Усулнинг камчиликлари.

Рентгенография усулининг афзалликлари жуда кўп, лекин камчиликлари ҳам бор. Олимларнинг аниқланган камчиликларини бартараф этиб, усул имкониятларини ошириш устида фаол ишламоқдалар. Булар қаторига қуйидагилар киради:

1. Усулни аморф моддалар (шиша, канифол, смола, ях ва бошқалар) структурасини аниқлашдаги заифлиги. Хосил бўлган рентгенограмма ё тўғри чизиқдан иборат, ёки жуда паст интенсивли пиклар йиғиндисидан иборат бўлади. Бу камчилик рус олими проф. Парой-Кошиц фикрича рентген нурлари кичик бурчак остида намунага таъсир эттирилишини таъминлаш прецизион усули орқали бартараф этилиши мумкин. Бу усул шишаларнинг

тузилишидаги микроаноаниқликларни текширишнинг тўғри усули ҳисобланади.

2. Поликристалл моддалари структураларини рентгенографик расшифровка қилишнинг қийинлиги. Уларда атом структураларини аниқловчи маълумотлар кўпинча етарли миқдорда эмас.

Масалан, муллит минералининг монокристалли ва поликристалли расшифровкаси орасида катта тафовут мавжуд. Монокристалл бир йўсинда аниқ расшифровка қилинади, поликристаллида эса расшифровка бир қатор шартли кўрсаткичлар орқали боради.

Таркибига барий ва кальций кирган шишаларда нисбатан катта област ($R=150-200 \text{ \AA}$) лар борлиги олимлар томонидан аниқланган (19-жадвал).

19-жадвал

Шишалар таркибида аниқланган микроаноаниқликлар

Тартиб	Шиша таркиби, мол. % ҳисобида			Микроаноаниқликлар радиуси, \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 фотометр усулида қайд этишнинг кераклилиги.

4. Электр усулини қўллашда: рентген трубкини электрик режимда ишлашида стабиллаштириш етарли эмаслиги, ҳамда счётчик билан боғланган ҳамма ёрдамчи кучайтирувчи ва таъминловчи занжирларни етарли даражада эмаслиги.

5. Чизикларни 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 – гидраргилит, байерит, диаспор, бемит, каолинит, диккит, накрит, монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, монотермит, галлуазит, пирофиллит, кальцит, доломит, гипс, ангидрит ва бошқаларни структураларини расшифровка қилишнинг му-ракаблиги.

7. Бир сингония ёки структурали 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 интен-сивлигини қийматларини нисбий баҳолаш билан минерални аниқ тахлил 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 турларини аниқлашда уч диаграмма “ $a-N-d$ ” бўйича диагноз қўйиш мумкин. Бу ерда a - элементар ячейка ўлчами, N - нур синдириш кўрсаткичи ва d - гранитнинг солитирма оғирлиги. Буларнинг ҳаммаси гранат минералининг турлари ҳақида аниқ маълумотни олишни таъминлайди.

54-§ Кимёвий бирикмаларга оид рентгенографик маълумотлар

В 5222400 – «Кимёвий технология» йўналишининг «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси» соҳаси хомашёлари, 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 манъбалар [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 хосилаларига таалуқли бўлиб, у литий элементида бошланиб водород элементига оид тегишли ра-қамларни ўз ичига олган. Айниқса жадвалда элемент, элемент хосил қилган оксид, элемент карбонати, сульфати ва нитрати, у хосил қилган тузлар – алюминат, силикат ва бошқалар катта ўринни эгаллаган. Жумладан, литий элементига таалуқли 22 бирикма, натрийга – 15 бирикма, калийга – 17 би-рикма, магнийга – 24 бирикма, кальцийга – 57 бирикма, стронцийга – 25 бирикма, барийга – 23 бирикма, алюминийга – 21 бирикма 20-жадвалга киритилган.

Текикликлараро масофа жадвалда ангстремда берилган. Агар фойдаланилган адабиётда у килоиксда берилган бўлса, у холда $1d_{\lambda}=1,00202 \text{ кХ}$ тенгламаси ёрдамида килоикс ангстрем ўлчовига ўтказилган.

Чўққилар интенсивлиги жадвалда 3 кўринишда ўз ифодасини топган: бирдан юзгача хисобида; Иккинчи кўринишда интенсивлилик нольдан ўнгача хисобида ўтказилган. Учинчи кўринишда эса интенсивлилик нисбий бирликларда берилган: Кз – кучсиз, Ж.кз. – жуда кучсиз, Ж.ж.кз. – жуда-жуда кучсиз, Ў – ўртача, Ки – кучли, Ж.ки. – жуда кучли, Ж.ж.ки – жуда-жуда кучли.

20-жадвал

Табий ва сунъий кимёвий бирикмаларнинг баъзибирларига хос бўлган d ва J

Модда	d	J	D	J	D	J
1	2	3	4	5	6	7

Литий-Li	2,48	100	1,430	20	-	-
	1,75	17	1,240	3	-	-
Li OH	4,35	33	2,42	17	1,74	3
	2,98	20	2,08	3	1,65	7
	2,75	100	1,97	3	1,490	7
	2,67	23	1,85	5	1,280	3
	2,51	13	1,77	7	1,257	3
LiF	2,32	67	1,419	23	1,160	3
	2,00	100	1,211	3	-	-
LiH	2,357	54	1,231	23	0,9374	8
	2,041	100	1,178	11	0,9130	9
	1,444	40	1,0204	3	0,8335	7
	-	-	-	-	0,7859	5
LiCl	2,96	100	1,283	5	0,909	2
	2,56	100	1,178	12	0,869	3
	1,81	60	1,148	14	0,857	2
	1,55	32	1,048	6	-	-
	1,482	12	0,989	5	-	-
Li ₂ CO ₃	4,16	63	2,26	18	1,51	5
	3,80	5	2,07	3	1,460	5
	3,02	5	1,86	13	1,422	3
	2,91	50	1,81	3	1,389	3
	2,80	100	1,61	3	1,350	3
	2,62	25	1,59	5	1,311	3
	2,47	10	1,57	5	1,280	3
	2,42	38	1,54	5	-	-
LiNO ₃	3,58	67	1,371	20	1,008	3
	2,78	53	1,355	13	0,982	3
	2,53	20	1,255	4	0,932	1
	2,13	100	1,194	4	0,927	1
	1,95	1	1,140	1	0,895	1
	1,72	11	1,117	3	0,890	1
	1,53	27	1,082	4	-	-
	1,420	1	1,025	1	-	-

Li ₂ SO ₄	4,01	100	2,20	3	1,56	2
	3,49	11	2,09	5	1,53	3
	3,16	40	2,01	2	1,487	6
	2,78	6	1,95	13	1,424	2
	2,68	3	1,88	5	1,400	3
	2,62	5	1,81	3	1,340	3
	2,47	13	1,77	2	1,279	3
	2,40	6	1,67	2	1,215	2
	2,31	6	1,60	3	1,185	3
Li ₂ O·Al ₂ O ₃	4,54	6	1,849	3	1,296	3
	3,506	19	1,799	3	1,278	6
	3,210	13	1,741	3	1,249	13
	2,790	41	2,721	13	1,202	25
	2,660	3	1,675	3	1,177	3
	2,545	3	1,608	31	1,139	19
	2,372	84	1,559	6	1,107	3
	2,280	25	1,518	72	1,077	6
	2,078	13	1,467	3	1,054	13
	1,969	59	1,439	6	-	-
	1,905	3	1,393	100	-	-
Li ₂ O·Fe ₂ O ₃	2,39	40	0,949	10	0,657	20
	2,07	100	0,925	50	0,624	10
	1,461	90	0,845	40	0,575	10
	1,247	30	0,798	10	0,553	10
	1,195	40	0,732	10	-	-
	1,035	20	0,690	20	-	-
Li ₂ O·CrO ₃	7,0	16	2,47	10	1,64	2
	5,3	5	2,32	8	1,60	3
	4,39	32	2,22	3	1,56	3
	4,10	100	2,14	5	1,52	2
	3,70	5	2,08	2	1,57	2
	3,50	32	2,01	3	1,420	13
	3,27	20	1,94	8	1,367	5
	3,15	13	1,84	11	1,343	3
	2,85	32	1,80	2	1,215	2
	2,64	24	1,73	3	1,113	2
	2,54	8	1,69	6	-	-

Li ₂ CrO ₄ ·2H ₂ 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	-	-
	Li ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O	6,4	4	3,08	20	2,01
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	-	-
Li ₂ SO ₄ ·H ₂ 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
3,09		Ж.ку.	1,642	Ку.	1,286	Ж.кз.
2,556		Ж.ку.	1,595	Ж.кз.	1,253	Ў.
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	Ў.
LiCl·H ₂ 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 3,9094 3,4884 3,1554 2,2938 2,2605	5 25 100 11 8 9	2,1040 1,9293 1,8825 1,7404 1,6938 1,6438	7 13 37 3 3 14	1,5406 1,4775 1,4502 1,4291 1,3208 1,2384	7 3 10 6 12 11
$\text{LiGaSi}_2\text{O}_6$	4,6333 3,9472 3,5074 3,1819 2,3130 2,2792	8 30 100 12 24 12	2,1257 2,0955 1,9497 1,8899 1,7020 1,6598	5 5 13 36 4 29	1,5500 1,4865 1,4629 1,4378 1,3342 1,2475	8 5 15 7 18 17
Амфибол – $\text{Li}_3\text{Mg}_5\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$ $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_{16}\text{O}_{44}]$	7,98 4,85 4,39 3,63 3,30 3,19 2,97 2,80 2,70 2,64 2,53 2,46 2,418 2,282	4 1 4 4 6 6 10 6 6 6 8 1 1 4	2,212 2,095 2,031 1,952 1,856 1,798 1,736 1,712 1,590 1,572 1,522 1,487 1,472 -	1 6 1 4 1 6 4 4 8 8 1 6 1 -	1,444 1,423 1,395 1,351 1,337 1,312 1,276 1,257 1,239 1,176 1,163 1,135 1,084 -	4 1 8 1 1 8 4 1 1 1 1 4 4 -
Манганси-клерит – $(\text{Li}, \text{Mn}^{''}, \text{Fe}^{'''}) \cdot$ $[\text{PO}_4]$	5,064 4,295 3,859 3,494 3,069 2,778 -	1 8 4 8 8 4 -	2,519 2,169 1,760 1,737 1,676 1,648 -	10 4 8 8 4 4 -	1,624 1,477 1,353 1,323 1,149 1,103 1,070	4 4 8 4 4 8 8

Феррисиклерит- (Li, Fe ^{III} , Mn ^{II}) · [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
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
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
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	-	-
$K_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	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	-	-
$K_2Cr_2O_7$	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 ₂ O·CaO·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
Мусковит – K ₂ O·3Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂ ·2H ₂ O	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 1,633	49 28	1,1055 1,0424	5 3	0,8564 -	1 -
Cu SO ₄	4,20 3,92 3,55 2,62 2,41 2,31 2,08 2,01 -	53 3 53 100 40 9 5 3 -	1,96 1,77 1,67 1,58 1,55 1,461 1,430 1,400 -	12 33 9 13 8 1 27 3 -	1,375 1,305 1,290 1,243 1,210 1,182 1,150 1,096 1,076	11 3 1 1 3 1 3 4 4
CuO·Al ₂ O ₃	2,85 2,43 2,01	33 100 27	1,85 1,64 1,55	7 7 20	1,423 1,230 -	67 7 -
CuO·B ₂ O ₃	6,4 5,3 3,88 3,17 2,91	44 78 100 33 22	2,66 2,51 2,37 2,17 1,95	33 100 11 11 11	1,73 1,58 1,55 1,53 1,425	33 11 11 11 11
CuO·Co ₂ O ₃	4,65 2,85 2,43 2,31 2,11	15 25 100 20 5	1,64 1,55 1,421 1,361 1,227	10 31 38 3 8	1,160 1,076 1,047 - -	3 3 8 - -
Күмыш – 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	20 20 4 50 100 2	2,27 2,20 2,15 2,03 1,92 1,86	30 1 8 8 8 4	1,53 1,50 1,462 1,440 1,398 1,370	3 2 1 5 4 13

	2,48	1	1,77	10	1,328	4
	2,42	15	1,67	8	1,300	2
	2,37	3	1,63	10	1,222	3
	2,32	4	1,59	7	1,133	3
AgCl	3,203	49	1,273	3	0,9248	3
	2,774	100	1,241	11	0,8774	3
	1,962	50	1,1326	7	0,8462	2
	1,673	15	1,0680	3	0,8366	3
	1,602	15	0,9810	2	-	-
	1,387	6	0,9380	2	-	-
AgNO ₃	4,51	50	2,24	25	1,66	15
	4,08	50	2,15	15	1,57	5
	3,66	38	2,11	10	1,490	10
	3,00	100	2,08	50	1,420	8
	2,80	38	1,96	18	1,382	5
	2,73	44	1,90	10	1,340	13
	2,53	38	1,83	25	1,310	3
	2,29	31	1,70	15	-	-
Ag ₂ O·MoO ₃	5,3	6	1,64	43	1,097	1
	3,28	17	1,475	1	1,075	9
	2,80	100	1,422	11	1,043	1
	2,68	17	1,406	11	0,978	2
	2,32	14	1,345	1	0,951	5
	2,12	5	1,245	5	0,915	1
	1,89	6	1,211	17	-	-
	1,78	43	1,164	3	-	-
Олтин –Au	2,35	100	1,227	40	0,935	9
	2,03	53	1,173	9	0,910	7
	1,439	33	1,019	3	0,832	4
	-	-	-	-	0,784	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 ₃ In ₂	3,930	Ў.	1,757	Ж.кз.	1,310	Ў.
	3,229	Кз.	1,609	Ж.ку.	1,304	Ў.
	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	Ў.	1,129	Кз.

	1,963	Ў.	1,326	Кз.	-	-
Au ₃₄ Sn ₆₆	4,525	Ў.	2,712	Ку.	2,139	Ж.кз.
	3,766	Ў.	2,619	Ў.	2,135	Ў.
	3,530	Ж.кз.	2,533	Кз.	2,130	Ку.
	3,450	Ў.	2,466	Кз.	2,083	Ў.
	3,398	Ў.	2,453	Ж.кз.	2,074	Ж.ку.
	3,097	Ж.ку.	2,440	Ж.кз.	2,056	Ку.
	3,035	Ў.	2,414	Ку.	1,963	Ж.кз.
	3,015	Ў.	2,273	Ж.кз.	1,955	Ж.кз.
	2,937	Ку.	2,241	Ку.	1,939	Ў.
	2,760	Ж.ку.	2,179	Ў.	1,916	Ў.
	2,744	Кз.	2,149	Ку.	1,908	Ў.
	AuSb ₂	3,82	1	1,353	1	0,932
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
	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	-	-
Be ₂ C	2,502	98	1,309	16	0,9709	2
	2,171	1	1,0860	15	0,8863	41
	1,535	100	0,9959	7	0,8356	11

BeS	2,807	100	1,216	5	0,8595	7
	2,432	31	1,115	13	0,8219	18
	1,718	39	1,087	10	0,8104	13
	1,466	32	0,9924	13	-	-
	1,404	10	0,9357	12	-	-
BeSO ₄ ·4H ₂ O	5,7	13	2,30	1	1,70	3
	3,90	100	2,23	1	1,60	5
	3,40	13	2,17	17	1,490	4
	3,20	20	2,00	4	1,458	8
	3,06	1	1,94	3	1,414	4
	2,84	3	1,88	13	1,330	4
	2,52	53	1,84	7	-	-
	2,42	1	1,78	5	-	-
BeO·Al ₂ O ₃	4,47	4	1,80	6	1,190	4
	4,03	6	1,65	4	1,160	4
	3,60	5	1,61	10	1,140	5
	3,24	8	1,555	2	1,105	5
	2,85	4	1,513	5	1,078	6
	2,57	8	1,462	5	1,061	6
	2,33	8	1,362	8	1,056	2
	2,26	7	1,338	4	1,040	7
	2,08	10	1,296	7	1,021	2
	1,98	2	1,257	7	1,003	6
	1,88	2	1,215	4	-	-
Магний - Mg	2,77	30	1,341	13	0,974	4
	2,60	25	1,303	3	0,925	1
	2,45	100	1,225	3	0,898	3
	1,90	20	1,180	3	0,870	1
	1,60	20	1,084	4	0,763	1
	1,471	30	1,030	7	0,740	1
	1,378	18	1,010	3	-	-
	MgO	2,42	6	1,213	15	0,937
2,10		100	1,050	4	0,860	4
1,485		75	0,963	1	0,854	2
1,266		6	0,940	10	-	-

Магнезит - MgCO ₃	3,53	2	1,404	5	1,100	3
	2,737	10	1,367	1	1,065	8
	2,500	5	1,352	6	1,049	5
	2,316	4	1,336	7	1,012	2
	2,101	9	1,249	3	0,9671	7
	1,935	6	1,237	2	0,9554	7
	1,766	2	1,200	2	0,9496	1
	1,697	10	1,189	5	0,9443	5
	1,503	3	1,156	1	0,9171	6
	1,485	5	1,126	1	0,9120	10
	MgSO ₄	4,18	4	2,30	25	1,55
3,55		100	2,15	4	1,51	2
3,35		2	2,02	4	1,454	6
3,18		2	1,97	8	1,409	2
2,64		30	1,81	4	1,382	2
2,45		20	1,77	12	1,275	6
2,35		4	1,68	6	-	-
Брусит - Mg(OH) ₂		4,77	Ж.ку.	1,310	Ў.кз.	0,9543
	2,725	Ж.кз.	1,192	Ж.ж.кз.	0,9503	Ж.кз.
	2,365	Ж.ж.ку.	1,183	Кз.	0,9455	Кз.
	1,794	Ку.	1,118	Ж.ж.кз.	0,9085	Ж.ж.кз.
	1,573	Ў.	1,092	Ж.ж.кз.	0,9001	Ж.ж.кз.
	1,494	Ў.	1,034	Ж.кз.	0,8974	Ж.ж.кз.
	1,373	Ў.	1,030	Ж.ж.кз.	0,8923	Ж.ж.кз.
	1,363	Ж.ж.кз.	1,0067	Кз.	0,8156	Ж.ж.кз.
	-	-	-	-	0,7865	Ж.ж.кз.
	MgO·SiO ₂	6,33	1	2,706	26	2,232
4,41		14	2,534	43	2,114	24
3,303		35	2,494	51	2,096	21
3,167		100	2,471	31	2,058	13
2,941		44	2,358	7	2,019	10
2,876		87	2,280	5	1,984	13
2,825		23	2,252	7	1,958	24
2MgO·SiO ₂		5,1	1	2,45	40	1,74
	3,89	40	2,26	40	1,67	10
	3,72	5	2,15	11	1,62	11
	3,49	20	2,02	2	1,57	8
	2,99	13	1,95	2	1,490	32

	2,77	40	1,88	3	1,395	20
	2,51	32	1,81	3	1,350	28
	-	-	-	-	1,315	10
MgO·Al ₂ O ₃	4,67	4	1,366	3	1,0100	5
	2,858	40	1,278	2	0,9522	3
	2,436	100	1,232	9	0,9330	10
	2,333	3	1,218	1	0,9034	6
	2,021	58	1,1662	7	0,8869	1
	1,649	10	1,1312	2	0,8613	1
	1,555	45	1,0796	4	0,8469	10
	1,429	58	1,0518	12	0,8247	20
MgO·B ₂ O ₃	7,7	12	2,18	24	1,50	8
	6,1	16	2,07	32	1,445	8
	5,3	8	1,99	40	1,412	8
	4,29	24	1,99	8	1,375	8
	3,57	12	1,86	12	1,262	16
	3,18	12	1,77	8	1,151	8
	3,07	80	1,71	8	-	-
	2,82	100	1,63	12	-	-
MgCa(CO ₃) ₂	3,71	2	1,85	2	1,337	2
	2,89	100	1,80	40	1,300	1
	2,68	2	1,57	2	1,270	1
	2,55	2	1,55	10	1,237	2
	2,40	13	1,50	1	1,202	1
	2,19	40	1,468	6	1,172	1
	2,06	2	1,418	1	-	-
	2,02	20	1,389	8	-	-
MgO·Fe ₂ O ₃	4,82	50	1,28	20	0,876	20
	2,96	50	1,12	20	0,853	40
	2,52	100	1,09	40	0,820	10
	2,09	50	1,04	20	0,808	10
	1,71	30	0,983	10	0,762	5
	1,61	70	0,964	3	0,753	5
	1,48	90	0,933	10	-	-
	1,32	10	0,891	5	-	-

2 MgO·P ₂ O ₅	4,14	10	2,09	15	1,322	7
	3,85	4	1,85	10	1,250	5
	3,45	5	1,69	8	1,206	2
	3,00	100	1,62	7	1,155	1
	2,51	8	1,57	10	1,131	1
	2,40	5	1,51	1	1,073	1
	2,30	1	1,465	7	1,044	3
	2,15	2	1,380	6	1,002	2
Серпентин – 3MgO·2SiO ₂ · 2H ₂ O	7,38	10	1,789	6	1,304	8
	4,619	4	1,738	2	1,277	6
	3,661	10	1,655	2	1,164	4
	2,625	4	1,530	10	1,100	2
	2,487	10	1,500	8	1,074	2
	2,141	8	1,411	6	1,057	2
	1,966	4	-	-	-	-
Вермикулит – (Mg,Fe) ₃ [(Al, Si) ₄ O ₁₀]·(OH) ₂ · 4H ₂ O	11,38	Ку.	2,66	Ку.	1,40	Ж.кз.
	8,00	Ж.кз.	2,43	Ў.ку.	1,39	Ж.кз.
	5,91	Ж.кз.	2,19	Ў.	1,36	Ж.кз.
	4,88	Кз.	2,03	Ў.	1,34	Ку.
	4,54	Ў.	1,75	Кз.	1,31	Ў.
	3,45	Ку.	1,70	Ку.	1,28	Ў.
	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	Ў.	1,71	Ку.
	8,96	Ж.ку.	2,80	Ў.	1,59	Ў.ку.
	6,68	Ж.кз.	2,66	Ў.	1,55	Ку.
	6,09	Ж.кз.	2,54	Ку.	1,50	Кз.
	5,18	Ж.кз.	2,38	Кз.	1,42	Ж.кз.
	4,50	Ў.	2,25	Ў.	1,35	Ў.
	3,44	Ў.	2,16	Ў.	1,33	Ку.
	3,30	Ж.кз.	1,90	Ку.	1,31	Ку.
	3,18	Ж.ку.	1,75	Кз.	1,29	Кз.
	-	-	-	-	1,25	Кз.
Нонтронит – m[Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)· (OH) ₂]·p[Fe,Al] ₂ (Si 4O ₁₀)·(OH) ₂]·nH ₂ O	7,11	Ж.кз.	2,62	Ку.	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	Ку.
	4,52	Ку.	2,00	Ж.кз.	1,26	Ў.
	3,54	Ж.кз.	1,72	Ў.	-	-
	3,28	Ж.кз.	1,69	Ку.	-	-

Монотермит – $0,2RO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 1,5H_2O$ (+0,5H ₂ O)	9,60	Ж.кз.	3,15	Ж.кз.	1,53	Ў.ку.
	7,80	Ж.кз.	2,53	Ку.	1,48	Ку.
	6,70	Кз.	2,43	Ж.кз.	1,40	Ж.кз.
	5,60	Кз.	2,32	Ў.	1,36	Ку.
	4,35	Ў.	2,06	Ў.	1,33	Ж.кз.
	4,17	Ў.кз.	1,97	Ў.	1,29	Ў.
	3,78	Ж.кз.	1,79	Ў.ку.	1,19	Ў.
	3,43	Ў.	1,71	Ж.кз.	1,15	Ў.
	3,26	Ж.ку.	1,64	Ку.	-	-
Палигорскит – $MgAl_2[Si_4O_{11}] \cdot (OH)_2 \cdot 4H_2O \cdot nH_2O$	10,40	Ў.	3,80	Ж.кз.	1,69	Ку.
	7,70	Кз.	3,44	Кз.	1,58	Ў.кз.
	6,12	Кз.	3,23	Ў.ку.	1,52	Ку.
	5,50	Кз.	2,62	Ж.ку.	1,31	Ку.
	4,46	Ў.кз.	2,20	Ў.ку.	1,26	Ў.
	4,10	Ж.кз.	1,75	Ў.	-	-
Сепиолит – $Mg_3[Si_4O_{11}] \cdot nH_2O$	9,87	Ж.кз.	3,76	Ў.	2,25	Ж.кз.
	9,04	Кз.	3,31	Ку.	2,20	Ў.
	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	Ў.	2,30	Ж.кз.	1,27	Кз.
	4,12	Ў.	-	-	-	-
Антофиллит – $7MgO \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$	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
$Mg_4Nd_6Si_4P_2O_{26}$	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 – $Mg_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_8$	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, бишофит – $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	5,8	15	2,55	3	1,78
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 – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	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
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 2,31 -	100 8 -	1,650 1,550 -	31 8 -	1,289 1,145 1,112	13 8 5
CaO·Al ₂ O ₃	5,6 4,69 4,41 4,05 3,88 3,71 3,50 3,30	3 13 2 5 1 7 1 3	3,20 2,97 2,85 2,75 2,69 2,60 2,52 -	4 100 7 1 1 1 42 -	2,41 2,33 2,27 2,20 2,13 1,92 1,53 -	27 7 3 10 5 20 20 -
3CaO·Al ₂ O ₃	4,847 4,142 3,784 3,120 3,043 2,991 2,696 -	7 2 10 2 15 5,5 100 -	2,402 2,298 2,193 1,933 1,906 1,664 1,555 -	4 5,5 5 6 36,5 59 24 -	1,523 1,356 1,347 1,206 1,100 1,067 1,047 1,016	2,5 5 20 27 97 2 3,5 8
3CaO·5Al ₂ O ₃	4,46 3,50 3,31 3,09 2,96 2,87 2,73 2,60 2,51	40 100 7 40 27 33 40 100 20	2,44 2,31 2,18 2,05 2,00 1,44 1,90 1,85 1,80	47 13 20 40 20 13 20 13 33	1,76 1,68 1,62 1,52 1,53 1,478 1,455 1,370 1,337	33 13 40 13 67 13 27 27 13
5CaO·3Al ₂ O ₃	4,95 3,19 3,01 2,68 2,44 2,19 1,94 -	67 20 23 100 50 50 50 -	1,73 1,66 1,59 1,52 1,478 1,395 1,344 -	13 42 50 13 10 27 10 -	1,309 1,261 1,236 1,209 1,174 1,141 1,112 1,091	17 7 7 10 10 7 13 3
α -CaO·SiO ₂	5,7 3,42	5 15	1,83 1,69	8 3	1,293 1,250	3 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
$\alpha - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	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
$\beta - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	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
Фторапатит- $10\text{CaO} \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot$ 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 ₂ O 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 ₂ O 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
Ca ₂ Yb ₂ 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	-	-
Ca ₃ Yb ₂ 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 ₄ O 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 ₄ O 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 ₄ O 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
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
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
Монтichelлит – CaO·MgO·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 – CaO·MgO·2SiO 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 – $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot$ 2SiO_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
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
$\text{CaNdAl}_3\text{O}_7$	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	-	-	
CaYAl 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 – CaO·Al ₂ O ₃ · 2SiO 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
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 (Триклин)	4,08	3	2,097	3	1,410	2
	3,80	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	-	-
	Волластонит – β - CaO·SiO ₂	7,7	40	2,33	40	1,72
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 – $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$	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, кальциооливин- $\gamma - 2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$	5,66	Ў.кз.	1,754	Ў.кз.	1,185	Ж.кз.
	4,33	Ў.	1,685	Ў.кз.	1,161	Кз.
	4,05	Кз.	1,672	Ж.ж.кз.	1,138	Ў.кз.
	3,82	Ў.	1,631	Ў.	1,106	Ж.ж.кз.
	3,39	Кз.	1,618	Ж.ж.кз.	1,095	Кз.
	3,01	Ки.	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.ки.	1,527	Кз.	1,050	Ж.ж.кз.
	2,60	Кз.	1,501	Кз.	1,038	Ж.ж.кз.
	2,53	Кз.	1,471	Ў.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	Ў.кз.	0,933	Ж.кз.
	1,908	Ки.	1,233	Ж.кз.	0,921	Ж.кз.
	1,873	Ж.кз.	1,218	Ж.ж.кз.	0,808	Ж.ж.кз.
	1,805	Ў.ки.	1,207	Ж.ж.кз.	0,900	Ж.кз.
-	-	-	-	0,891	Кз.	
Сульфатли Спуррит – $2(2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2)\cdot$ 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 2,41	95 5	1,81 1,74	2 2	1,35 -	2 -
5SrO·Al ₂ O ₃	5,11 4,98 4,29 3,92 3,35 2,89 2,84 2,79	3 3 3 2 3 100 4 17	2,75 2,56 2,49 2,42 2,34 2,31 2,15 2,07	11 2 3 2 5 5 12 2	2,04 1,96 1,70 1,69 1,63 1,61 1,44 1,34	2 12 7 4 11 8 4 5
SrO·CeO ₂	5,29 2,99 2,38 2,26 2,11 1,795 -	3 100 3 8 33 7 -	1,740 1,718 1,668 1,537 1,501 1,457 -	3 22 2 17 7 2 -	1,383 1,245 1,166 1,153 1,128 1,086 1,020	2 10 5 5 12 5 7
SrO·TiO ₂	2,76 2,25 1,944	100 10 30	1,589 1,376 1,230	30 23 18	1,173 1,122 1,041	2 3 15
SrO·ZrO ₂	2,90 2,04 -	100 40 -	1,667 1,446 -	67 27 -	1,293 1,180 1,094	24 3 27
SrO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	6,44 5,77 4,55 4,11 3,75 3,58 3,47 3,43 3,27 3,22 2,97 2,89 2,74	34 11 16 8 38 21 21 68 100 100 46 26 35	2,55 2,47 2,40 2,34 2,31 2,22 2,19 2,16 2,10 2,06 2,04 1,965 1,929	65 5 9 9 9 11 12 8 7 11 11 3 3	1,916 1,895 1,872 1,846 1,834 1,794 1,784 1,744 1,657 1,621 1,564 1,505 1,491	3 11 7 7 7 11 19 7 6 9 10 7 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
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	22	1,912	9	1,198	6
	2,923	100	1,897	14	1,157	4
	2,614	37	1,858	10	0,9626	50
	2,489	19	1,800	30	0,9275	25
	2,354	9	1,761	6	-	-
	2,249	6	1,753	10	-	-

SrGdAl ₃ O ₇	5,13	23	2,438	15	1,779	36
	3,76	12	2,325	8	1,738	8
	3,50	13	2,238	18	1,537	15
	3,11	20	2,226	18	1,497	5
	2,889	100	2,068	40	1,394	8
	2,571	20	1,952	14	0,9508	50
	2,480	15	1,896	5	0,9132	25
	2,451	18	1,841	9	-	-
SrYAl ₃ O ₇	5,12	8	2,425	18	1,766	35
	3,75	20	2,417	18	1,724	10
	3,70	15	2,305	10	1,527	25
	3,49	8	2,269	5	1,487	7
	3,09	16	2,216	10	1,387	15
	2,871	100	2,052	37	1,373	2
	2,742	5	1,945	10	1,278	4
	2,555	25	1,882	7	0,9497	50
	2,453	18	1,831	10	0,9114	25
SrNdGa ₃ O ₇	3,87	14	2,128	10	1,581	22
	3,20	23	2,002	10	1,543	8
	2,961	100	1,945	5	1,430	18
	2,833	8	1,938	5	1,415	9
	2,642	33	1,888	10	1,335	6
	2,536	33	1,824	47	1,324	5
	2,524	30	1,791	5	0,9764	30
	2,393	3	1,778	6	0,9395	15
SrGd ₂ O ₄	3,01	68	2,34	17	1,716	28
	2,94	100	2,23	13	1,692	40
	2,88	73	2,08	45	1,681	30
	2,54	20	2,04	47	1,647	20
	2,37	12	1,728	42	1,603	15
SrSm ₂ O ₄	3,00	Ў.	2,345	Ж.ж.кз.	1,751	Ў.
	2,93	Ку.	2,231	Ж.ж.кз.	1,727	Ку.
	2,897	Ку.	2,078	Ку.	1,717	Ку.
	2,878	Кз.	2,041	Ў.ку.	1,696	Ў.
	2,791	Ж.ж.кз.	1,862	Ж.ж.кз.	1,681	Ў.ку.
	2,544	Ж.кз.	1,855	Ж.ж.кз.	1,651	Кз.
	2,378	Ж.ж.кз.	1,796	Ж.ж.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 O) ₂ · [CO ₃] ₄ · (OH) ₂	4,40	5	2,95	8	1,318	5
	3,79	10	2,35	6	1,207	5
	-	-	-	-	-	-
Лампрофиллит- 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
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
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
BaO·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
BaO·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 2,47	45 15	1,67 1,63	15 8	1,028 -	5 -
BaCrO ₄	4,50 4,00 3,54 3,19 2,90	11 27 40 83 33	1,97 1,91 1,80 1,71 1,66	1 17 10 33 11	1,380 1,350 1,325 1,288 1,250	7 3 3 13 4
	2,78 2,53 2,37 2,25 2,16	27 8 7 7 100	1,62 1,56 1,50 1,450 1,410	11 23 5 13 3	1,225 1,170 1,120 1,055 -	5 8 10 4 -
BaO·TiO ₂	4,03 3,99 2,830 2,314 -	12 25 100 46 -	2,019 1,997 1,802 1,790 -	12 37 6 8 -	1,786 1,642 1,634 1,419 1,412	7 15 35 12 10
BaO·Al ₂ O ₃	4,0468 3,1560 2,6084 2,5008 2,4539 2,2570 2,2421 2,9970 2,1829 2,0065 1,9724 1,9453	Кз. Ку. Ку. Кз. Ж.кз. Кз. Ў. Ў. Ж.кз. Ў. Ў. Кз.	1,6768 1,6731 1,6386 1,5890 1,5719 1,5042 1,4728 1,4624 1,4218 1,3909 1,3841 1,3451	Ў. Ў. Кз. Ку. Ў. Ў. Ж.кз. Ж.кз. Ж.кз. Ў. Кз. Ў.	1,3023 1,2748 1,2509 1,2485 1,2399 1,2383 1,2266 1,2224 1,2028 - - -	Ў. Ку. Ж.кз. Кз. Ку. Кз. Кз. Кз. Ку. - - -
BaO·CeO ₂	3,44 3,10 2,18 2,10	1 100 35 4	1,794 1,552 1,389 1,269	50 15 20 8	1,174 1,098 1,034 0,980	30 2 10 8
BaO·6Al ₂ O ₃	4,74 4,44 4,09 3,68 3,32 3,09	57 59 11 27 27 12	3,02 2,79 2,70 2,51 2,42 2,30	15 85 84 100 15 20	2,23 2,13 2,04 1,992 1,760 -	25 67 45 11 15 -
3BaO·Al ₂ O ₃	4,12 3,78	34 10	2,47 2,38	5 23	2,15 2,06	7 25

	3,06	9	2,31	6	1,944	4
	2,91	100	2,20	5	1,841	12
Паст ҳароратли форма – $BaO \cdot SiO_2$	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	Ж.ку.	1,270	Ж.ж.кз.	0,943	Ж.ж.кз.
	1,980	Ку.	1,238	Ку.	0,916	Ў.
	2,854	Кз.	1,209	Кз.	0,902	Ж.ж.кз.
	-	-	-	-	0,890	Ж.ж.кз.
Юқори ҳароратли форма – $BaO \cdot SiO_2$	3,637	Ў.	2,205	Ў.	1,598	Кз.
	3,354	Ку.	2,070	Ў.	1,561	Кз.
	3,070	Ў.	2,017	Ў.	1,524	Кз.
	2,789	Кз.	1,883	Ку.	1,501	Кз.
	2,660	Кз.	1,836	Кз.	1,463	Кз.
	2,326	Ў.	1,747	Ж.ж.кз.	1,421	Ж.ж.кз.
	2,280	Ў.	1,687	Кз.	-	-
Юқори ҳароратли форма – $BaO \cdot 2SiO_2$	6,66	50	3,39	14	2,77	34
	5,49	12	3,34	29	2,74	65
	4,66	16	3,30	44	2,58	17
	4,09	16	3,23	63	2,34	11
	3,95	100	3,17	33	2,32	20
	3,86	20	3,13	60	2,24	42
	3,84	39	3,11	85	2,20	63
	3,75	38	3,07	47	2,19	81
	3,51	45	2,83	27	2,15	25
		-	-	-	-	2,11
Паст ҳароратли форма – $BaO \cdot 2SiO_2$	6,75	25	3,22	50	2,22	36
	5,05	23	3,09	92	2,16	36
	3,95	100	2,77	34	2,12	41
	3,80	41	2,72	50	2,02	25
	3,71	32	2,70	43	1,986	15
	3,41	66	2,56	14	1,916	14
	3,33	73	2,39	10	1,901	15
	3,26	44	2,32	13	-	-
$2BaO \cdot SiO_2$	4,16	21	2,91	100	2,11	24
	3,39	64	2,88	62	2,09	32
	3,12	26	2,41	39	2,01	11
	3,08	24	2,38	34	1,963	17

	3,00	93	2,23	25	1,895	20
2BaO·3SiO ₂	4,38	6	3,10	31	2,22	19
	3,87	12	2,77	37	2,20	13
	3,75	100	2,75	34	2,13	37
	3,66	56	2,38	6	2,07	14
	3,27	52	2,34	27	2,03	7
	3,24	48	2,26	25	1,973	13
	-	-	-	-	1,911	13
5BaO·8SiO ₂	6,85	11	3,099	38	2,224	27
	5,99	13	2,852	11	2,195	18
	4,287	31	2,820	22	2,173	31
	3,795	78	2,778	78	2,141	13
	3,735	89	2,761	40	2,071	18
	3,264	100	2,345	18	1,984	22
	3,209	56	2,265	27	1,906	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	3	1,855	10	1,278	6
	2,861	84	1,650	24	1,233	9
	2,438	100	1,556	40	1,219	1
	2,335	1	1,429	43	1,1670	1
	2,021	8	1,367	1	1,1322	1
ZnO·B ₂ O ₃	5,29	6	1,997	20	1,526	25
	3,74	3	1,869	13	1,466	5
	3,048	100	1,761	38	1,364	8
	2,364	23	1,672	2	1,321	4
	2,158	1	1,594	3	1,282	3
ZnO·Cr ₂ O ₃	2,92	48	1,597	50	1,110	7
	2,50	100	1,465	60	1,082	12
	2,40	3	1,312	5	1,037	4
	2,07	10	1,266	8	-	-
	1,692	25	1,199	1	-	-
Кадмий – Cd	2,80	40	1,400	3	1,060	5
	2,58	30	1,310	27	1,020	4
	2,34	100	1,286	2	0,959	10
	1,89	20	1,252	20	0,921	2
	1,51	25	1,228	2	0,863	4
	1,486	18	1,170	3	0,821	2

CdO	2,712	100	1,355	13	0,9584	11
	2,349	88	1,1742	5	0,9036	9
	1,661	43	1,0772	9	0,8300	5
	1,416	28	1,0499	13	-	-
CdCO ₃	3,77	80	1,50	17	1,142	8
	2,94	100	1,470	5	1,120	8
	2,46	50	1,419	15	1,022	8
	2,23	3	1,355	5	0,976	7
	2,06	45	1,295	5	0,942	7
	1,88	33	1,260	17	0,880	7
	1,83	80	1,230	5	-	-
	1,58	40	1,190	8	-	-
Cd (OH) ₂	4,70	100	1,51	13	1,110	13
	3,02	63	1,440	20	1,090	3
	2,55	100	1,400	20	1,028	10
	1,86	40	1,271	15	1,005	3
	1,74	30	1,165	7	0,980	4
	1,63	30	1,139	8	0,925	5
CdSO ₄	4,93	50	2,30	22	1,630	24
	3,74	14	2,11	8	1,559	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
Симоб - 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	67	1,89	11	1,384	11
	2,94	89	1,86	17	1,346	11
H ₃ BO ₃	5,9	28	2,55	2	2,02	3
	3,16	100	2,49	2	1,68	3
	2,90	3	2,23	13	1,63	2
	2,81	2	2,16	3	1,58	3
	2,62	6	2,08	6	-	-

B(OH) ₃	7,66	2	2,94	3	2,101	4
	6,84	4	2,846	3	1,982	1
	6,07	7	2,631	3	1,902	4
	4,59	1	2,561	1	1,868	1
	4,24	2	2,490	3	1,825	2
	4,035	1	2,433	2	1,783	3
	3,858	5	2,367	2	1,753	3
	3,382	2	2,297	4	1,724	3
	3,178	10	2,238	5	1,693	4
	3,099	1	2,175	1	1,647	3
BPO ₄	3,62	100	1,534	4	1,185	5
	3,07	7	1,460	17	1,093	4
	2,25	53	1,375	3	1,059	3
	1,965	3	1,319	9	1,039	4
	1,865	17	1,269	5	-	-
	1,817	7	1,211	4	-	-
Сингалит – BMgAlO ₄	4,93	7	2,30	7	1,534	4
	3,97	5	2,14	10	1,514	4
	3,73	2	1,93	2	1,420	7
	3,43	1	1,868	2	1,384	2
	3,24	9	1,801	1	1,360	1
	2,82	1	1,764	1	1,340	4
	2,62	9	1,705	4	1,320	1
	2,46	2	1,621	10	-	-
	2,38	7	1,576	1	-	-
Майергофферит – B ₆ Ca ₂ O ₁₁ · 7H ₂ O	8,39	100	3,65	18	3,09	18
	6,51	100	3,50	12	2,974	18
	5,03	50	3,30	35	2,900	1
	4,17	8	3,17	100	2,641	18
B ₄ C	4,00	5	1,81	3	1,320	5
	3,79	15	1,69	3	1,260	3
	3,39	100	1,54	3	1,230	5
	2,57	23	1,50	3	1,158	5
	2,38	38	1,450	5	-	-
	2,03	38	1,400	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 температурали γ - Al ₂ O ₃	2,86	6	1,988	50	1,440
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 температурали 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	-	-

Гидраргиллит (гиббсит)- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	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
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-диаспор- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	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
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 1,646	3 7	1,306 1,248	10 2	1,113 1,026	3 2
$\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$	3,52 2,98	100 7	2,77 2,11	7 10	1,76 1,58	13 10
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	7,0 6,8 6,3 5,7 5,3 4,90 4,50 4,05 3,78	20 30 50 63 5 30 40 100 40	3,60 3,43 3,25 3,10 3,01 2,90 2,77 2,59 2,52	50 10 50 10 75 20 10 63 40	2,36 2,30 2,25 2,18 2,12 2,07 2,03 2,95 1,88	75 10 10 25 5 10 20 20 25
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	5,396 3,423 3,368 2,893 2,687 2,546 2,284 2,204	33 100 100 5 50 83 17 100	2,112 1,869 1,833 1,678 1,597 1,568 1,518 1,441	42 42 33 58 50 25 83 50	1,414 1,392 1,327 1,306 1,272 1,254 - -	8 33 50 8 50 33 - -
Муллит - $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	5,413 3,423 3,386 2,888 2,693 2,546 2,296	50 100 100 42 75 83 33	2,208 2,123 1,882 1,839 1,690 1,597 1,580	100 50 25 33 50 50 17	1,523 1,455 1,441 1,404 1,335 1,276 1,260	83 17 42 8 25 33 33
Каолин – Y-форма $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7,2 4,45 4,30 4,20 4,04 3,59	80 80 64 48 32 100	2,56 2,50 2,34 1,99 1,90 1,85 -	48 48 80 32 8 8 -	1,80 1,67 1,54 1,490 1,310 1,289 1,240	8 40 16 56 8 16 16

Диккит- 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- $(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2 \cdot$ $[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	6,30	Ж.кз.	3,06	Ў.	1,71	Ў.
	6,09	Ж.кз.	2,60	Ку.	1,67	Ў.
	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	Ў.	1,77	Кз.	-	-
Бейделлит- $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ $(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	9,09	Ж.кз.	3,53	Ку.	1,72	Ў. 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	Ў.	1,31	Ў. ку.
	4,45	Ку.	2,00	Ж.кз.	1,27	Ў.
Галлуазит (енделлит)- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	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	Ў.	1,65	Ку.
	4,15	Ж.кз.	2,39	Ў.	1,50	Ж.ку.
	3,98	Кз.	2,32	Ў.	1,47	Ж.кз
	3,50	Ў.	2,22	Ж.кз.	1,29	Ку.
	-	-	-	-	1,24	Ку.

Пирофиллит- $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	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	Ў.
	6,38	Ж.кз.	2,60	Ў. Ку.	1,55	Ку.
	5,89	Ж.кз.	2,43	Ў.	1,51	Ку.
	5,52	Ж.кз.	2,40	Ў.	1,44	Ў.
	4,58	Ку.	2,11	Кз.	1,40	Ку.
	4,08	Ж.кз.	2,09	Ў.	1,38	Ў.
	3,52	Кз.	2,00	Ку.	1,37	Ў.
	3,33	Ку.	1,98	Ж.кз.	1,35	Ў.
	3,19	Кз.	1,91	Ж.кз.	1,32	Ў.
	3,08	Ж.ку.	1,85	Ку.	-	-
	Галлий-Ga	3,831	28	1,2766	4	0,9706
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		9	0,9976	2	0,8179	6
1,404	8	0,9775	1	0,8080	3	
1,391	4	0,9735	5	-	-	
GaP	3,14	100	1,572	17	1,112	15
	2,72	15	1,362	13	1,049	8
	1,924	65	1,250	35	-	-
	1,641	50	1,218	3	-	-
Ga ₂ O ₃	3,630	26	1,565	9	1,1396	6
	2,651	100	1,466	33	1,1266	8
	2,491	80	1,438	30	1,0878	6
	2,238	4	1,325	4	1,0366	8
	2,177	16	1,282	11	1,0266	3
	2,052	3	1,245	9	0,9738	3
	1,814	36	1,209	4	0,9487	7
	1,665	45	1,1696	4	-	-

GaSb	3,520	100	1,363	3	0,9294	5
	3,048	11	1,244	20	0,9188	1
	2,156	67	1,1738	10	0,8796	2
	1,838	44	1,0776	5	0,8534	5
	1,759	3	1,0304	9	0,8452	1
	1,524	11	1,0158	1	0,8144	7
	1,399	17	0,9638	4	0,7936	7
Индий-In	2,72	100	1,395	30	1,025	2
	2,46	25	1,355	15	0,980	2
	2,29	40	1,144	2	0,948	6
	1,68	30	1,088	10	0,905	2
	1,62	15	1,055	2	0,888	2
	1,462	20	1,040	2	-	-
In ₂ O ₃	4,11	12	1,260	6	0,9144	5
	2,91	100	1,242	7	0,9003	6
	2,69	2	1,225	3	0,8931	2
	2,51	24	1,205	2	0,8792	3
	2,37	6	1,189	2	0,8725	3
	2,25	2	1,175	6	0,8666	2
	2,142	7	1,158	14	0,8602	2
	1,973	13	1,129	9	0,8538	6
	1,843	4	1,115	8	0,8410	2
	1,780	49	1,103	2	0,8418	3
	1,729	4	1,088	5	0,8361	5
	1,677	4	1,065	5	0,8306	2
	1,634	7	1,042	4	0,8251	2
	1,593	4	1,031	9	0,8196	4
	1,552	8	1,021	4	0,8141	3
	1,519	42	1,009	2	0,8038	4
	1,486	10	0,9899	7	0,7988	4
	1,456	10	0,9806	2	0,7939	2
	1,425	4	0,9720	8	0,7891	8

	1,398	3	0,9624	6	0,7844	2
	1,371	4	0,9457	8	0,7796	5
	1,350	2	0,9376	8	-	-
	1,281	6	0,9292	5	-	-
In Cl ₃	5,8	100	2,68	10	1,76	8
	5,3	13	2,55	48	1,63	11
	5,0	20	2,44	10	1,59	3
	4,50	24	2,32	24	1,51	3
	4,01	24	2,23	13	1,475	3
	3,82	6	2,10	3	1,445	6
	3,58	32	2,05	16	1,390	6
	3,41	10	2,00	13	1,328	6
	3,00	40	1,92	10	-	-
	2,84	32	1,84	24	-	-
Таллий-Тl	3,00	40	1,73	29	1,158	11
	2,75	23	1,56	29	1,105	17
	2,62	100	1,460	23	1,074	6
	2,02	23	1,445	17	0,962	6
Tl ₂ O ₃	4,304	11	1,710	5	1,279	2
	3,042	100	1,668	2	1,2597	2
	2,816	3	1,628	4	1,2428	1
	2,635	42	1,589	27	1,2261	3
	2,484	6	1,554	6	1,2094	6
	2,357	2	1,522	6	1,1789	2
	2,248	4	1,491	3	1,1646	1
	2,149	1	1,462	1	1,1371	2
	2,068	8	1,434	3	1,1110	1
	1,924	3	1,409	2	1,0874	1
	1,863	33	1,339	3	1,0764	2
	1,808	2	1,318	3	1,0649	1
	1,758	1	1,298	4	-	-

TiNO ₃	5,60	4	2,495	5	1,951	10
	4,88	2	2,474	24	1,939	2
	4,40	68	2,442	29	1,928	14
	4,01	31	2,426	6	1,835	4
	3,259	5	2,293	1	1,824	14
	3,145	28	2,199	17	1,778	9
	3,080	34	2,118	3	1,754	13
	3,048	10	2,066	2	1,745	1
	2,962	100	2,004	9	1,691	6
	2,612	3	1,984	8	1,688	7
	Ti ₂ SO ₄	5,32	6	2,78	10	1,966
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
	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 · Nd 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 ₂ O 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 ₂ O 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	-	-
Y(NO ₃) ₃ ·6H ₂ 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
2Y ₂ O ₃ ·Al ₂ 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	-	-
Y ₂ O ₃ ·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
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	-	-
$Ce_2Si_2O_7$	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	-	-
$CeO_{1,6} \cdot 2TiO_2$	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
$Ce_2Ti_3O_{8,7}$	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	-	-
Nd ₂ (SO ₄) ₃ · 5H ₂ O	7,66	100	4,19	10	3,18	10
	6,88	20	4,05	5	3,16	50
	5,14	30	4,02	15	3,10	25
	5,01	15	3,74	5	3,07	5
	4,76	5	3,46	10	2,95	10
	4,56	10	3,38	20	2,83	15
	4,42	15	3,24	40	-	-
NdAlO ₃	3,74	40	1,66	33	1,25	48
	2,64	100	1,53	61	1,09	5
	2,15	43	1,33	23	-	-
	1,86	55	1,32	25	-	-
Nd(OH) ₃	7,89	60	2,614	80	1,640	15
	3,93	100	2,084	30	1,582	15
	3,46	20	1,993	30	1,565	5
	3,38	55	1,906	5	1,553	5
	3,16	25	1,876	30	1,364	5
	2,970	70	1,774	10	1,303	5
NdCl ₃	6,08	20	1,73	30	1,248	6
	3,47	75	1,59	50	1,230	10
	2,85	75	1,56	15	1,202	1
	2,59	100	1,50	10	1,190	6
	2,25	4	1,453	6	1,124	4
	2,18	30	1,420	13	1,103	7
	2,00	50	1,390	1	1,080	8
	1,96	1	1,353	2	1,060	7
	1,92	7	1,313	7	1,050	7
	1,77	25	1,270	8	-	-
	Nd ₂ Ti ₃ O _{8,7}	3,900	10	1,728	10	1,168
3,488		10	1,578	65	1,118	10
2,733		100	1,368	30	1,072	5
2,240		25	1,289	5	1,034	35
1,931		50	1,220	25	-	-

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
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
	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
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
	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

Гадалиний (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
-		-	-	-	1,65	3
Gd ₂ O ₃ ·Fe ₂ O 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 ₂ O 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 ₂ O ₃ · Al ₂ O 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 ₂ O ₃ · 5Al ₂ O 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
9,4		1	5,06	10	3,42	10
8,4		5	4,59	5	-	-
6,23		2	4,09	9	-	-
[C ₂ O ₄]Ca·H ₂ O	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 – тридимит- 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
Юкори температурали кristобалит- 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
Паст тем- пературали β – кристо- балит- SiO ₂	4,04	100	1,692	3	1,345	1
	3,138	12	1,642	1	1,336	1
	2,845	14	1,612	5	1,301	2
	2,489	18	1,604	2	1,282	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
Китит- SiO ₂	7,46	10	2,516	5	1,667	5
	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	Ў.	1,228	Ў.
	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	Ў.	0,888	Ў.
	2,563	Ку.	1,509	Ж.кз.	0,874	Кз.
	2,456	Ў.	1,473	Ў.	0,868	Ў.
	2,299	Ж. ку.	1,434	Ў.	0,857	Ж.кз.
	2,039	Ў.	1,386	Кз.	0,854	Ў.
	1,953	Кз.	1,303	Ў.	0,850	Кз.
1,841	Ў.	1,259	Кз.	0,843	Ў.	
Германий –Ge	3,266	100	1,298	10	0,956	11
	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	-	-
GeI 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 ₃ Bi ₄ O ₁₂	4,24	Ў.	1,798	Ў.	1,431	Ў.
	3,26	Ку.	1,704	Ў.	1,404	Ў.
	2,76	Ку.	1,661	Ў.	1,335	Ў.
	2,59	Ў.	1,619	Ў.	1,296	Ў.
	2,12	Ў.	1,548	Ў.	1,258	Кз.
	2,04	Ў.	1,514	Кз.	-	-
	1,915	Кз.	1,486	Ў.	-	-

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
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	-	-
Калай – 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	0,8450	12
В - 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
2,64		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	-	-
Қўрғошин – Pb	2,85	100	1,490	50	1,105	17
	2,47	50	1,428	17	-	-
	1,74	50	1,134	17	-	-
PbO (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

РbO (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
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
	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
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 ₅ [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] (ОН)	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-Ті	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- $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$	2,96 2,83	10 3	2,53 1,817	2 3	1,752 -	3 -
Чевкинит- $\text{Ce}_4(\text{Fe},\text{Ti})_3[\text{TiO}_4]_2 \cdot$ $[\text{Si}_2\text{O}_7]_2$	3,156 2,850	8 7	2,702 2,600	10 5	2,163 1,960	8 8
Эвксенит- $\text{Y}(\text{Nb},\text{Ta},\text{Ti})_2 \cdot$ $(\text{O},\text{OH})_6$	3,66 2,98	5 10	2,43 1,823	4 5	1,723 1,487	5 5
Цирконий – Zr	2,798 2,573 2,459 1,894 1,616 1,463 1,399 1,368 1,350	33 32 100 17 17 18 3 18 12	1,287 1,2296 1,1689 1,0842 1,0588 1,0360 1,0063 0,9783 0,9660	4 4 3 4 2 6 3 2 4	0,9474 0,9327 0,9003 0,8771 0,8577 0,8292 0,8201 - -	2 3 5 3 1 2 2 - -
ZrO_2	5,1 3,69 3,19 2,85 2,63 2,55 2,34 2,21 2,01 1,85	5 24 100 80 32 16 8 24 16 32	1,81 1,70 1,66 1,62 1,59 1,55 1,51 1,486 1,426 1,363	40 20 24 5 6 24 8 16 16 5	1,330 1,307 1,270 1,219 1,167 1,113 1,036 1,001 - -	8 3 12 5 6 6 4 6 - -
$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	4,434 3,302 2,650 2,518 2,336 2,217 2,066 1,908 1,751 1,712	45 100 7 45 10 8 20 14 11 40	1,651 1,547 1,495 1,477 1,381 1,362 1,290 1,259 1,248 1,1883	14 4 3 8 10 7 5 8 3 11	1,1672 1,1079 1,1006 1,0682 1,0590 1,0506 1,0442 1,0015 0,9745 0,9713	2 5 5 1 7 7 5 1 5 5

Zr(NO ₃) ₄ ·5H ₂ O	9,6	100	2,56	18	1,70	5
	6,9	100	2,43	15	1,64	10
	6,1	5	2,33	15	1,59	3
	5,2	10	2,17	15	1,55	5
	4,73	50	2,13	15	1,51	3
	4,21	18	2,07	13	1,476	3
	3,64	20	1,98	13	1,390	3
	3,49	15	1,91	8	1,360	5
	3,25	38	1,81	10	1,295	3
	3,03	10	1,74	8	1,228	3
Гафний – Hf	2,768	27	1,336	12	0,9671	2
	2,531	34	1,256	4	0,9502	5
	2,428	100	1,214	3	0,9336	3
	1,866	16	1,1303	3	0,8891	5
	1,599	14	1,0697	4	0,8668	4
	1,440	16	1,0464	1	0,8428	1
	1,385	2	1,0247	6	0,8168	2
	1,351	16	0,9917	5	0,8060	3
HfO ₂	5,07	20	1,684	50	1,237	10
	3,68	40	1,653	60	1,203	30
	3,61	30	1,634	40	1,172	10
	3,15	100	1,600	40	1,160	10
	2,82	100	1,580	30	1,153	10
	2,59	60	1,533	50	1,143	10
	2,52	50	1,501	40	1,134	10
	2,48	20	1,486	40	1,121	10
	2,32	50	1,467	50	1,108	10
	2,196	60	1,439	30	1,099	10
	2,171	30	1,410	50	1,084	10
	2,006	30	1,352	20	1,070	10
	1,981	40	1,318	40	1,049	10
	1,838	60	1,299	10	1,039	10
	1,807	60	1,295	30	1,025	10
	1,794	20	1,263	10	-	-
	1,768	30	1,256	20	-	-

HfOCl ₂ · 8H ₂ O	12,1	100	3,676	14	2,712	2
	8,51	20	3,512	2	2,636	2
	7,03	65	3,418	18	2,556	4
	6,03	10	3,444	2	2,542	8
	5,39	8	3,168	12	2,517	2
	4,74	2	3,120	30	2,447	4
	4,57	2	3,068	2	2,412	2
	4,42	6	3,017	18	2,375	4
	4,27	2	2,926	6	2,340	4
	4,138	6	2,842	6	2,325	4
	4,027	50	2,806	4	2,289	2
	3,855	12	2,781	2	2,259	10
	3,818	12	2,736	8	2,242	6
	NH ₄ F	3,85	100	2,02	40	1,340
3,59		60	1,88	16	1,270	2
3,39		60	1,490	4	1,240	4
2,62		20	1,450	2	-	-
2,22		60	1,420	2	-	-
NH ₄ Cl	3,85	15	1,57	25	1,115	1
	2,72	100	1,370	5	1,033	4
	2,22	2	1,288	3	0,912	1
	1,92	12	1,221	7	0,864	1
	1,72	8	1,165	1	-	-
NH ₄ NO ₃	4,93	40	2,25	75	1,57	10
	3,95	50	2,10	5	1,51	10
	3,09	100	1,97	5	1,495	10
	2,86	5	1,83	5	1,463	15
	2,72	75	1,78	6	1,430	5
	2,47	13	1,73	5	-	-
	2,38	10	1,63	9	-	-
(NH ₄)HSO ₄	4,75	100	2,43	27	1,87	7
	3,90	83	2,35	7	1,80	20
	3,69	100	2,24	13	1,66	13
	3,15	40	2,18	13	1,62	13
	3,06	40	2,11	20	1,58	7
	2,84	40	2,01	7	1,493	27
	2,61	100	1,95	27	-	-

(NH ₄) ₃ AlF ₆	4,85	100	1,717	1	1,166	4
	4,20	66	1,614	83	1,123	17
	2,969	50	1,485	50	1,093	17
	2,535	25	1,420	33	0,991	3
	2,423	83	1,329	17	0,970	8
	2,100	100	1,269	1	0,940	3
	1,928	2	1,213	2	0,895	3
	1,879	3	1,189	33	-	-
	(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	6,6	58	2,48	30	1,82
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-красный	4,22	100	3,24	60	2,32	30
	3,64	60	2,59	60	-	-
Фосфор- Р-чёрный	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
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
Мишъяк - 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
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	-	-
Cypma - 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	-	
	Sb ₂ (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 ₂ O 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	-	-
	Bi ₂ O ₃ ·P ₂ O ₅	4,68	40	2,60	20	1,81
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	-	-
Bi ₂ O ₄ ·2H ₂ O		3,73	17	2,74	33	1,75
	3,20	17	2,14	17	1,62	33
	2,95	100	1,93	17	-	-
BiO ₂ ·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	-	-
Bi ₂ (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
1,51		7	0,958	3	0,759	1
1,236		20	0,875	1	0,714	1

V ₂ O 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 ₂ O ₅	5,7	33	2,76	13	1,92
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 ₅	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	-	-

Ниобий – 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 – Ta	2,33 1,65	100 20	1,346 1,165	30 5	1,042 0,881	5 5
Ta ₂ O ₅	6,2 5,7 4,48 3,96 3,49 3,23 3,05 2,95	3 17 3 100 27 23 33 13	2,81 2,61 2,45 2,29 2,15 1,98 1,87 1,77	58 23 3 3 3 42 17 50	1,71 1,66 1,62 1,52 1,470 1,400 1,360 1,322	7 10 27 3 5 5 5 13
TaO _x	2,374 2,327 1,678 1,626 1,364	50 100 50 30 60	1,399 1,184 1,170 1,058 1,035	40 10 30 30 30	0,962 0,892 0,881 - -	30 30 30 - -
TaO _x	2,411 2,287 1,795 1,627 1,594	100 50 40 40 40	1,415 1,334 1,190 1,143 1,125	40 60 30 20 20	1,014 0,966 0,923 0,896 0,866	30 30 30 30 30
TaO ₂	4,719 2,722 2,521 2,352 2,229 2,112 2,012	60 100 10 60 30 30 20	1,927 1,669 1,572 1,491 1,458 1,423 1,396	50 70 40 10 30 40 20	1,309 1,285 1,261 1,146 1,114 1,084 -	30 20 20 30 50 30 -

(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	-	-
Xром-Cr	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
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
	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- Mo	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	-	-
Вольфрам – 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
2,22		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
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 ₃ O ₄	4,85	6	1,326	6	0,940
2,97		28	1,279	20	0,880	10
2,53		100	1,210	5	0,859	20
2,42		11	1,121	10	0,853	8
2,10		32	1,092	32	0,825	2
1,71		16	1,049	10	0,814	10
1,61		64	0,970	16	0,809	5
1,483		80	0,966	8	-	-
Магнетит- Fe Fe ₂ O ₄		4,21	1	1,710	5	1,264
	2,99	6	1,612	9	1,174	1
	2,541	10	1,479	9	1,119	4
	1,428	3	1,325	3	1,091	8
	2,098	7	1,277	5	1,047	6
FeSO ₄	4,78	24	1,99	20	1,420	2
	3,58	13	1,83	16	1,361	5
	3,25	100	1,78	2	1,281	13
	2,56	13	1,70	3	1,251	2
	2,40	2	1,63	20	1,200	8
	2,28	13	1,59	20	1,140	3
	2,23	10	1,55	10	1,110	2
	2,05	11	1,440	6	1,014	2
	-	-	-	-	1,000	3
3FeO·Al ₂ O ₃ · 3SiO ₂	2,61	100	1,17	60	1,06	55
	1,84	80	-	-	-	-
Кобальт – α – Co	2,182	80	1,064	60	0,752	10
	1,920	100	1,045	30	0,738	10
	1,490	20	0,953	10	0,717	10
	1,250	70	0,839	20	-	-
	1,145	30	0,788	20	-	-
β – Co	2,04	100	1,021	5	0,723	3
	1,77	44	0,886	3	0,682	3
	1,253	22	0,813	3	-	-
	1,066	22	0,792	3	-	-

CoO	2,45	67	1,227	40	0,869	20
	2,12	100	1,060	10	0,819	7
	1,50	100	0,975	10	-	-
	1,281	40	0,951	30	-	-
Co(OH) ₂	4,40	100	1,50	8	1,196	1
	2,44	23	1,425	40	1,162	4
	2,31	83	1,367	27	1,120	4
	1,80	40	1,215	5	-	-
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
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 1,782 1,760 1,702	6 2 8 5	1,415 1,376 1,314 1,297	3 1 2 4	1,100 0,991 - -	5 5 - -
Кислород – O ₂	3,17 3,04 2,92 2,75	Кз. Ў. Кз. Ки.	2,58 1,91 1,72 1,65	Ки. Ў. Кз. Кз.	1,60 1,46 1,36 -	Ки. Кз. Ў. -
Муз – I – H ₂ O	3,92 3,67 3,44 2,68	10 100 20 15	2,26 2,065 1,920 1,516	10 50 10 15	1,368 1,300 1,250 1,167	2 3 3 5
Муз – II – H ₂ O	3,8 3,0 2,7 2,19 2,10 1,94	9 10 8 9 9 6	1,85 1,74 1,70 1,59 1,46 1,43	6 6 6 6 6 6	1,34 1,29 1,26 1,18 1,14 -	6 8 6 4 6 -
Муз – III – H ₂ O	3,60 3,39 2,90 2,66 2,55 2,28 2,10 2,07	10 8 8 6 8 6 8 8	1,92 1,86 1,79 1,68 1,62 1,58 1,53 1,48	8 6 6 7 4 6 5 6	1,46 1,43 1,38 1,36 1,32 1,28 1,23 1,20	6 6 4 7 4 6 6 6

Такрорлаш учун саволлар.

- 1.Рентген нури қачон ва ким томонидан кашф этишлган?
- 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 усулла-рини санаб беринг.

6. Фотоусул ишлари учун мўлжалланган қандай рентгеноструктура тахлили аппаратларини биласиз?

7. Нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппаратларини номи ва маркасини келтиринг.

8. Рентген аппаратларининг асосий қисмлари номлари ва тузилиши ҳақида маълумотлар беринг.

9. Рентген трубкаси рентгенографик аппаратларда қандай ролни бажаради, улар конструктив қандай деталлардан ташкил топган?

10. Кенотрон, чўғланиш реостати, юқори кольтли трансформатор каби рентген аппарати қисмларининг тузилиши ва вазифалари ҳақида маълумотларни келтиринг.

11. РКД-57 камерасининг тузилиши ва асосий қисмлари ҳақида фикрингиз-ни билдиринг.

12. УРС-50И ионизацион рентген қурилмасининг принципиал блок-схемасини келтиринг.

13. Рентгенографик тахлилдан фойдаланиш имкониятлари қандай?

14. Рентгенографик тахлил афзалликларини санаб беринг.

15. Рентгенографик усул камчиликлардан холими?

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Schaumburg H. (Hrsg.). Keramik. – Stuttgart, B.G.Teubner, 1994. – 654p.
2. Вегман Е.Ф., Руфанов Ю.Г., Федорченко И.Н. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография. – М.: Металлургия, 1990.– 262 с.

3. Минералогическая энциклопедия. – Л.: Недра, 1985.-512с.
4. Минералогический справочник технолога – обогатителя. –Л.: Недра, 1985.-264с.
5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – М.: Металлургия, 1982.-632с.
6. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1981.-281 с.
7. Азимов Ш.Ю., Тожиев Ф.Х. Анорганик моддаларнинг физика - химиявий анализи. -Тошкент: Ўқитувчи, 1977.-132 б.
8. Фекличев В.Г. Диагностические спектры минералов.-М.:Недра, 1977.-228с.
9. Қўшмуродов О.Қ., Зоҳидов К.С. Элементлар геохимёси.-Тошкент: ТДТУ, 1996.-72 бет.
10. Драго Р. Физические методы в неорганической химии.-М.: Мир, 1967.
11. Справочник по электротехническим материалам / Под. ред. Кориско-го Ю.М., Пасынкова В.В., Тареева Б.М. в 3-х томах. –М.: Энергоатомиздат, 1986 т. 1; 1987 т.2: 1988 т.3
12. Таблица физических величин. Справочник / Под. ред. И.К.Кикоина.- М.: Атомиздат, 1976.-106 с.
13. Козлова О.Г. Морфолого – генетический анализ кристаллов. – М.: МГУ, 1991. – 223 с.
14. Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. – М.: Мир, 1967.-526 с.
15. Ҳамробоев И.Ҳ, Ражабов Ф.Ш. Петрография асослари. -Тошкент: Ўқитувчи, 1984.-184 б.
16. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры силикатов. - М.: МГУ, 1967.-189с.
17. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. – Л.: Наука, 1968.-347 с.
18. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры минералов. - М.: МГУ, 1977.-174с.
19. Зинюк Р.Ю., Балыков А.Г., Гавриленко И.В. ИК спектроскопия в неорганической технологии. –Л.: Химия, 1983.
20. Егунов В.П. Введение в термический анализ.- Самара, Самара ГУ, 1996. -270 с.
21. Берг Л.Г. Введение в термографию. -М.: АН СССР, 1961

22. Берг Л.Г., Бурмистров Н.П., Озерова М.И., Цуриков Г.Г. Практическое руководство по термографии. -Казан: КазанГУ, 1967
23. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Физматгиз, 1961.-863 с.
24. Михеев В.И., Сальдау Э.П. Рентгенофизический определитель минералов [Т.II]. – Л.: Недра, 1965.-364с.
25. Васильев Е.К., Кашаева Г.М., Ушаповская З.Ф. Рентгенографический определитель минералов. –М.: Наука, 1974.
26. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. –М.: МГУ, 1976.
27. Славин В. Атомно-абсорбционная спектрометрия.- М.: Химия, 1971.
28. Липовский В.Н., Берёзкин В.Т. Автоматические газовые потоковые хроматографы. –М.: Химия, 1982.
29. Исматов А.А., Сиражиддинов Н.А. Свойства и изоморфизм мелилитов. -Ташкент: ФАН, 1983.-152с.
30. Исматов А.А., Юнусов М.Ю., Максудов Д.И. Полевошпатовое сырье Средней Азии для производства фарфора.-М.: Легпромбытиздат, 1988.-136с.
31. Азимов Ш.Ю., Исматов А.А., Федоров Н.Ф. Апатиты их редкоземельные аналоги.- Ташкент: ФАН, 1990.-116 с.
32. Леонов А.И. Высокотемпературная химия кислородных соединений церия. – Л.: Наука, 1969.-201с.
33. Алексеев А.Г., Варгин В.В. Катализируемая регулируемая кристаллизация стекол литиевоалюмосиликатной системы.-М.-Л.: Химия, 1964.-120с.
34. Исматов А.А. Синтез и физико-химическое исследование некоторых классов неорганических соединений. – Дисс. на соис. уч. ст. доктора химических наук.- Л.: ЛТИ, 1972. – 347с.
35. Исматов А.А., Шерназарова М.Т., Якубов Т.Н. Стеновая керамика с использованием палеоглин и лессовых пород. – Ташкент: ФАН, 1993. – 118с.
36. 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.

МУНДАРИЖА

Бет

СЎЗ	3
БОШИ	
...	
КИРИШ	5
.....	
БИРИНЧИ БОБ. ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАХЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ.	
1-§.Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривожлантиришда жа-ҳон,Марказий Осиё ва Ўзбекистон олимларинини ҳиссаси.....	8
2-§.Физик-кимёвий таҳлил таърифи	9
.....	
3-§.Фанда қўлланиладиган асосий тушунчалар.....	11
4-§.Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усуллари.....	13
5-§.Физик-кимёвий, термик ва бошқа таҳлил усуллари ёрда-мида аниқланадиган кўрсаткичлар.....	16
Такрорлаш учун саволлар.....	17
ИККИНЧИ БОБ. МИКРОСКОПИК ТАХЛИЛ.	
6-§. Микроскопик текшириш усули аҳамияти ва ривожини.....	18
7-§. Кристаллооптика	20
усули.....	
8-§.Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар.....	22
9-§.Усулдан фойдаланишини	26

имкониятлари.....			
10-§.Усулнинг	афзаллиги	ва	27
камчиликлари.....			
11-§.Микроскопия		усули	28
аппаратлари.....			
12-§.Микроскоплар		учун	34
мосламалар.....			
13-§.Препаратларни		тайёрлаш	36
усуллари.....			
14-§.Микрофотография			39
намуналари.....			
15-§.Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди-кремний оксиди тизимидаги фазаларнинг оптик характеристикалари.....			43
.....			
16-§. Диагностика мақсадларида фойдаланиладиган микрос-копик			47
курсатгичлар.....			
Такрорлаш учун саволлар.....			86
УЧИНЧИ БОБ. ИНФРАҚИЗИЛ СПЕКТРОСКОПИК ТАХЛИЛ.			
17-§.Инфрақизил		нурларини	87
табиати.....			
18-§.Моддаларнинг		инфрақизил	90
спектрлари.....			
19-§.Кальцит минералининг инфрақизил спектрлари			95
ҳақида...			
20-§.Тахлил			97

имкониятлари.....			
21-§.Усулнинг	афзаллиги	ва	104
камчиликлари.....			
22-§.Инфрақизил	спектроскопия	усули	105
апаратлари.....			
23-§.ИҚ	спектрометрларнинг	соддалаштирилган	107
схемаси.....			
24-§.Препаратларни		тайёрлаш	110
усули.....			
25-§.ИҚ	спектрларни	ёзиш	113
олиш.....			
26-§.Мухим	фазаларнинг	ИК	116
спектрлари.....			
27-§.Инфрақизил спектроскопик таҳлилга оид диагностик			
маълумотлар.....			120
Такрорлаш учун саволлар.....			127
ТҲРТИНЧИ БОБ. ТЕРМИК ТАХЛИЛ.			
28-§.Термография		усули	128
табиати.....			
29-§.Термик			121
анализ.....			
30-§.Дифференциал	термик	анализ	133
(ДТА).....			
31-§.Комплекс		термик	135
анализ.....			
32-§.Дериватографик			136
анализ.....			
33-§.Усулнинг			137

аппаратуралари.....	
34-	140
§.Дериватограф.....	
.....	
35-§.Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатометрия асбоб-	142
лари.....	
.....	
36-§.Препарат тайёрлаш усуллари.....	143
37-§.Усулнинг имкониятлари, афзаллиги ва камчиликлари.....	144
38-§. Кимёвий жараёнларда содир буладиган термин эффект-ларга оид маълумотлар	146
.....	
Такрорлаш учун саволлар.....	152
БЕШИНЧИ БОБ. РЕНТГЕНОГРАФИК ТАХЛИЛ.	
39-§.Рентген нурларинини хоссалари.....	153
40-§.Рентген нурларинини дифракцияси.....	155
41-§.Рентген нурларини олиниши.....	159
42-§.Кристалл панжара текисликларидан масофани ҳисоб- лаш.....	161
.....	
43-§.Текшириш усуллари.....	162

44-§.	Рентгенографик	усул	163
аппаратлари.....			
45-§.	Аппаратларнинг	асосий	167
қисмлари.....			
46-§.	Фотоусулнинг	рентген	173
камералари.....			
47-§.	Нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппа-		
ратлари.....			176
.....			
48-§.	Нурланиш	детекторларининг	қисқача
тавсифи.....			
49-§.	Фотоусул ишлари учун мўлжалланган аппаратларда		
рентгенограмма		олиқ	182
усуллари.....			
50-§.	Нурланишни ионизацион қайд этиш тахлили аппа-		
ратларида		дифрактограмма	олиқ
усуллари.....			190
51-§.	Рентгенографик тахлилдан фойдаланиш имконият-		
лари.....			192
.....			
52-§.	Рентгенографик	тахлил	194
афзаллиги.....			
53-§.	Усул		195
камчиликлари.....			
54-§.	Кимёвий модда ва бирикмаларга оид рентгенографик		
маълумотлар		197
Такрорлаш учун саволлар.....			287
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати			288

МУНДАРИЖА.....	290
----------------	-----

.....