

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

А. А. И С М А Т О В

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

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

ТОШКЕНТ–2006

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

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

"Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари" фани ўқув қўлланмаси В 522400 – «Кимёвий технология» йўналишида ўқитиладиган "Силикат ва зўргасуюлувчан 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», «Электрокимёвий ишлаб чиқариш ва коррозиядан сақлаш технологияси» соҳалари талабалари, илмий мугахассислар, магистрантлар, ишлаб чиқаришдаги муҳандис ва техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

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

© «Fan va texnologiya» нашриёти, 2006 й.

СЎЗ БОШИ

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

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

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

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

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

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

Ўқув қўлланма биринчи бор нашр қилинаётганлиги сабабли фойдаланувчиларнинг қуйидаги манзилга юборилган барча истак, фикр ва танқидий мулоҳазалари мамнуният билан қабул қилинади: 700011, Тошкент, Навоий 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 олишда қўлланиладиган жиҳозлар, юқори самарали технологик жараёнлар ва саноат тизимлари, уларни бошқариш; атрофмуҳит ҳолатини баҳолаш услублари ва воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ҳамда транспорт таъсиридан атрофмуҳитни ҳимоялаш.

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

Ў технологик фаолият: цех, бўлим, участка технологи сифатида ишлаш; кўп мақсадларга мўлжалланган керамика, шишасимон ва боғловчи моддалар ишлаб чиқариш соҳаси бўйича ҳаракатдаги ишлаб чиқаришда участкани, цехни эксплуатация қилиш; хом ашё, ёрдмчи 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;

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

- илмий фаолият: янги моддалар ва ашёлар синтези соҳаларида илмий-тадқиқотлар ўтказиш; керамика (нафис, қурилиш, функционал ва машинасозлик керамикаси, чинни, сопол, иссиқлик ҳимояловчи ва ўтга чидамли материаллар — шамот ва динас гиштлари, 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 ҳоказолар) ҳамда электрон техникаси буюмлари кимёвий технологиясининг янги жараёнларини ишлаб чиқиш; ишлаб чиқариш ускуналарини моделлаштириш ва оптималлаштириш, янги яратилган технологик жараённи синаш ва тажрибалар ўтказиш; ишлаётган ва олинган моддалар ва ашёларнинг хоссаларини аниқлаш ва таҳлил этиш; патент қидируви ишларини олиб бориш ва адабиётлар 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 | Ў Силикат ва зўргасуюлувчан материаллар кимёвий технологияси |
| М 522413 | Ў Керамик ва оловбардош буюмлар кимёвий технологияси |
| М 522414 | Ў Шиша ва ситаллар кимёвий технологияси |
| М 522415 | Ў Боғловчи материаллар кимёвий технологияси |
| М 522424 | Ў Электрон техника буюм ва материаллари кимёвий технологияси |

Юқорида санаб ўтилган касбий фаолият турларини амалга оширишда, саноат корхоналарида чиқарилаётган маҳсулотларнинг хоссаларини ўрганишда, 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 қўлланмада физик-кимёвий таҳлилининг микроскопия, рентгенография, инфрақизил спектроскопия, электрон микроскопия, термография ва бошқа усуллари ҳақидаги маълумотлар келтирилади. Усулларга оид маълумотлар беришда қуйидагиларга аҳамият берилган: усулларнинг кашф этилиш тарихи, уларнинг назарий асослари, ишлатиладиган асбобларнинг тузилиши ва ишлаш ҳолати, ҳисоблаш ҳамда усуллардан фойдаланишга асосланган мисоллар.

БИРИНЧИ БОБ

ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАҲЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

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

Кириш қисмида қайд қилганимиздек, кимёвий модда, кам-ёб, тарқоқ ва нодир металллар, силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар ва уларни ташкил қилган айрим хом ашёларнинг кимёвий-минералогик таркибини мукаммал ўрганиш ва уларнинг вужудга келишини физик-кимёвий қонунлар асосида талқин этиш физик-кимёвий таҳлил усуллари асосини ташкил қилади. Физик-кимёвий таҳлил усуллари 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. Фсдоров каби ўнлаб олимларнинг илмий изланишлари асос бўлди. Рентгенографик текшириш усулининг яратилишига немис физиги Рентген, инглиз физиклари ота-бола Бреглар, Лауэ, Шеррер каби олимлар асос солишди. Инфрақизил спектроскопия усули Брестер, Леон, Бер, Л.Н.Лазарев каби олимлар иши туфайли ривожланди. Термография усулининг ривож топишига Ле-Шателье, Де Кейзер, А.С. Курнаков, Л.Г. Берг каби жаҳон олимлари ҳисса қўшишди.

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

Х.Т.Шарилов, Б.И.Нудельман, А.А.Исмагов, С.С.Қосимова, М.Ю.Юнусов, А.П.Иркахонжаева, Д.Д.Фуломова, Р.И. Абдуллаева, А.М. Эминов, Д.У. Тўлаганов, М. Искандарова ва бошқалар физик-кимёвий таҳлил усулларининг қўлланиши ва ривожланишига оид кўплаб мақолалар чоп этишди ва асарлар яратишди.

2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3-§. Фанда қўлланиладиган асосий тушунчалар

Силикат моддалар, минераллар, хом ашёлар ва маҳсулотларни физик-кимёвий усулда таҳлил 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 қоидаларига қатъий риоя қилиш, асбоб ҳамда хоналарни нурлардан ҳимояловчи қошламалар билан жиҳозлаш, хона ҳавосини янгилаб туриш муҳим аҳамиятга эга.

Физик-кимёвий таҳлилнинг 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 мулоқот ва муносабатдир.

Нурлар (тебранишлар) ва уларнинг тўлқин узунликларига оид маълумотлар 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. Улардаги узун ва қисқа тўлқинли нурларни кўз билан кўриб бўлмайди.

1-жадвал

Электромагнит нурларининг тури ва уларга тааллуқли тўлқин узунликлари

Нур турлари	Тўлқин узунлиги	
	А	Мк
Радиотўлқинлар	$10^{13}-10^7$	10^9-1000
Инфракизил 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 қўлланиладиган асосий қоида - текшириладиган моддага йўналтирилган нурнинг ҳолати. 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 тааллуқли 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 анишлиф, кристалл формалари ва сингониялари каби тушунчалар кўп учрайди.

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

Термография усулида эндо-экзотермик эффектлар, дифференциал термик анализ, термогравиметрия, термограмма, дериватограмма, термик эффект каби тушунчалар асосида таҳлил олиб борилади. Эндоэффект ва экзо эффектлар 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 борилади.

4-§. Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усуллари

Кимёвий модда, камёб, нодир ва тарқоқ металллар, силикатлар, зўргасуюлувчан материаллар, тоғ жинслари ҳамда уларга ўхшаш сунъий маҳсулотлар жуда хилма-хил ва мураккаб. Шунинг учун уларнинг хусусиятлари ва таркиблари ҳам турлича-

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

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

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

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

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

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

13) спектрал анализ;

14) бошқа усуллар.

Биринчи - бешинчи усуллар энг кўп қўлланиладиган усуллар қаторига киради.

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

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

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

Термография усули моддаларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процесларни ўрганади. 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 чизиги абсцисса ўқидан пастга йўналтирилган, экзотермик реакциялар учун эса пол чизигига нисбатан юқорига қараб оingan бўлади. Шу жараёнларнинг бошланиш, максимал равишда ўтиш ва тугалланиш температуралари ўта аниқ аниқланади. Лекин бўлиб ўтган ўзгариш моҳиятини аниқлаш учун яна рентгенография, микроскопия каби усулларга мурожаат қилинади.

Кимёвий модда, камёб, тарқоқ ва нодир металл, силикат ва зўрғасуюлувчан моддалар таҳлилини ўтказишда инфрақизил спектроскопия усули ҳам кенг қўлланилади. Бу ўринда кимёвий бирикмалар инфрақизил спектрнинг баъзи частоталарида уларни танлаб ютиш хусусиятига эга эканлиги қўл келди. ИҚ спектрнинг кўриниши модда 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 метод-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Такрорлаш учун саволлар

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

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

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

4. «Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари» фанида қандай асосий қоила 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 λ 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 ривож

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

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

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

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

XVIII аср бошларига келиб микроскоп орқали кристаллар дунёсининг тузилиши ўргана бошланди, натижада Урта 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 минераллар тавсифи тасдиқ топди. Даниялик олим Эразма Бартолин 1669 й. ёруғлик нурини синдириш кўрсаткичи кристалларда иккита бўлиши мумкинлиги, француз муҳандиси Этьен Малюс 1808 й. нурнинг қутбланиши, англиялик физик Уильям Никол қутбланувчи призма, англиялик олим Дэвид Брюстер ўз номи билан аталувчи бурчакларга оид қонунни кашф этиб, микроскопия усули назарияси ва асбобларини тақомиллаштиришга салмоқли ҳисса қўшдилар.

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

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

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

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

Агар иккинчи муҳит сифатида ҳаво танланса, у ҳолда

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

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

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. ўрға -2-4 ва қуйи -5-7) сингонияга бўлинади:

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

Мисол: Алмаз - C. Сингонияси - куб, фазавий группаси - $Fd\bar{3}m$, $z=8$, $a=3.567 \text{ \AA}$, $b=3.567 \text{ \AA}$, $c=3.567 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$.

Альмандин - $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$. Сингонияси - куб, фазавий группаси - $Ia\bar{3}d$, $z=8$, $a=11.53 \text{ \AA}$, $b=11.53 \text{ \AA}$, $c=11,53 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

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

Мисол: Берилл - $Be_3Al_2Si_6O_{18}$. Сингонияси - гексагонал, фазавий группаси - $R\bar{6}/mcc$, $z=2$, $a=9.20 \text{ \AA}$, $b=9.20 \text{ \AA}$, $c=9.22 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=120^\circ$;

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

Мисол: Геленит - $Ca_2Al_2SiO_7$. Сингонияси - тетрагонал, фазавий группаси - $R4_2/m$, $z=2$, $a=7.738 \text{ \AA}$, $b=7.738 \text{ \AA}$, $c=5.045 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

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

Мисол: Виллемит— Zn_2SiO_4 . Сингонияси—тригонал, фазавий группаси—R3, $z=18$, $a=13.94 \text{ \AA}$, $b=13.94 \text{ \AA}$, $c=9.31 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ ва $\gamma=120^\circ$;

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

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

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

Мисол: Диопсид— $CaMgSi_2O_6$. Сингонияси—моноклин, фазавий группаси—C2/c, $z=4$, $a=9.73 \text{ \AA}$, $b=8.91 \text{ \AA}$, $c=5.25 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=105.83^\circ$ ва $\gamma=90^\circ$;

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

Мисол: Анортит— $CaAl_2Si_2O_8$. Сингонияси—триклин, фазавий группаси—P1, $z=4 \times 2$, $a=8.18 \text{ \AA}$, $b=12.88 \text{ \AA}$, $c=7.08 \times 2 \text{ \AA}$, $\alpha=93.165^\circ$, $\beta=115.85^\circ$ ва $\gamma=91.215^\circ$.

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

3. Кристалларнинг иккиланиб синдириш кучи. Кристалл сингониялари турига қараб ҳар турли 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 қонунларига бўйсунди ва ҳамма йўналишларида бир хил тезликка эга.

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

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

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

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

Тўғри ва эгри сўниш фақат I сингония - моноклинга тааллуқли.

Фақат эгри сўниш I сингония триклин кристалларига хос.

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

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

6. Кристаллнинг оптик белгиси. Бу кўрсаткичлар мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Бир ўқли мусбат кристалларда $n_o \neq n_e$, 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 ташқи кўриниши бир-биридан тузилишига кўра фарқланади:

кубик сингонияли кристаллар - изометрик ва квадрат кўринишида;

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

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

тригонал сингонияли кристаллар - учбурчак доначалар шаклида;

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

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

триклин сингонияли кристаллар - шакли аниқ бўлмаган доначалар кўринишида бўлади.

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

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

11. Қўшалокликлар. Икки ёки ундан кўп бир хил кристалларнинг қонуний бирикишига қўшалоклар дейилади. Оддий қўшалок икки индивиднинг бирикишидан иборат. Полисинтетик қўшалок кристалларнинг параллел текисликлари бўйлаб ўсишдан, панжаралик қўшалоклик икки томон йўналишдаги полисинтетик қўшалокларнинг бирикишидан, секторсимон қўшалокли тўрт ёки олти қисмларга бўлинган айлана сектор қўшалокликларидан ташкил топади.

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

9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари

Микроскопик таҳлидан қуйидагиларни 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 ашё материаллари ва уларни куйдириш асосидаги маҳсулотларнинг шакл ва ўлчамларини ўрганиш учун;
- 4) кристалларнинг ўсиш жараёни ва уларнинг бузилиши;
- 5) моддалардаги фазовий ўзгаришлар;
- 6) диффузия жараёни;
- 7) ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларидаги нуқсонлар ва маҳсулот сифатини ўзгариши (керамик материаллар ва клинкерни пишган — пишмаганлиги, гишт ҳамда бетонлар тузилмасининг етилган-етилмаганлиги) сабабларини аниқлаш учун;
- 8) фазалар миқдорини аниқлаш учун;
- 9) модданинг бир ёки кўп таркиблиги;
- 10) моддаларнинг акс тасвирлаш хусусияти;

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

10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари

Микроскопик таҳлил усулининг афзалликларига қуйида-
гиларни 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 микроскопла-
рида 0,2 мкм гача);

6) микроскоп тузилишининг оддийлиги (соддалиги);

7) фотоматериал, пластинка ва плёнкалар ёрдамида визуал
кузатилаётган микротузилиш ҳолатининг документаллаштириш,
яъни фотографиясини олиш мумкинлиги;

8) такомиллаштирилган ион проекторли микроскопларда
ўлчами 0,1 мм дан то 10^{-10} м (1 Е) гача бўлган дефектларни
аниқлай олиши;

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

Микроскопик таҳлил усулининг камчиликлари сифатида
қуйидагиларни кўрсатиб ўтиши мумкин:

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

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

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

6) юқори даражали катталаштиришда юстировка операциясининг мураккаблиги;

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

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

Замонавий микроскоплар қаторига қуйидагилар киради:

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

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

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

4. Рентген микроскопияси ва микронзонд таҳлили. Рентген проекцияли микроскоп, рентгенли топография, электронзондли 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 тизимлар ўрганилади.

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

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

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

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

Объектив сифатида объектив ва окулярлар тўпламига кирган ва объектларни $17,5 X$ 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:

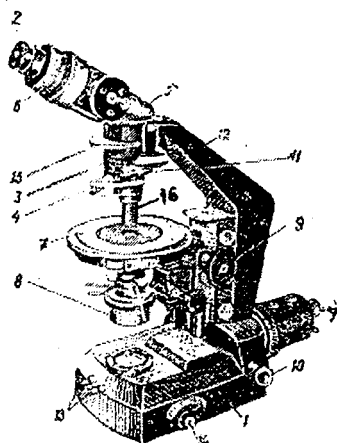
1- микроскоп асоси - массив плитка. Унинг ичига конденсор линза ва буриш призмалари жойлаштирилган;

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

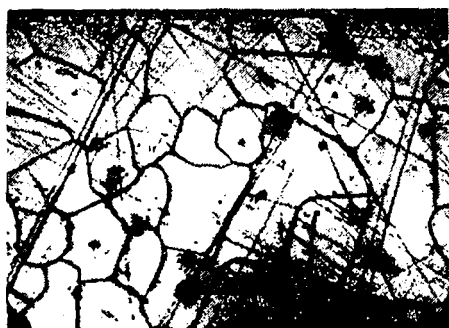
3- тубус. У тутгичнинг юқори қисмига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Тубус ўйиғига анализатор ёки бошқа компенсаторлар мосламаси ўрнатилган;

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

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



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



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

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

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

8- конденсор. У ўрнатилиши ёки олиб қўйилиши мумкин;

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

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

7. Иммерсион микрорефрактометр мосламаси. Бундай асбоб ёрдамида стандарт иммерсион суюқликларининг ва иммерсион препаратларидаги моддаларнинг 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 куруқ 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 қоғоз ёрдамида предмет столи ва қоғловчи ингичка шаффоф шиша орасидан чиққан ортиқча суюқликни тортиб олиш.



Тайёр иммерсион препаратни МИН-8 микроскопига ўрнатиш.



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

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

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



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



Намунанинг очиқ юзасини 150 мк қалинликкача 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

Ғовак 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 (пулына) ҳолда бўлади.



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



Ювиш - H_2O



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



Полировкаланган шлиф металлографик микроскопга ўрнатилади.



Металлографик микроскоплар ёрдамида тадқиқотлар олиб борилади.

14-§. Микрофотография намуналари

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

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

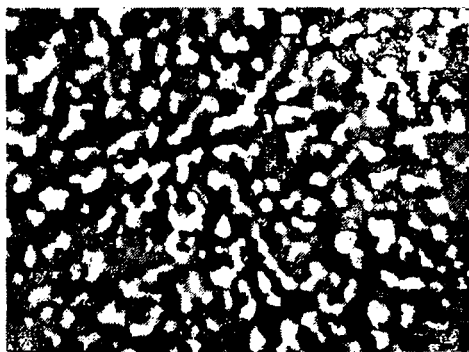
5-расмдаги фото стронций-лантан алюминати $\text{SrLaAl}_3\text{O}_7$ га тааллуқли. Шу минералга оид шихта электр ёйли печида эритилган бўлиб, у совитилаётган пайтда кристаллизацияга учраган. Микрофото металлографик микроскоп МИМ-7 да қайтган нурлар ёрдами ва 600 марта катталаштирилган ҳолда ҳосил қилинган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

наларинин кўриниши ва ўлчами ҳақида аниқ маълумотга эга бўлинди.

6-расмда $\text{SrSiO}_3 - \text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ эвтектик диаграмм ҳолатига оид фото келтирилган. Бу диаграмма 37,5 SrSiO_3 ҳолатида 1310°C ли эвтектика ҳосил қилади. Расмдаги оқ майдон диопсид минералига тааллуқли бўлиб, призма шаклидаги кристаллар SrSiO_3 қаттиқ қотишмасига тўғри келади. Фото олишга тайёрланган намуна 1450°C ли ҳароратда 5 соат ушланган. Эритувчи молда сифатида махсус аралашма ($10\text{мл } \text{H}_2\text{SiF}_6 + 10 \text{ мл } \text{H}_2\text{O} + 1 \text{ мг } \text{CoCl}_2$) ишлатилган. Аралашманинг таъсир этиш вақти - 10 сек. Катталаштирилиш 400 марта.



6-расм. “60 $\text{SrSiO}_3 + 40 \text{ CaMgSi}_2\text{O}_6$ ” ли шишта асосида олинган шишани 1450°C ли ҳароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган тасвир. 400 марта катталаштирилган.

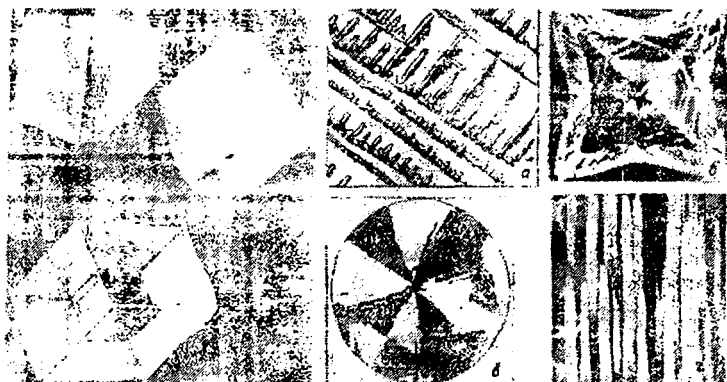


7-расм. “60 $\text{SrSiO}_3 + 40 \text{ CaMgSi}_2\text{O}_6$ ” асосида олинган шишани 1150°C ли ҳароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган квазиэвтектикага оид тасвир. 600 марта катталаштирилган.

7-расмда “60 SrSiO₃ + 40 CaMgSi₂O₆” таркибли шишани эв-тектика нуқтаси (1310°С) дан пастда, яъни 1150°С ли ҳароратда 5 соат ушлаш натижасида ҳосил бўлган квазиэвтектика кўриниши берилган. Қора майдон SrSiO₃ қаттиқ қотишмасига тегишли, оқ доналар эса диоксид минерали доначаларидир. Олтингурутга қотирилган намуна юқорида таркиби келтирилган махсус молда ёрдамида 3-4 сек давомида ишланган.



8 - расм. CaTRGa₃O₇ га оид микрофотография. Аншлиф. 600 X



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

10-расм. Камқиррати кристаллар-нинг шакллари: а-дендритлар; б-скелетлар; в-сферолитлар; г-ишсимон кристаллар.

Ўтган нурлар ва ёқилган анализатор ёрдамида аншлифдан олинган CaTRGa₃O₇ кристалларига оид фото 8-расмда берил-

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

Кристаллларнинг турғун ҳолати ўсаётган кристалл атрофида «хом ашё» нинг старли даражада бўлиши билан боғлиқ. Бу ҳолда кристаллларга хос бўлган қиррали полиэдрик шакл пайдо булади. Турғун кристаллларнинг пайдо бўлиши 1878 йили У. Гиббс, 1885 йили П. Кюри ва 1901 йили Г.В. Вульф томонидан ишлаб чиқилган қоидаларга амал қилади:

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

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

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

Юқорида қайд қилинганлардан ташқари кристаллларга 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.

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

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

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

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

5-жалвал

Муҳим ва кўп тарқалган тупроқ минералларининг оптик хусусиятлари

№	Минералнинг номи	Нур сиңдириш кўрсаткичи			Габитус
		Np	Ng	Ng-Np	
1.	Каолинит (триклин, Z=2) $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	1.553	1.560	0.007	Олги бурчак шаклидаги пластинкалар
2.	Галлуазит $2[Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O] \cdot (4H_2O)$	1.526-1.532	-	-	Майда доначалар
3.	Галлуазит $2[Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O] \cdot 2H_2O$	1.548-1.556	-	-	Майда доначалар
4.	Монтмориллонит (Ca, Mg) $O \cdot Al_2O_3 \cdot (4-5)SiO_2 \cdot xH_2O$	1.480-1.590	1.516-1.630	0.036-0.040	Жуда майда доналар қирримсимон
5.	Нонгронит* $Fe(OH)Si_2O_5 \cdot 2H_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 5H_2O$	1.565-1.600	1.600-1.640	0.035-0.040	Майда доначалар, чўзилган пластинка майдончалари
6.	Иллит	1.45	1.57	0.12	Слодасимон, яхши ривожланмаган гексагонал шаклидаги тангалар
7.	Моногермит 0,2 (K, Na, Mg, Ca) $O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$		$N_m = 1.55-1.57$	-	Нозик ташасимон
8.	Пирофиллит (моноклин, Z=4) $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	1.552	1.600	0.008	Раднат-пластинкали, япроқсимон, доначаларнинг тўла агрегатлари.
*Нонгронит: $m[Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2]p[(Fe, Al)_2(Si_2O_5)_2(OH)_2]nH_2O$					

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

Куйилаги 6-жадвалда оксидлар кўрсаткичига оид маълумотлар берилган.

6-жадвал

Баъзи оксидларининг оптик тавсифи

№	Оксиднинг номи	Таркиби	Нур синдириш кўрсаткичи		Ng-Np	Габитус
			Ng	Np		
1.	α-Кварц	α-SiO ₂	1.541	1.533	0.008	Бипирамидати
2.	α-Тридимит	α-SiO ₂	-	-	Кучсиз	-
3.	β-Кристо-балит	β-SiO ₂	1.487	1.484	0.003	Октаэдрлар, доначалар, кўшалоклар
4.	α-Кристо-балит	α-SiO ₂	1.466		-	Тапгачалар, 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, пирами- дасимон
8.	Магний оксиди	MgO	1.736		-	Думалоқ доначалар
9.	Кальций оксиди	CaO	1.837		-	Думалоқ доначалар
10.	Темир оксиди	Fe ₂ O ₃	2.95	2.77	0.18	-
11.	Литий оксиди	Li ₂ O	1.644		-	Донача ва кублар
12.	Мис оксиди	Cu ₂ O	2.705		-	Октаэдрлар
13.	Марганец оксиди	MnO	2.23		-	Октаэдрлар
14.	Никель оксиди	NiO	2.27		-	Октаэдрлар
15.	Стронций оксиди	SrO	1.870		-	Кублар
16.	Кадмий оксиди	CdO	2.49		-	Октаэдр ва кублар
17.	Барий оксиди	BaO	1.980		-	Кублар
18.	Бериллий оксиди	BeO	1.733	1.719	0.014	Призмалар
19.	Цинк оксиди	ZnO	2.029	2.013	0.016	Гексагонал кристаллар
20.	Кўрғошнинг оксиди	PbO	2.665	2.535	0.130	Таблицалар

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

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

Куйидаги 7-жадвалда CaO-SiO₂ тизимига оид маълумотлар берилган.

7-жадвал

CaO-SiO₂ системасининг кристаллик фазалари

Бирикма	Кристалл тизим	Габитус	Ажралиш қобилияти	N _g	N _p	2 V ^o	Оптик белги
Ca ₃ Si ₅ O ₁₄ (алиг)	Гексагонал	Олтибурчакли пластинка ва доначалар	Аниқ эмас	1.723	1.717	0	(-)
α-Ca ₂ SiO ₄	Гексагонал	Олтибурчакли пластинка ва доначалар	-	-	-	-	-
α ¹ -Ca ₂ SiO ₄ (брелигит)	Ромбик	-	-	-	-	-	-
γ-Ca ₂ SiO ₄	Ромбик (оливин туридаги тузилма)	Призмалар	(010) текислиги бўйича аниқ	1.654	1.642	60	(+)
β-Ca ₂ SiO ₄ (мстабил, белит, фелит, ларит)	Моноклин	-	(010) ва (100) бўйича аниқ	1.735	1.717	Катта	(+)
Ca ₃ Si ₂ O ₇ (ранкинит)	Моноклин	Призмалар	-	1.650	1.641	Катта	(+)
α-CaSiO ₃	Псевдогексагонал, триклин	Уzun призма, доначалар	(001) бўйича, баъзан (001) бўйича қўшалоқлар	1.654	1.610	0-8	(+)
β-CaSiO ₃ (воластопит)	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 хом

ашёлари, яримфабрикатлари, материаллари ва буюмларини бир-биридан ажратиб олишда 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 қисмига мойил бўлган кимёвий моддалар учун нур синдириш кўрсаткичи барча йўналишларда бир хил қийматга эга. Тузилиши бўйича гексагонал, тетрагонал ва ромбикли тузилмаларга тааллуқли моддаларда бундай қиймат икки турли бўлиб, улар Ng ва Np кўрсаткичлари номи билан аталади. Тузилиши жиҳатидан ўта мураккаб бўлган моноклин, тригонал ва триклин тузилмали сунъий ҳамда табиий кристалл моддаларида бундай кўрсаткичлар сони учтага етади.

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

8-жадвал

Ng – Np ва 2V лар қийматини нисбий аниқлаш шкаласи

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

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

Молда	Нур синдириш кўрсаткичлари			Бошқа кўрсаткичлар
	Ng	Np	ΔN	
$2Li_2O \cdot SiO_2$	1.610	1.602	0.008	Ромбик (псевдогексагонал) сингонияли. Донсимон ва қўшалок кристаллар. Оптик белгиси (+), $2V$ кичик, $\rho_{тажр.} = 2.39$ г/см ³ . 1255 ⁰ С да инконгруэнт эрийди (Li_2O ва суоқликка ажралади)
$Li_2O \cdot SiO_2 - I$	1.670	1.650	0.020	Ромбик (псевдогексагонал) сингонияли, $a=9.361$, $b=5.395$, $c=4.675$ Å, $Z=4$, $Li_{к.с.}=4$. Кристаллари нинасимон ва призмалар кўринишида. Оптик белгиси (+), $2V=0^\circ$, ажралиши узун томон бўйлаб, $\rho_{тажр.} = 2.524$ ва $\rho_{хис.} = 2.535$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1200 ⁰ С
$Li_2O \cdot SiO_2 - II$	1.599	1.587	0.012	Тетрагонал сингонияли, $a=9.39$, $c=5.92$ Å, Кристаллар габитусини-насимон. Бир ўқли, мусбат
$Li_2O \cdot 2SiO_2$	1.558	1.547	0.011	Ромбик сингонияли, $a=5.800 \cdot 0.02$, $b=14.660 \cdot 0.05$, $c=4.8060 \cdot 0.015$, $Z=4$. Донсимон ва тўғри бурчакли жалвалсимон кристаллар. Оптик белгиси (+), $2V=50-60^\circ$. Ажралиши—уч йўналишда 90 ⁰ ли бурчак остида, $\rho_{тажр.} = 2.454$ ва $\rho_{хис.} = 2.438$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1032 ⁰ С.
α - Эвкрипитт - $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.5870 0.002	1.5720 0.002	0.015	Гексагонал сингонияли, $a=13.54$ ва $c=9.01$ Å. Кристалларининг габитуси — пирамидалар ҳолида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{тажр.} = 2.64$ г/см ³ Эриш нуқтаси 1388 ⁰ С.
β - Эвкрипитт - $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.5240 0.003	1.5200 0.003	0.004	Гексагонал сингонияли, $a=5.27$, $c=11.25$ Å, $Z=3$. Кристаллари бипирамида кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{тажр.} = 2.35$ 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, $a=9.50$, $b=8.30$, $c=5.24 \text{ \AA}$, $\beta=110^\circ 28'$, $Z=4$ Нипасимон кристаллар. Икки ўқли, мусбат, сўниш бурчаги 30р атрофида, $\rho_{\text{тажр.}}=3.2 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1380 ⁰ С.	
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	Тетрагонал сингонияли. Бипирамидасимон кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}}=2.41$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1423 ⁰ С.
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-нипасимон. 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 ⁰ С.
$\text{Li}_2\text{O}\cdot 2\text{K}_2\text{O}\cdot 6\text{SiO}_2$	1.515	1.510 $N_m=1.512$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли, $2V=85-90^\circ$. Эриш нуқтаси 815 ⁰ С.
$\text{Li}_2\text{O}\cdot 5\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{SiO}_2$	1.520	1.515 $N_m=1.517^*$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли. Эриш нуқтаси 830 ⁰ С.
$\text{Li}_2\text{O}\cdot 5\text{K}_2\text{O}\cdot 7\text{SiO}_2$	1.555	1.550 $N_m=1.552^*$	0.005	Ромбик сингонияли, икки ўқли. $2V=13^\circ$. Эриш нуқтаси 880 ⁰ С.
$2\text{Li}_2\text{O}\cdot 5\text{K}_2\text{O}\cdot 7\text{SiO}_2$ 2	1.540	-	-	Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси 900 ⁰ С
$\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.571	1.552 $N_m=1.557$	0.019	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма кўринишида. Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта. Эриш нуқтаси 847 ⁰ С
$\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{La}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$	1.870	1.843	0.027	Гексагонал сингонияли, бир ўқли, маңфий
$\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot$ $2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	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. Полисинтетик қўшалок кристаллар ҳолида. Икки ўқли, сўниш бурчаги 8гача. 1089 ⁰ С да парчаланеди, 960 ⁰ С да бошқа формага ўтали
$\beta - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.536$	Кучсиз	Пластинка шаклли кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), сўниш бурчаги 15р 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 пина шаклли кристаллар. 2V жула 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 ⁰ С
$\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.508 1.497 $N_m = 1.505$	0.011	Ромбик сингонияли, $a=6.43$, $b=15.46$, $c=4.91 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$, $Z=4$. Кристаллари пластинкалар ҳолида. 2V= 50-55, оптик белгиси (-), узайиш белгиси (+), ажратиш қобилияти (100) ва (010) бўйича. $\rho_{\text{тажр.}} = 2.47 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 874 ⁰ С
$\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.515 1.500 $N_m = 1.510$	0.015	Моноклин сингонияли элементар панжара ўлчамлари, $a=12.26$, $b=4.80$, $c=8.07 \text{ \AA}$, $\beta=104^\circ 18'$, $Z=4$. Кристаллари ингичка псевдогексагонал пластинка шаклида, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.56$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.628 \text{ г/см}^3$.
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.529 1.524 $N_m = 1.526^*$	0.005	Ромбик сингонияли. Пластинка-симон кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тажр.}} = 2.96$ ва $\rho_{\text{пина}} = 2.60 \text{ г/см}^3$, ажралиш дарзликлари-яққол. Эриш нуқтаси 1122 ⁰ С
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2$)	1.502 1.496 $N_m = 1.499^*$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=4.900$, $b=23.40$, $c=15.4 \text{ \AA}$, $Z=4$. 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 эриши 808 ⁰ 2 ⁰ С

Жадист - $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	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 кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V=70$; $cNg=34.5^\circ$. Ажралиши 87° ли бурчак остида. Каттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр}}=3.3-3.5 \text{ г/см}^3$
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{BeO} \cdot 14\text{SiO}_2$	1.545 1.532 $N_m=1.533$	0.013	Ромбик сингонияли, икки ўқли, мусбат, $2\alpha = 60^\circ$, $2V=38^\circ$, $\rho_{\text{тажр}}=2.55 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	1.580 1.575	0.005	Тетрагонал сингонияли, $a=8.511$, $c=4.807 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. 1080° да парчаланadi
Лейкофан - $\text{NaF} \cdot \text{BeO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.598 1.571 $N_m=1.595$	0.027	Ромбик (псевдотетрагонал) сингонияли, $a=7.39$, $b=7.39$, $c=9.97 \text{ \AA}$. Кристаллари базаль таблицка кўринишида. Икки ўқли, манфий. $2V=39^\circ$. Каттиқлиги 4, $\rho_{\text{тажр}}=2.96 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}}=1.665$	0.003	Моноклин сингонияли. Кристаллари планкасимон ва кўшалок ҳолатда. Қийшиқ сўнади, $2V$ катта
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.654 1.641 $N_m=1.646$	0.013	Моноклин сингонияли, $cNg=38^\circ$, икки ўқли мусбат, $2V$ катта
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1.60	-	Куб сингонияли, $a=7.50 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}}=2.79 \text{ г/см}^3$. 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 параллел. 1045°C да CaSiO_3 ва суоқликка айланади
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.571	-	Куб сингонияли. Кристалларнинг шакли-октадр. 1141°C да парчаланadi

$4\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}}=1.620$	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, $a:b:c=1.099:1:0.601$, $\beta=106^{\circ}49'$. Кристаллари узайтирилган призма ҳолида. Икки ўқли, манфий, 2V=60°. Ажралиши - 87° ли бурчак остида. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.584$ г/см ³ , $cNg=104^{\circ}$. Эриш нуқтаси = 990°C
$5\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 8\text{SiO}_2$	1.625 1.609	0.016	Гексагонал сингонияли, кристаллари призматик 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, $cNg=38^{\circ}$, (+), 2V катта
$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{MgO}\cdot 6\text{SiO}_2$	1.546 1.540 $N_m=1.542$	0.006	Моноклин сингонияли, $cNg=24^{\circ}$, икки ўқли, (+), 2V катта.
$\alpha - \text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$	1.510	-	Кубик сингонияли. 1248°C дан юқорида барқарор. 687°C да Карнситга айланади.
Карнсит - $\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$	1.514 1.509 $N_m=1.514$	0.005	Триқлин сингонияли метастабил фаза. Полисинтетик қўшалоқлар ҳосил қилади, икки ўқли, (-), 2V=12-15°, $\rho_{\text{тажр.}}=2.51$ г/см ³ . Совитиш жараёни (227 °C 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	Гексагонал сингонияли, $a=9.98$, $c=8.44 \text{ \AA}$. Кристаллари базал табиқча ва калта призма ҳолида. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (1010) ва (0001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.619$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1526°C
Альбит - $\alpha - \text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$	1.534 1.527 $N_m=1.532$	0.007	Триқлин сингонияли, $a=8.23$, $b=13.00$, $c=7.25 \text{ \AA}$, $\alpha=94^{\circ}3'$, $\beta=116^{\circ}20'$, $\gamma=88^{\circ}9'$. Кристаллари - табиқча ва призма кўринишида, икки ўқли, (-), 2V=45-55°. Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Сўниш бурчаги 9-12° дан 26-37° гача. Қаттиқлиги 6-6.5. $\rho_{\text{тажр.}}=2.61-2.62$ г/см ³

$\beta\text{-Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$	1.539 1.528 $N_m=1.533$	0.011	Икки ўқли, мусбат, $2V=75-83^\circ$. Сўниш бурчаги $7-20^\circ$. $\rho_{\text{шиша}}=2.382 \text{ г/см}^3$
$\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси 760°C . Изотрон 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	Триқлин сингонияли. Эриш нуқтаси 1015°C . $N_{\text{шиша}}=1.519$
Лоренснит- $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{TiO}_2\cdot 2\text{SiO}_2$	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	Гексагонал сингонияли. Ромбо-эдрик обликга эга, $\rho_{\text{тажр.}}=2.88 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1540°C .
Фтор-эднит- $\text{Na}_2\text{O}\cdot 10\text{MgO}\cdot 4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{SiO}_2\cdot\text{SiF}_4$	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-эднит - $\text{Na}_2\text{O}\cdot 10\text{MgO}\cdot 4\text{CaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot 13\text{SiO}_2\cdot\text{SiF}_4$	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 қўшалоклар. Оптик белгиси (-), $2Vp$ катта. Эриш нуқтаси 1045°C
$\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{SiO}_2$	1.482 1.477 $N_m=1.479$	0.005	Моноклин сингонияли. Жадваллар ва қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2Vp$ катта, қия сўниш, $\rho_{\text{тажр.}}=2.335$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.384 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 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, $a=9.01$, $b=15.67$, $c=8.57 \text{ \AA}$. (-), $2V=40^0$. Кристаллари псевдогексагонал қўшалоқ ҳолида. Ажралиши (001) ва (100) орқали. $N_p=a$, $N_m=b$, $\rho_{тажр.}=2.60 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1800^0C . 1540^0C да бошқа формага ўтади
Калиофилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.537 1.533	0.004	Метастабил гексагоналъ форма, $a=27.0$, $c=8.51 \text{ \AA}$. Кристаллари призмалар ҳолида. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр.}=2.61 \text{ г/см}^3$
Кальсилит – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.542 1.537	0.005	Гексагоналъ сингонияли, $a=5.17$, $c=8.67 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. $\rho_{тажр.}=2.59 \text{ г/см}^3$
Лейцит - $\alpha-K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.495	-	Куб сингонияли, $a=13.40 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 5.5-6, $\rho_{тажр.}=2.47 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1686^0C
$\beta-K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.509 1.508	0.001	Тетрагонал сингонияли, $a=12.92$, $c=13.70 \text{ \AA}$. Кристаллари қўшалоқ бўлгани сабабли псевдокуб қийфасида
Fe-лейцит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.619	-	Куб сингонияли, $\rho_{тажр.}=2.59 \text{ г/см}^3$.
К-акмит – $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{ортача}=1.800$	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), $a=8.4$, $b=12.9$, $c=7.1 \text{ \AA}$, $\beta=115^035^1$, $Z=4 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8$. Кристаллари табличкасимон. Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Икки ўқли, манфий, $2V$ жуда кичик. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр.}=2.57 \text{ г/см}^3$
Адуляр – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1.524 1.519 $N_m=1.523$	0.005	Моноклин сингонияли паст температурали форма (Ортоклаз), $a=8.45$, $b=12.9$, $c=7.15 \text{ \AA}$, $\beta=116^03^1$, Икки ўқли, мусбат, $2V=50-70^0$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{тажр.}=2.57 \text{ г/см}^3$

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

$\alpha\text{-K}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$	1.590 1.575 $N_m=1.582$	0.015	Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ҳолатида. Сўниши-тўғри, (+), 2V катта. 1115°C да парчаланди
$2\text{K}_2\text{O}\cdot \text{CaO}\cdot 3\text{SiO}_2$	1.572	-	Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдр шаклида. 1005 ⁰ да парчаланди
$\text{K}_2\text{O}\cdot 23\text{CaO}\cdot 12\text{SiO}_2$	1.703 1.695	0.008	Гексагонал сингонияли. Кристаллари қўшалоқлар ҳолатида. Бир ўқли, мусбат
$\text{K}_2\text{O}\cdot \text{MgO}\cdot 3\text{SiO}_2$	1.530 1.524	0.006	Гексагонал сингонияли, бир ўқли. манфий. Эриш нуқтаси 1134 ⁰ С
$\alpha\text{-K}_2\text{O}\cdot \text{MgO}\cdot 5\text{SiO}_2$	1.501	-	Куб сингонияли, $a=13.39 \text{ \AA}$ Кристалларнинг шакли – куб, октаэдр ва бошқа. Эриш нуқтаси 1089 ⁰ С
$\beta\text{-K}_2\text{O}\cdot \text{MgO}\cdot 5\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}}=1.505$	0.002	Кристаллари тола кўринишда. $\rho_{\text{тажр}}=2.395$ ва $\rho_{\text{лишса}}=2.38 \text{ г/см}^3$ $N_{\text{лишса}}=1.498$
$\text{K}_2\text{O}\cdot 5\text{MgO}\cdot 12\text{SiO}_2$	1.550 1.543	0.007	Гексагонал сингонияли Кристаллари олтиқиррали табличка ҳолатида. Ажралиш кўринмайди. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}}=2.58 \text{ г/см}^3$, Эриш нуқтаси 1174 ⁰ С
$\text{K}_2\text{O}\cdot \text{PbO}\cdot 4\text{SiO}_2$	1.650 1.590 $N_m=1.612$	0.060	Кристаллари тўғри бурчакли пластинкалар ҳолатида. Сўниши-тўғри. Икки ўқли, мусбат, 2V=75 ⁰ . $N_{\text{лишса}}=1.606$ ва юмшаши 463 ⁰ С
$\text{K}_2\text{O}\cdot 2\text{PbO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.93 1.72	0.21	Гексагонал сингонияли. Габитуси-гексагонал пластиналар. Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 918 ⁰ С. $N_{\text{лишса}}=1.775$, юмшаши – 395 ⁰ С
$\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{PbO}\cdot 8\text{SiO}_2$	1.790 1.690 0.01 0.01	0.10	Кристаллари-тола ва пластинка шаклида. Сўниши-тўғри
$\text{K}_2\text{O}\cdot \text{ZnO}\cdot \text{SiO}_2$	1.622	-	Кубик сингонияли. Кристаллар шакли – куб ва бошқалар
$\text{K}_2\text{O}\cdot \text{Ga}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$	1.539 1.533 $N_m=1.535^*$	0.006	Моноклин сингонияли. Кристалларнинг эриш нуқтаси 1000-1020 ⁰ С. $N_{\text{лишса}}=1.513$
$\text{K}_2\text{O}\cdot \text{La}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$	1.867 1.840	0.027	Гексагонал сингонияли, $a=11.1$, $c=9.05 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий

$2K_2O \cdot 3BeO \cdot 4SiO_2$	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 1090^0C
$Rb_2O \cdot 4SiO_2$	1.539 1.532	0.007	Гексагонал пластинкалар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.} = 3.022 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 900^0C
Рубидийсый лейцит - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	$N_{уртача} = 1.526$	Куч-сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.37$, $c = 13.73 \text{ \AA}$
$Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.530 1.526	0.004	Гексагонал сингонияли, бир ўқ-ли, манфий
Рубидийсый полсвой 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 - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{уртача} = 1.521$	Куч-сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.64$, $c = 13.33 \text{ \AA}$.
β - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	$N_{уртача} = 1.481$	Куч-сиз	Тетрагонал сингонияли, $a = 13.20$, $c = 13.60 \text{ \AA}$.
$Cs_2O \cdot 2SiO_2$	1.563 1.560 $N_m = 1.562^*$	0.003	Донасимон кристаллар. Икки ўқ-ли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.} = 3.852 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият.
$Cs_2O \cdot 4SiO_2$	1.579 1.573	0.006	Гексагонал пластинкалар. Оптик белгиси (-), сўниши - тўғри, $\rho_{тажр.} = 3.452 \text{ г/см}^3$, кучли гигроскопик хусусият.
$Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	1.574	-	Кубик сингонияли
$Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	1.523	-	Кубик сингонияли, $a = 13.66 \text{ \AA}$.
Бромеллит - BeO	1.733 1.719	0.014	Гексагонал сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V = 0^0$, ажралиш дарзликлари-базис бўйича, $\rho_{тажр.} = 3,00 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2500^0C

Фенакит – $2\text{BeO}\cdot\text{SiO}_2$	1.668 1.654	0.014	Тригонал сингонияли. Ромбоэдрлар, призмалар, (1010) бўйича қўшалоқлар. Оптик белгиси (+), $2V=0^\circ$, ажралиш қобилиятлари (1120) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,00$ г/см ³ . Инконгруэнт парчаланиши 1560°C ($2\text{BeO}+\text{SiO}_2$)
Берилл – $2\text{BeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$	1.568 1.564 1.602 1.594	0.004- 0.008-	Гексагонал сингонияли, $a=9.21$ ва $c=9.17$ Å. Габитуси-призма ҳолида. Бир ўқли, манфий, $2E$ 10° -гача боради. Қаттиқлиги 7.5-8.0, $\rho_{\text{тажр.}}=2.66-2.85$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1420°C
Форстерит – $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1.668 1.636 $N_m=1.652^*$	0.032	Ромбик сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=85^\circ 6'$, ажралиши (001) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,216$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1890°C
Энстатит – $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	1.658 1.650 $N_m=1.652$	0.008	Ромбик сингонияли, фазовий группаси $P6_3/c$, $a=18.230$, $b=8.814$ ва $c=5.178$ Å, волокноли агрегатлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=60^\circ$, ажралиши 90° ли (110) юзаси бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,175$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.758$ г/см ³ . Инконгруэнт эриши 1557°C ($2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2+\text{сувоқлик}$)
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 $c=5.186$ Å, $\beta=108^\circ 30'$. Кристалл агрегатлар, (010) бўйича полисинтетик қўшалоқлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=22^\circ$, $2V=53^\circ 30'$, ажралиши 88° ли (110) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,19$ г/см ³
Протоэнстатит– $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	Энстатитдан 0.002 га фарқ қилади	Куч- сиз	Ромбик сингонияли, фазовий группаси $P6_3/c$, $a=9.25$, $b=8.74$, $c=5.32$ Å. Брус шакли кристаллар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$, $2V=70^\circ$, сўниши тўғри.

Клинохлор - $5\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.579 1.572 $N_m=1.575$	0.007	Моноклин сингонияли, $a=5.3$, $b=9.3$, $c=28.6 \text{ \AA}$, $\beta=96^{\circ}50'$. Кри- сталли пластинка кўри-нишида. Икки ўқли, мусбат, $2V=0-40^{\circ}$, $N_m=b$, $N_p \perp (010)$. Қаттиқлиги 2- 2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2,7 \text{ г/см}^3$
α - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - I	1.528 1.524	0.004	Ўрта категорияли сингонияга эга, $a=9.782 \text{ \AA}$, $c=9.365 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий
β - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - II	1.541 1.537	0.004	Гексагонал сингонияли, $a=9.792$, $c=9.349 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий.
α -Кордиерит - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - III	1.550 1.540 $N_m=1.545$	0.010	Ромбик сингонияли, $a=9.7$, $b=17.1$, $c=9.3 \text{ \AA}$. Призма кўринишидаги кристаллар. (-), $2V=70-100^{\circ}$
β -Кордиерит - $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ - IV	1.53- 1.52- 1.57 1.55 $N_m=1.525- 1.526$	0.010 0.020	Ромбик сингонияли. Кўшалок кристаллар. (-) $2V=40-105^{\circ}$. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2,57-2.66 \text{ г/см}^3$
Пироп - $3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.705	-	Кубик сингонияли, $a=11.44 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.51 \text{ г/см}^3$
Сапфирин - $4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.711 1.705 $N_m=1.709$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=9.70$, $b=14.55$, $c=10.05 \text{ \AA}$, $\beta=111^{\circ}27'$. (-) $2V=68^{\circ}49'$. Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3,4-3.6 \text{ г/см}^3$
Хризолит - $\text{MgO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	1.792 1.748 $N_m=1.778$	0.044	Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий, $2V=69^{\circ}$
Fe- Клиноэпстатит- $\text{MgO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.70 1.69 1.754 1.71 $N_m=1.69-1.71$	0.01 0.04	Моноклин сингонияли. Таркибига Са ҳам киради. (+), $2V=0-30^{\circ}$
Хризотил - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.555 1.542 $N_m=1.543$	0.013	Моноклин сингонияли, $a=14.66$, $b=9.24$, $c=5.33$, $\beta=93^{\circ}16'$, $Z=1$ $\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$. Кристаллари призма ва волокно ҳолатида. Икки ўқли, мусбат, $2V=30-35^{\circ}$, $N_m=b$, $cN_p = 0^{\circ}$. Қаттиқлиги 2-2.5. $\rho_{\text{тажр.}}=2,43 \text{ г/см}^3$

Селиолит - $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.529 1.520 $N_m=1.529$	0.009	Моноклин сингонияли, $a=23.2$, $b=15.7$, $c=5.32 \text{ \AA}$, $\beta=90-93^\circ$. Кри- сталлари ингичка волокно шакли- да. Икки ўқли, манфий, $2V=0^\circ$, Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2 \text{ г/см}^3$
Серпентин, антгорит - $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.565 1.558 $N_m=1.565$	0.007	Моноклин сингонияли, $a=5.3$, $b=9.25$, $c=13.52 \text{ \AA}$, $\beta=91^{04'}$, $Z=2$. Кристаллари пластинка ҳолида, ажралиши (001) бўйича. Икки ўқли, манфий, $2V$ ўртача. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.62$ г/см^3
Вермикулит - $(\text{Mg}, \text{Fe})_3 [\text{Al}, \text{Si}]_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.545 1.525 $N_m=1.545$	0.020	Моноклин сингонияли, $a=5.33$, $b=9.18$, $c=28.85 \text{ \AA}$, $\beta=93^{015'}$. Кри- сталлари 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, $a=5.27$, $b=9.13$, $c=18.88 \text{ \AA}$, $\beta=100^{015'}$, $Z=4$. (-), $2V=0-30^\circ$. 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	Гексагонал сингонияли. Олтибур- чакли пластинкалар ва донсимон доналар. Оптик белгиси (-), $2V=0$, ажралиши аниқ эмас, $\rho_{\text{тажр.}}=3.20$ г/см^3
$\alpha\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{ўртача}}=1.707$	Куч- сиз	Гексагонал сингонияли, $a=5.45$ ва $c=7.03 \text{ \AA}$. Олтибурчакли ва тўғри бўлмаган донсимон кристаллар. 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 $\rho_{\text{тажр.}}=3.31 \text{ г/см}^3$
Шеннонит - $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	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 (+), $2V=60^\circ$, ажра- лиши (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, $a=5.49$, $b=6.77$, $c=9.29 \text{ \AA}$, $\beta=94^\circ 50'$, полисинтетик қўшалоқлар, (+), $2V=$ 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 (+), $2V^0$ катта
Псевдоволластонит- α - $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.654 1.610 $N_m=1.611$	0.044	Триқлин сингонияли, $a=6.90$, $b=11.58$, $c=19.65 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ 48'$, $\gamma=90^\circ$, $Z=8$. Дюссимон доналар ва узайтирилган призмалар, баъзида (001) бўйича қўшалоқлар. 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	Триқлин сингонияли, $a=7.88$, $b=7.27$, $c=7.03 \text{ \AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=95^\circ 16'$, $\gamma=103^\circ 22'$. Дюссимон индивидлар. Оптик белгиси (-), $2V=39^\circ$, ажралиши-(100) ва (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$
Параволластонит- γ - $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.631 1.614 $N_m=1.629$	0.017	Моноклин сингонияли, $a=15.33$, $b=7.28$, $c=7.07 \text{ \AA}$, $\beta=95^\circ 25'$. Қаттиқлиги 4.5-5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$
Оксерманит - $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.639 1.632	0.007	Тетрагонал сингонияли, $a=7.840$, $c=5.015 \text{ \AA}$. Кристаллар калта призма кўринишида. Бир ўқли, мусбат. 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	Тетрагонал 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
Ферроокерманит - $2\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$	1.690 1.673	0.017	Тетрагонал сингонияли. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.23 \text{ г/см}^3$

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

Уваровит - $3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.86	-	Куб сингонияли, $a=12.05 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.78 \text{ г/см}^3$
Гроссуляр - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.735	-	Куб сингонияли, $a=11.84 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{тажр.}}=3.53 \text{ г/см}^3$
Андрадит - $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.895	-	Куб сингонияли, $a=12.04 \text{ \AA}$. Қаттиқлиги 6.5-7, $\rho_{\text{тажр.}}=3.83 \text{ г/см}^3$
$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	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 парча- ланади
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. (-), $2V=61^\circ$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.48$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1355°C
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.685 1.675 $N_m=1.679$	0.010	Ромбик сингонияли, Кристаллари тола ҳолида. (+), $2V$ катта. 1335°C да парчаланаяди
Мервинит - $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.724 1.706 $N_m=1.712$	0.018	Моноклин сингонияли, $a=5.20$, $b=9.20$, $c=6.78 \text{ \AA}$. Полисинтетик қушалоқ кристаллар. (+), $2V=66^\circ$. Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр.}}=3.15 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1598°C
Титанит, сфен- $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	2.092 1.950 $N_m=1.970$	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	Тетрагонал сингонияли, $a=7.48$, $c=5.044 \text{ \AA}$. Бир ўқли, мусбат. $\rho_{\text{тажр.}}=3.0336 \text{ г/см}^3$
Мелифанит - $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Be}(\text{Si}, \text{Al})_2(\text{O}, \text{F})_7$	1.612 1.593	0.019	Тетрагонал сингонияли, $a=10.58$, $c=9.88 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}}=3.006 \text{ г/см}^3$

Дейкофанит - (Ca,Na) ₂ BcSiO ₂ · (OH,F) ₇	1.598 1.571 N _m =1.595	0.027	Тетрагонал сингонияли, a=7.39, c=9.98 Å. Бир ўқли, манфий, 2V=39 ⁰ , ρ _{тажр.} =2.96 г/см ³
Аминофит - Ca ₂ (Bc,Al)Si ₂ O ₇ · (OH)·H ₂ O	1.647 1.637	0.010	Тетрагонал сингонияли, a=13.8, c=9.8 Å. Бир ўқли, манфий, ρ _{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	Тетрагонал сингонияли, a=7.789 c=5.018 Å. 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=5.15 Å. Куб шакли кристаллар, ρ _{тажр.} =4.75 г/см ³
SrO·SiO ₂	1.637 1.599	0.038	Гексагонал сингонияли, (0001) бўйича пластинкалар ва қўшалоклар. Оптик белгиси (+), 2V=0 ⁰ , ρ _{тажр.} =3.65 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1578 ⁰ C
2SrO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	1.665 1.660	0.005	Тетрагонал сингонияли, a=7.831, c=5.276 Å. Габитуси-призма, ρ _{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	Триқлин сингонияли, тола 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	Тетрагонал сингонияли, a=7.92, c=5.33 Å, ρ _{тажр.} = 4.49 г/см ³ . Эриш нуқтаси 1590 ⁰ C
2SrO·MgO· 2SiO ₂	1.638 1.609	0.029	Тетрагонал сингонияли, a=8.06, c=5.19 Å, ρ _{тажр.} = 3.64 г/см ³ .
2SrO·ZnO·2SiO ₂	1.710 1.678	0.032	Тетрагонал сингонияли, a=8.04, c=5.20 Å, ρ _{тажр.} = 3.99 г/см ³ .
Sr ₄ La ₆ Si ₆ O ₂₄ F ₂	1.838 1.827	0.011	Гексагонал сингонияли, a=9.69, c=7.13 Å, ρ _{тажр.} = 5.03 ва ρ _{хис.} =5.05 г/см ³ . Эриш нуқтаси 2063 K

$\text{Sr}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.843 1.829	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.59$, $c=7.07 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.26$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.29$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2023 К
$\text{Sr}_4\text{Sm}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.854 1.842	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.52$, $c=6.99 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.50$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.54$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2023 К
$\text{Sr}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.862 1.850	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.49$, $c=6.96 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.71$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.74$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2083 К
$\text{Sr}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.871 1.858	0.013	Гексагонал сингонияли, $a=9.42$, $c=6.92 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.90$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.95$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2083 К
$\text{Sr}_4\text{Er}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.892 1.880	0.012	Гексагонал сингонияли, $a=9.30$, $c=6.78 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 6.15$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 6.17$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2103 К
$\text{Sr}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.773 1.759	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.46$, $c=6.89 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.40$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 4.42$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2048 К
BaO	1.980	-	Куб сингонияли, $a=5.53 \text{ \AA}$. Куб кўринишли 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 ⁰ С
$2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1.645 1.620 $N_m = 1.625$	0.025	Ромбик сингонияли, $a=12.50$, $b=4.69$, $c=13.92 \text{ \AA}$, $\beta=93.3^\circ$, $Z=2$. Донсимон доналар, пластинкасимон кўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V = 54^\circ$, ажралиши (010), (100) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.93$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1450 ⁰ С.
$\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.621 1.597 $N_m = 1.616$	0.027	Ромбик ёки триклин сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (-), $2V = 75^\circ$, ажралиши (010), (100) ва (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.73$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1420 ⁰ С

$\alpha - \text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.571 1.567	0.004	Юқори ҳароратли гексагонал фаза, $a=5.25$, $c=7.84 \text{ \AA}$. Пластинкасимон кристаллар. Ажралиши (0001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3.03 \text{ г/см}^3$. 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, $a=8.63$, $b=13.10$, $c=7.29 \text{ \AA}$, $\beta=116^\circ$. Қўшалоқ 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, $a:b:c=0.947:1:0.895$, $\rho=90^\circ 10'$. 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	Гексагонал сингонияли, $a=6.60$, $c=9.71 \text{ \AA}$. 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	Тетрагонал 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	Тетрагонал 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	Гексагонал сингонияли, $a=9.72$, $c=7.19 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.36$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.36 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1923 K
$\text{Ba}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.848 1.826	0.022	Гексагонал сингонияли, $a=9.60$, $c=6.98 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=4.66$ ва $\rho_{\text{хис.}}=4.68 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1973 K
$\text{Ba}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.881 1.870	0.011	Гексагонал сингонияли, $a=9.62$, $c=7.10 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.78$ ва $\rho_{\text{хис.}}=5.79 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1963 K
$\text{Ba}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$	1.892 1.878	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.58$, $c=6.97 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}}=5.98$ ва $\rho_{\text{хис.}}=6.00 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1963 K

$Ba_4La_6Si_4P_2O_{26}$	1.796 1.782	0.014	Гексагонал сингонияли, $a=9.97$, $c=7.35 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.12$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.16$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2023 К
$Ba_4Nd_6Si_4P_2O_{26}$	1.848 1.829	0.019	Гексагонал сингонияли, $a=9.80$, $c=7.25 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.45$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 2028 К
Цинкит - ZnO	2.029 2.013	0.016	Гексагонал сингонияли, $a=3.25$, $c=5.19 \text{ \AA}$, $Z=2$. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 4, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.66$ г/см ³ . 1670 ⁰ С да эрийди
Велдимит - $\alpha - 2ZnO \cdot SiO_2$	1.715 1.695	0.020	Ўрта сингонияга таалуқли кристаллар. Бир ўқли, $2V=0^0$
$\beta - 2ZnO \cdot SiO_2$	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, $2V=49^0$, $\rho_{\text{хис.}} = 4.29$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1420 ⁰ С.
$\gamma - 2ZnO \cdot SiO_2$	1.703 1.685 $N_m=1.700$	0.018	Икки ўқли кристаллар, $2V = - 40^0$
$ZnO \cdot SiO_2$	1.623 1.616	0.007	Нинасимон кристаллар, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.52$ г/см ³ . Эриш нуқтаси 1429 ⁰ С
Гемиморфит - $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$	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, $2V= 46^0$. Қаттиқлиги 5, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.45$ г/см ³
$ZnSiF_6 \cdot H_2O$	1.395 1.382	0.013	Тригонал сингонияли, $c/a=0.517$. Призма кристаллар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.14$ г/см ³
CdO	2.49	-	Куб сингонияли, $a=4.70 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллар октаэдр ва куб кўринишида. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{тажр.}} = 8.15$ г/см ³
$CdO \cdot SiO_2$	-	-	Эриш нуқтаси 1246 ⁰ С, $\rho_{\text{тажр.}} = 5.833$ г/см ³
$2CdO \cdot SiO_2$	$N_{\text{ўртача}} = 1.74$	Ўртача	Оливинга ўхшаш структурали, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.928$ г/см ³ , эриш нуқтаси 1252 ⁰ С

Паст температура $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.665 1.630 1.680 1.650	0.035- 0.030	Гексагонал сингонияли, барқарор бўлмаган, бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.31 \text{ г/см}^3$
$\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.696	-	Куб сингонияли, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.47 \text{ г/см}^3$
Корунд $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$	1.768 1.760	0.008	Гексагонал сингонияли, $a=4.76$, $c=13.00 \text{ \AA}$. Бир ўқли, манфий. Қаттиқлиги 9, $\rho_{\text{тажр.}} = 4 \text{ г/см}^3$. 2050 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, Фазоний 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. Фазоний группаси Pbnm, $a=7.48100.002$, $b=7.67200.002$, $c=5.76900.002 \text{ \AA}$, $V=331 \text{ \AA}^3$. $2V= 25^0$, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.25500.015 \text{ г/см}^3$
Андалузит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.641 1.630 $N_m = 1.639$	0.011	Ромбик сингонияли. Фазоний группаси Pnmm, $a=7.79700.002$, $b=7.89800.002$, $c=5.55100.002$, $V=341.8 \text{ \AA}^3$. $2V 83$ 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. Фазоний груп- паси Pnmm, $a=7.579400.005 \text{ \AA}$, $b=7.6873$, $c=2,887800.0004 \text{ \AA}$, $V=168.26 \text{ \AA}^3$. $2V= 45$ дан 50^0 гача, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.0 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуктаси 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, $a=5.15$, $b=8.88$, $c=18.60 \text{ \AA}$, $\beta=99^055'$, $Z=8$. Призматик кристаллар. (-), $2V=53-60^0$. Қаттиқлиги 1-1.15, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.84 \text{ г/см}^3$
Лсверрьерит - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.513 1.488 $N_m = 1.513$	0.025	Паст катсгорияли сингонияга эга бўлган монтмориллонит гуруҳи вакили, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=15.25 \text{ \AA}$, Кристаллари юпқа пластинка ҳо- лида. (-), $2V=0-33^0$. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.84 \text{ г/см}^3$

Тоназ - Al_2SiO_5 F, OH	1.618- 1.607- 1.638 1.629 $N_m = 1.610-$ 1.631	0.011- 0.009	Ромбик сингонияли, $a=4.61$, $b=8.78$, $c=8.38$ Å, Кристаллар призма кўринишида. Ажралиши (001) бўйича. Қаттиқлиги 8, $\rho_{тажр} = 3.50 - 3.57$ г/см ³
Каолин - γ - форма $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot$ $2H_2O$	1.566 1.561 $N_m = 1.565$	0.006	Моноклин сингонияли паст тем- пературали фаза, $a=5.14$, $b=8.93$, $c=7.37$ Å, $\alpha = 91^{\circ}48'$, $\beta = 104^{\circ}30'$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Z = 2Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$. Кри- сталлари псевдогексагонал чешуй- калар ҳолида. (-), $2V = 20-55^{\circ}$. Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{тажр} = 2.61$ г/см ³
Диккит - $\beta - Al_2O_3 \cdot$ $2SiO_2 \cdot 2H_2O$	1.566 1.560 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta = 96^{\circ}49'$, $Z = 4Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$. Кристаллар тангачасимон кўринишда. (+), $2V = 68-80^{\circ}$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{тажр} = 2.62$ г/см ³
Накрит - $\alpha - Al_2O_3 \cdot$ $2SiO_2 \cdot 2H_2O$	1.563 1.557 $N_m = 1.562$	0.006	Моноклин сингонияли, $a=5.15$, $b=8.95$, $c=28.70$ Å, $\beta = 91^{\circ}43'$, $Z = 4$ $Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$. Кристаллар псев- догексагонал қиёфага эга. (-), $2V = 40^{\circ}$. Қаттиқлиги 2.5-3, $\rho_{тажр} = 2.5$ г/см ³
Монтморил- лонит- $(Al, Mg)_2(OH)_2 \cdot$ $[Si_4O_{10}] \cdot H_2O$	$N_m = 1.516-1.526$	Куч- сиз	Моноклин сингонияли, $a=5.10$, $b=8.33$, $c=15.2$ Å. Кристаллари тангача ҳолида, улар (001) бўйича уланган.
Бейделлит- $Al_2[Si_4O_{10}]$ $(OH)_2 \cdot nH_2O$	Кўрсаткичлар сув микдорига кўра ўзгаришчан	Куч- сиз	Моноклин сингонияли. Ромбга ўхшаш пластинкалар ҳолида. Уланиш текислиги (001) бўйича. Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{тажр} = 2.6$ г/см ³
Галлуазит (сидделит)- $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot$ $4H_2O$	$N_{уртача} = 1.547-$ 1.550	Куч- сиз.	Моноклин сингонияли, $a=5.20$, $b=8.92$, $c=10.25$ Å, $\beta = 100^{\circ}$ Шаф- фор гелсимон масса, қамчи шакл- ли. Қаттиқлик 1-2, $\rho_{тажр} = 2.0-$ 2.2 г/см ³
Аллофан- $m Al_2O_3 \cdot$ $nSiO_2 \cdot nH_2O$	$N = 1.470-$ 1.510	-	Қаттиқ псевдо эритма. У нотекис ёки чиганоксимон 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±50 °C

$\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.850 1.835	0.015	Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тажр}} = 3.490 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1950°C
$\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.803 1.754 $N_m = 1.785$	0.049	Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{\text{тажр}} = 3.390 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 1850°C
Y_2O_3	1.910	-	Куб сингонияли. Кристаллари тўғри чизикли пластинка кўринишида.
$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.825 1.807 $N_m = 1.815^*$	0.018	Икки ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1980°C
$2\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.780 1.765	0.015	Гексагонал сингонияли, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1950°C
$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.747 1.737 $N_m = 1.742^*$	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 $\rho_{\text{хис}} = 5.303 \text{ г/см}^3$. 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 парчаланadi ($2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{суёқлик}$)
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.880$	0.025	-
$2\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.850$	0.020	Гексагонал сингонияли, $a = 11.36$ ва $c = 4.71 \text{ \AA}$
$\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 1.770$	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°C ли ҳароратда парчаланиб эрийди
$3\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.870 1.855	0.015	Тетрагонал сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий, ферромагнит
$2\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.860 1.840 $N_m=?$	0.020	Ромбик сингонияли, икки ўқли кристаллар, оптик мусбат, конгруэнт эриши - 2000°C , ферромагнит
$3\text{EuO} \cdot 2\text{SiO}_2$	1.835 1.820	0.015	-
$\text{EuO} \cdot \text{SiO}_2$	1.805 1.775	0.030	Гексагонал сингонияли, бир ўқли кристаллар, оптик манфий. Эриш нуқтаси 1700°C
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.890 1.870 $N_m=?$	0.020	Икки ўқли, оптик мусбат, туғри сунди. Эриш нуқтаси $1980\text{о}30^\circ\text{C}$
$2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.865 1.845	0.020	Гексагонал сингонияли, бир ўқли, оптик манфий. Эриш нуқтаси $1970\text{о}30^\circ\text{C}$
$\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.775 1.763 $N_m=?$	0.012	Икки ўқли, оптик мусбат, $1760\text{о}30^\circ\text{C}$ да $2\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ на суоқликка айланади.
$\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.865 1.847	0.018	Икки ўқли, оптик ўқлар орасидаги бурчак 88° . Эриш нуқтаси 1930°C

$2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.853 1.838	0.015	Бир ўқли, манфий. Эриш нуқтаси 1920°C
$\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.765 1.757	0.008	Икки ўқли, мусбат. 1720°C да $2\text{Dy}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ ва суюқликка айланади
$\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	1.825 1.807	0.018	$\rho_{\text{гажр.}} = 6.80 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1980°C
$2\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1.800 1.780	0.020	$\rho_{\text{гажр.}} = 6.22 \text{ г/см}^3$. Конгруэнт эриш нуқтаси 1900°C
$\text{Er}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1.768 1.740	-	$\rho_{\text{гажр.}} = 6.10 \text{ г/см}^3$. 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 .
$\beta - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	$N_{\text{уртача}} = 2.340$	Куч- сиз	$720-155^\circ\text{C}$ ли ораликда барқарор. Кристаллар призма ва донсимон кўринишда
$\gamma - 4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	β -формага ўхшаш	Куч- сиз	155°C ли ҳароратдан пастда барқарор. Кўрсаткичлари β -фаза кабилар
$2\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	2.180 2.130 $N_m = 2.150$	0.050	Ромбик сингонияли. Призмалар. (-), $2V = 80^\circ$, сўниши – тўғри. Эриш нуқтаси 723°C
$\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$ σ	$N_{\text{уртача}} = 1.950$	Куч- сиз	Призмалар. Оптик белгиси (-), $2V = 60^\circ$. Эриш нуқтаси 764°C

Барисилит - $3\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	$N_{\text{уртава}} = 2.040$	0.005	Призмалар, жадваллар. Бир ўқли, Оптик белгиси (-), $2V = 0^\circ$
Адамозит - $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	1.968 1.947 $N_m = 1.961$	0.023	Моноклин сингонияли, $a:b:c = 1.375:1:0.924$, $\beta = 95^\circ 50'$. Воллоклоли кристаллар. (-), $2V = 65^\circ$. 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, $a = 13.28$, $b = 7.01$, $c = 6.71 \text{ \AA}$, $\beta = 103^\circ 42'$. Кристаллар майда призмалар ҳолида. (+), $2V = 42^\circ 58'$. Қаттиқлиги 4-5, $\rho_{\text{тажр}} = 6.46 \text{ г/см}^3$
Баддсит - ZrO_2	2.200 2.130 $N_m = 2.190$	0.070	Моноклин сингонияли. $a = 5.22$, $b = 7.27$, $c = 5.59 \text{ \AA}$, $\beta = 99^\circ 7'$. Жадвал-симон кристаллар. Ажралиши (001) бўйича. (-), $2V = 30^\circ$. $\rho_{\text{тажр}} = 5.6 \text{ г/см}^3$. Эриш нуқтаси 2715°C
Циркон - $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.968 1.923 2.015 1.960	0.045 0.055	Квадрат сингонияли, $a = 6.61$, $c = 5.89 \text{ \AA}$. Призмалар, пирамидалар, қўшалоклар. Ажралиши - призма бўйлаб, қаттиқлиги 7.5, $\rho_{\text{тажр}} = 4.7 \text{ г/см}^3$
$\text{HfO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.950 1.940	0.010	Тетрагонал симметрияли, $a = 6.60$ ва $c = 5.97 \text{ \AA}$. $\rho_{\text{тажр}} = 3.27 \text{ г/см}^3$
Гуттонит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.930 1.900 0.005 0.003 $N_m = ?$	0.030	Моноклин сингонияли стабил форма, $a = 6.80$, $b = 6.96$ ва $c = 6.54 \text{ \AA}$, $\rho_{\text{тажр}} = 7.20$ о 0.10 г/см^3 . 1975 о 50°C да ThO_2 ва суяқликка парчаланadi
Торит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1.885 1.827 0.003 0.003	0.058	Тетрагонал сингонияли метастабил форма, $a = 7.03$, $c = 6.25 \text{ \AA}$. $\rho_{\text{тажр}} = 6.63$ о 0.10 г/см^3
$\alpha - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	-
$\beta - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	1030°C да β -формадан α -формага ўтади.
$2\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	1120°C да $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ва суяқликка айланadi.
$3\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	- -	-	-

α - SiC	2.689- 2.647- 2.693 2.649	0.042- 0.043	Гексагонал сингонияли. Ингичка базал пластинкалар. Бир ўқди, мусбат. Қаттиқлиги 9,5, $\rho_{\text{тажр.}}=3.2 \text{ г/см}^3$. 3400 ⁰ С да эримай диссоциацияга учрайди.
β - SiC	2.63	-	Куб сингонияли, $a=4.349 \text{ \AA}$, $Z=4$, $\rho_{\text{тажр.}}=3.216 \text{ г/см}^3$.
Кремний моно- оксиди - SiO	2.00	-	Куб сингонияли, $a=7.135 \text{ \AA}$. Кристаллари бир турли пластинкалар ҳолида учрайди, $\rho_{\text{тажр.}}=2.146 \text{ г/см}^3$
α -кристобалит- SiO ₂	1.486	-	Куб сингонияли юқори температурали фаза. Кристалларининг формаси-октаэдр ва куб. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр.}}=2.27-2.35 \text{ г/см}^3$. 1710 ⁰ С да эрийди
β -кристобалит- SiO ₂	1.487 1.484	0.003	Тетрагонал сингонияли, паст температурали. Полисинтетик қўшалоклар. Бир ўқди, манфий
α -Тридимит- SiO ₂	- -	-	Гексагонал 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	Гексагонал 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	Тригонал сингонияли, $a = 4.903$, $c = 5.393 \text{ \AA}$, $Z=3$. Қисқа призматик кристаллар, 573-20 ⁰ С да оралиғида барқарор. Бир ўқди, мусбат. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.65 \text{ г/см}^3$
Китит-SiO ₂	1.522 1.513	0.009	Тетрагонал сингонияли, $a = 7.46$, $c = 8.59 \text{ \AA}$, $Z=12$. Бир ўқди, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.50 \text{ г/см}^3$. 1100 ⁰ С гача барқарор

Коусит-SiO ₂	1.604 1.599 N _m =1.593	0.014	Моноклин сингонияли, a =7.23, b=12.52, c = 7.23 Å, β=120°, Z=17. Қаттиқлиги 8, ρ _{тежр.} = 3.01 г/см ³ , (+), 2V = 54°
Лешательерит-SiO ₂	1.459	-	Аморф шафрфор модда
Халцедон-SiO ₂	1.537 1.530	0.007	Квари структурасига ўхшаш, қаттиқлиги 6, ρ _{тежр.} =2.55-2.63 г/см ³
P ₂ O ₅ - I	1.624 1.599	0.025	Тетрагонал сингонияли стабил фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тежр.} =2.89 г/см ³
P ₂ O ₅ - II	1.589 1.545 N _m =1.578	0.044	Ромбик сингонияли метастабил фаза. Икки ўқли, манфий, 2V = 65°
P ₂ O ₅ - III	1.471 1.469	0.002	Гексагонал сингонияли метастабил фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тежр.} =2.28-2.32 г/см ³
Cr ₂ O ₃	N _{уртача} =2.5		Гексагонал сингонияли, a =4.95, c=13.57 Å, Кристаллари призма ва табличка ҳолида. Бир ўқли, мусбат, ρ _{тежр.} = 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 _{тежр.} =4.0 г/см ³
Cr ₂ O ₃ ·3SiO ₂	1.905о1.790о 0.05 0.05	0.115	Ромбик сингонияли, икки ўқли, тўғри сўнали. Эриш нуқтаси 1995°С
Коффинит - UO ₂ ·SiO ₂	N _{уртача} = ~1.83) 1.88	Уртача	Тетрагонал сингонияли, a=6.981о 0.004, c=6.250о0.005 Å. Иссиқликдан кенгайиш коэффициенти 80·10 ⁻⁷ га тенг
Тсфронт - 2MnO·SiO ₂	1.820 1.780 N _m =1.805	0.040	Ромбик сингонияли, a =4.86, b=10.62, c = 6.22 Å. Икки ўқли, манфий, 2V = 50°. Қаттиқлиги 4.2. Конгруэнт эриш нуқтаси 1345°
Ролонит - MnO·SiO ₂	- -	-	1291°С да инконгруэнт эриш туфайли тридимит ва суоқликка айланади

Манганозит - MnO	2.230	-	Куб сингонияли, $a = 4.45 \text{ \AA}$, $Z=4$. Кристаллари октаэдрик қиёфада, ажралиши куб бўйича. Қаттиқлиги 5.5 , $\rho_{\text{тажр.}} = 5.36 \text{ г/см}^3$
Mn-кордирит - $2\text{MnO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 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, $a = 11.59 \text{ \AA}$. Додскаэдрик кристаллар. Қаттиқлиги $7-7.5$, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.18$ г/см^3 . Эриш нуқтаси 1200°C . $N_{\text{шиши}} = 1.655$
Пикротсфроит - $2(\text{Mn, Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	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	Тригонал сингонияли, $s_a = 0.504$. 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 ориентири $x=b$, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.32 \text{ г/см}^3$
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 $P2_1/c$, $a =$ 9.70850 ± 0.0008 , $b = 9.08720 \pm 0.0011$, $c = 5.22840 \pm 0.0006 \text{ \AA}$, $\beta = 108.4320$ 0.004° , $V = 437.60 \pm 0.1 \text{ \AA}^3$, $Z=8$
Ортоферро- силит - $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{II}$	- -	-	Фазавий группаси $Pbca$. $a = 18.4310$ 0.004 , $b = 9.0800 \pm 0.002$, $c = 5.2380$ 0.001 \AA , $V = 876.60 \pm 0.5 \text{ \AA}^3$, $Z=16$

Ферросилит - $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ - III	-	-	-	Элементар панжара ўлчамлари: $a = 6.57$, $b = 7.51$, $c = 22.68$ Å, $\alpha = 115.3^\circ$, $\beta = 80.5^\circ$, $\gamma = 95.5^\circ$
Фс-кордсит - $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 5SiO_2	1.574	1.551 $N_m = 1.564$	0.023	Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, 2V катта
Альмондид - $3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 3SiO_2	-	1.830	-	Куб сингонияли, $a = 11.53$ Å. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.32$ г/см ³
Джиллеспит - $\text{FeO} \cdot \text{BaO} \cdot 4\text{SiO}_2$	1.621	1.619	0.002	Тригонал сингонияли. $a = 7.495$, $c = 16.05$ Å, $Z = 4$. Бир ўқли, ман- фий. Қаттиқлиги 3, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.4$ г/см ³
Антофиллит - $7(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot$ $8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.597	1.584 $N_m = 1.590$	0.013	Ромбик сингонияли, $a = 18.52$, $b = 18.04$, $c = 5.27$ Å. Призма шакл- ли кристаллар. Икки ўқли, мусбат, 2V-катта
$7(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot$ $8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.665	1.640 $N_m = 1.647$	0.025	Моноклин сингонияли, $a = 19.4$, $b = 17.8$, $c = 17.8$ Å. Икки ўқли, мусбат, 2V = 95°
Миннесотаит - $3\text{FeO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot$ H_2O	1.618	1.586 $N_m = 1.618$	0.032	Моноклин сингонияли, $a = 5.4$, $b = 9.4$, $c = 19.1$ Å. Пластинкаси- мон кристаллар. Икки ўқли, ман- фий, 2V = 5°. Қаттиқлиги 2.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 3 - 3.1$ г/см ³
Нонтронит - $\text{Fe}(\text{OH})\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot$ $2\text{H}_2\text{O}$	1.640	1.617 $N_m = 1.637$	0.023	Моноклин сингонияли, $a = 5.23$, $b = 9.11$, $c = 15.25$ Å. Юнка пла- стинкасимон кристаллар, (-), 2V = 40°, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.6$ г/см ³
$\text{FeF}_2 \cdot \text{SiF}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.384	1.364	0.020	Тригонал сингонияли, $c/a = 0.503$. Бир ўқли, мусбат
Кобальтовый оливин - Фаялит - $2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$	1.940	1.890	0.050	Ромбик сингонияли, сўниши- тўғри, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.677$ г/см ³ ва $\rho_{\text{хис.}} =$ 4.74 г/см ³ . 2V-ўртача. Элементар панжара ўлчамлари: $a = 5.99$, $b = 4.77$, $c = 10.27$ Å
Шпинел - $2\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2$	-	-	-	Шпинел структурали, $a =$ $8.14000.005$ Å 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 монтицеллит – $\text{CdO}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	1.748 1.698 $N_m=1.738$	0.050	Паст категорияли сингонияга эга, $a = 6.39$, $b = 4.81$, $c = 11.06$ Å. Бипирамидал – призматик кристаллар, $2V=53^\circ$, $\rho_{\text{тажр}} = 3.69$ г/см ³
$\text{CoF}_2\cdot\text{SiF}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.387 1.381	0.006	Тригонал сингонияли, $a:c = 0.522$. Призматик ва ромбоэдр кристал- лар. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.09$ г/см ³
Пиксельный оливин – $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{I}$	2.019 1.976 $N_m=1.987$	0.043	Ромбик сингонияли, фазавий групаси $R\bar{3}m$, оливин структурали, $a=4.724$, $b=10.105$ ва $c=5.928$ Å, $Z=4$, оптик мусбат, узайиши мусбат, сўниши-тўғри, $2V$ -ўртача, $\rho_{\text{тажр}} = 4.72$ г/см ³
$\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{II}$	- -	-	Шпинел структурали, $a = 8.044$ Å, $\rho_{\text{тажр}} = 5.34$ г/см ³
$\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{I}$	1.661 1.653 $N_m=1.656$	0.008	Моноклин сингонияли, $a=7.75$, $b=9.02$ ва $c=5.35$ Å, ва $\beta = 91^\circ 39'$
$\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{II}$	1.665 1.655 $N_m=1.661$	0.010	Ромбик сингонияли, $a=8.66$, $b=17.74$ ва $c=4.99$ Å
Гарнерит – $(\text{Ni}, \text{Mg})_6(\text{OH})_6$ $\text{Si}_4\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$	1.630 1.622 $N_m=1.630$	0.008	Моноклин сингонияли, (+). $2V = 0-10^\circ$
Бунзенит - NiO	2.270	-	Куб сингонияли, $a=4.18$ Å, $Z=4$. Кристаллари октаэдрик қиёфада. Қаттиқлиги 3.5, $\rho_{\text{тажр}} = 6.8$ г/см ³
$\text{NiF}_2\cdot\text{SiF}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.406 1.391	0.015	Тригонал сингонияли, $s:a = 0.514$. Кристаллари узайтирилган призм- алар кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 2.13$ г/см ³
Шселит – CaWO_4	1.936 1.920	0.016	Тетрагонал сингонияли, $a=5.25$, $c=11.36$ Å, $Z=4$, Кристаллари пирамида ва жадвал кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 6.10$ г/см ³ . Эриш нуктаси - 1570 °C.
Повеллит – CaMoO_4	1.984 1.974	0.010	Тетрагонал сингонияли, $a=5.24$, $c=11.46$ Å, $Z=4$, Кристаллари пирамида ва пластинка кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 4.20$ г/см ³

Стронцийли повеллит – SrMoO_4	1.926	1.921	0.005	Тетрагонал сингонияли, $c:a=1.574 \text{ \AA}$, $Z=4$, Кристаллари пирамида кўринишида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 4.15 \text{ г/см}^3$
Вульфенит – PbMoO_4	2.405	2.283	0.122	Тетрагонал сингонияли, $a=5.41$, $c=12.1 \text{ \AA}$, $Z=4$, Кристаллари пирамида ва жалвал кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 6,75 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси - 1065°C .
Штольцит – PbWO_4	2.27	2.19	0.08	Тетрагонал сингонияли, $a=5.46$, $c=12.05 \text{ \AA}$, $Z=4$, Кристаллари пирамида 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 синиш кучи, чўзиқ кристалларнинг сўниши, узайиш белгиси, кристалларнинг оптик белгиси ва бурчак катталиги, габитус, кристалл ўлчами, ажралиш қобилиятлари, қўшалокликлари, ранг ва плеохроизм ҳақида тушунча беринг.

5.Минераллар, хом ашёлар, ярим маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотларнинг оптик хусусиятлари қандай асбоблар ёрдамида аниқланади?

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

7.Микроскопнинг қандай турларини санаб бера оласиз?

8.Микроскоплар учун қандай мосламалар мавжуд?

9.МИН-8 маркали поляризацион микроскопнинг 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 хараakterистикалари фарқи қандай?

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

15. Усулдан фойдаланишнинг имкониятларига оид маълумотларни келтиринг.

16. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари ҳақида қандай фикрдасиз?

УЧИНЧИ БОБ

ИНФРАҚИЗИЛ СПЕКТРОСКОПИК ТАҲЛИЛ

17-§. Инфрақизил нурларининг табиати

ИҚ нурланиш биринчи марта 1800 йилда инглиз олими Уильям Гершель томонидан очилган. У термометрни қуёш спектри бўйлаб ҳаракат қилдирганда 0.86 мкм дан юқорироқда симоб столбининг юқорилаб кетганлигини аниқлаган. Бу ҳодиса рўй берган макон инфрақизил нурланишнинг пастки чегараси эди холос. «Инфрақизил» термини Стокс томонидан 1852 йили киритилган «ультрабинафша» терминидан фарқли равишда Беккерель томонидан 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, қайтарилиши, поляризация ҳамда интерференцияси худди ёруғлик нурларидек кечиши, аммо улардан тўлқин узунлигининг катталиги билан фарқланиши исботланди.

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

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

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

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

Маълумки, электромагнит майдон билан муҳитнинг ўзаро таъсири нурланиш 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 гуруҳлари билан мулоқотда бўлади, ҳамда моддадаги кучсиз боғланган ёки “озод” ташувчи зарядлар билан ўзаро таъсирлашади.

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

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

ИК нурланиш табиати кўринадиган ва радио нурланишлар табиатига ўхшашдир.

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

Нормал ИК нур оқими силлиқланган, ясси модда юзасига тушганда:

- а) ундан қайтали;
- б) модда заррачаларида ютилади ва ёйилади;
- в) нур ўтказлади.

ИК нурларини қайтариш спектрлари қуйидаги формула орқали топилади:

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

бу ерда, I_p - қайтган нурлар оқими;

ρ - модданинг нур қайтариш коэффициенти;

I_0 - модда юзасига тушаётган нормал нур оқими.

ИК нурларнинг ўтқазилш спектрлари қуйидагича топилади:

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

бу ерда, k - модданинг нур ютиш коэффициенти;

t - нур ютаётган қаватнинг қалинлиги.

Нур қайтиш ва ўтқазилш 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) тузилмаларнинг массалар ва ион радиусларига, бунда масса қанча кўп бўлса, бир сингония кристаллари нур ютишининг асосий полосалари шунча кўп узун тўлқинли макон тарафига силжийди;
- 4) панжарадаги изоморф қўшилмалар ва бошқа факторларга.

18-§. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари

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

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

Модда ҳолатига тебраниш частоталарининг боғлиқлигини умумий кўринишда қуйидагича ифодалаш мумкин:

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

бу ерда, ν - тебраниш частотаси;

k - келтирилган мураккаб анионнинг атом массаси;

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

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

C - модданинг константаси.

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

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

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

Кристалл модда умумий равишда бир молекулаи 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 соддалаштиришлардан мумкин бўлган тебранишлар сони ёки нур ютиш полосаларини аниқлаш мумкин. Бундай кристаллар таркибига нисбатан оғир ионлар киради, шунинг учун уларнинг тебраниш частоталари узун тўлқинли спектрларда (12-15 мк дан катта ёки $800\text{-}700 \text{ см}^{-1}$ дан кичик) намоён бўлади.

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

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

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

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

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

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 (Леконт, 1958 й.). Бу фақат шартли равишда Борннинг кристаллодинамик назариясининг тахмини бўйича - панжаранинг кўшимча тебранишлари, кўшни элементар ячейкаларнинг атомлари эквивалент ҳолатда қарши фазада тебраниши орқали тушунтирилади. Бундай тебранишлар сони катта бўлиши мумкин. Масалан, юқори панжарали кварц учун назарий жиҳатдан 189 тебраниш бўлиши мумкинлигини кўриш мумкин.

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

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

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

$[\text{SiO}_4]^{4-}$) старли даражада изолировка қилинган ва уларни катта бўлмаган атомлар сонидан ташкил топган молекула деб қараш мумкин.

Мураккаб гуруҳдан ташкил топган моддаларнинг тебранишини:

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

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

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

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

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

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

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

Гуруҳларнинг маълум даражада қонуний жойлашиши масаласига келсак, масалан, бир турли сингония кристаллари учун, текширилаётган мураккаб гуруҳнинг нур ютиш полосаси ҳолати қўшни гуруҳ 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, лювигит, гранат, хлорит) учун ИҚ нур ютиш полосаси изоморф гуруҳлар ҳолатига тўғри пропорционал равишда силжиши топилган (Архиненко, 1963 й.; Александров, 1965 й.; Ковалев ва бошқалар, 1965 й.). Бу шунинг билдирадигани, изоморф гуруҳ (ион) текшириладиган гуруҳ нур ютиш полосасини силжишини юзага келтиради. Минералнинг механик қўшилмалари эса текшириладиган 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 кристалллилигини ИҚ нур ютиш спектрларига таъсири, баъзи гуруҳларнинг нур ютиш полосаларини сони ва парчаланиши билан ифодаланади, чунки парчаланиш тавсифи кристалл панжара тури билан аниқланади. Аморф моддаларда парчаланиш полосаси кузатилмайди.

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

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

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

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

PO₄ га-1100-1000,830-780 ва 650-500 см⁻¹; арсенатлар ва AsO₄ га — 900-780, 550-400 ва 350 см⁻¹; сульфатлар ва SO₄ га-1250-1000,650-610 ва 450 см⁻¹; карбонатлар ва CO₃ га-1450-1410,880-860 ва 740-680 см⁻¹; нитратлар ва NO₃ га-1380-1350 ва 840-815 см⁻¹; вольфраматлар ва WO₄ га- 930-810, 450-400 ва 320 см⁻¹; молибдатлар ва MoO₄ га — 950-810, 450-400 ва 320 см⁻¹; ванадатлар ва VO₄ га — 1150-730, 480-450 ва 350 см⁻¹.

19-§. Кальцит минералининг инфрақизил спектрлари ҳақида

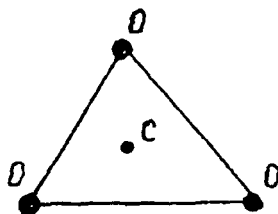
Кальцит минерали CaCO₃ табиатда кўп тарқалган табиий минераллар туркумига киради. У боғловчи ва шиша маҳсулотлари ишлаб чиқаришда кенг қўлланиладиган хом ашё бўлиб хизмат қилади.

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

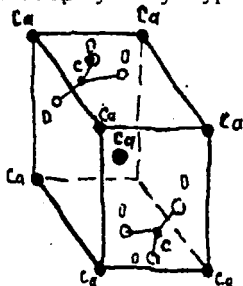
Табиий ва синтетик карбонатлар ИҚ спектрини текшириш 1952-1971 йиллар ичида Миллер, Вайт, Анжино, Ле Наво, Харитонов ва бошқалар томонидан систематик равишда олиб борилди. Натижада карбонат минераллари спектрларининг асосий частоталари аниқланди:

Модда	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4
Кальцит-CaCO ₃	-	879	1429-1492	706
Арагонит-CaCO ₃	1080	866-852	1492-1504	706
Магнезит-MgCO ₃	1096	886-851	1460	735
Доломит- CaMg(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

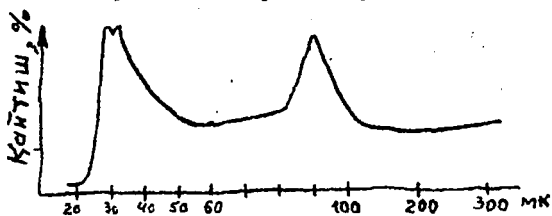
Куйида CaCO_3 минералининг ИҚ спектрлари батафсилроқ кўриб чиқилади. CaCO_3 - кальцит: У CO_3^{2-} группасидан ташкил топган ва С атомлари ясси бир хил томонли учбурчак марказини ҳосил қилади. Бу ерда тўртта шохсий тебраниш, ҳар бирига мос келувчи ўзининг нур ютиш полосаси бўлиши мумкин. Углероднинг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



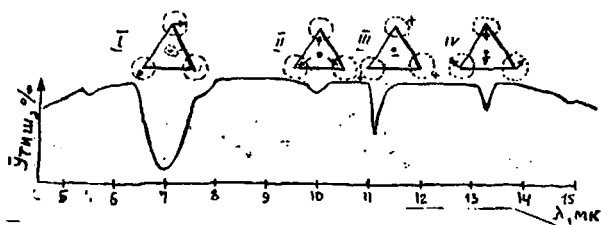
11-расм. Кальцитни ташкил қилувчи учбурчак ёки пирамида.



12-расм. CaCO_3 нинг тузилиши.



13-расм. Кальцитнинг нур қайтариш спектри.



14-расм. Кальцит минералининг ИҚ нурларини ютиш спектрлари.

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

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

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

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

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

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

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

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

20-§. Таҳлил имкониятлари

Инфрақизил спектроскопик таҳлилдан қуйидагиларни текширишда фойдаланилади:

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

Текширишдан кузатилган мақсад:

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

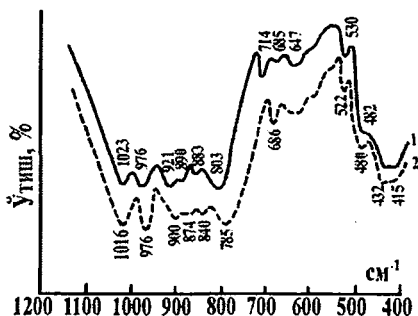
Бу ҳолатни расшифровка қилишнинг икки моменти бор: а) иккинчи минерал номаълум, спектрлар бўйича биз уни геленитларга ҳослигини ва унинг Me_2^{2+} Me_2^{3+} $Me_4^{4+}O_7$ кўринишидаги формулага эга дейишимиз мумкин; б) синтетик $Sr_2Al_2SiO_7$ оксидларидан синтез қилинган ва хоссалари бўйича у геленитга мос келади (15-расм).

2) Ярим миқдорий кимёвий таркибни аниқлаш учун: Масалан, айтайлик 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 тааллуқли бўлиб, унинг шишасимон ҳолатда эканлигини тасдиқлайди. Намуналар $1550^\circ C$ ли ҳароратда 1 соат давомида синтез қилинган ва тез тобланган.

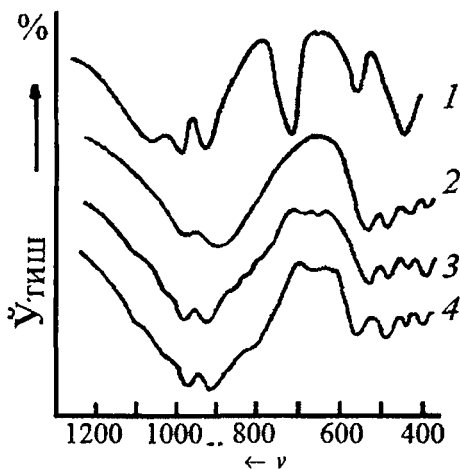
4) Моддадаги мураккаб гуруҳларнинг таҳлили (18 ва 19-расмлар), масалан, SiO_4 , AlO_4 , AlO_6 , MgO_4 , MgO_6 ва бошқа анионлар (нур ютиш полосаси ҳолати ва миқдори бўйича аниқланади).

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



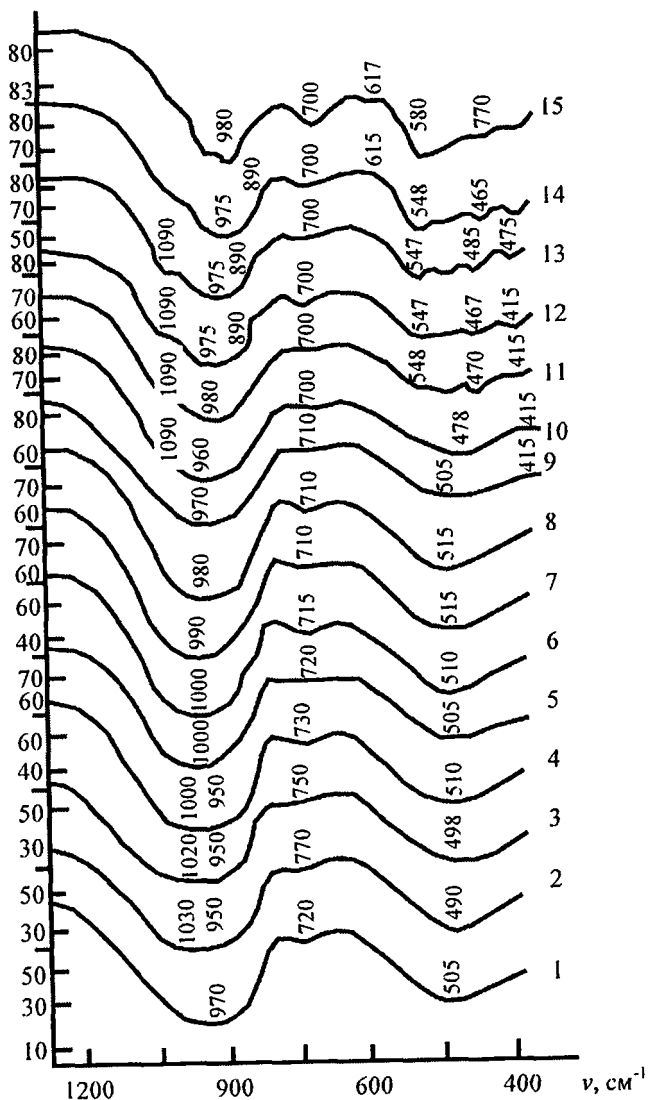
15-расм. Синтетик мелилитларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

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

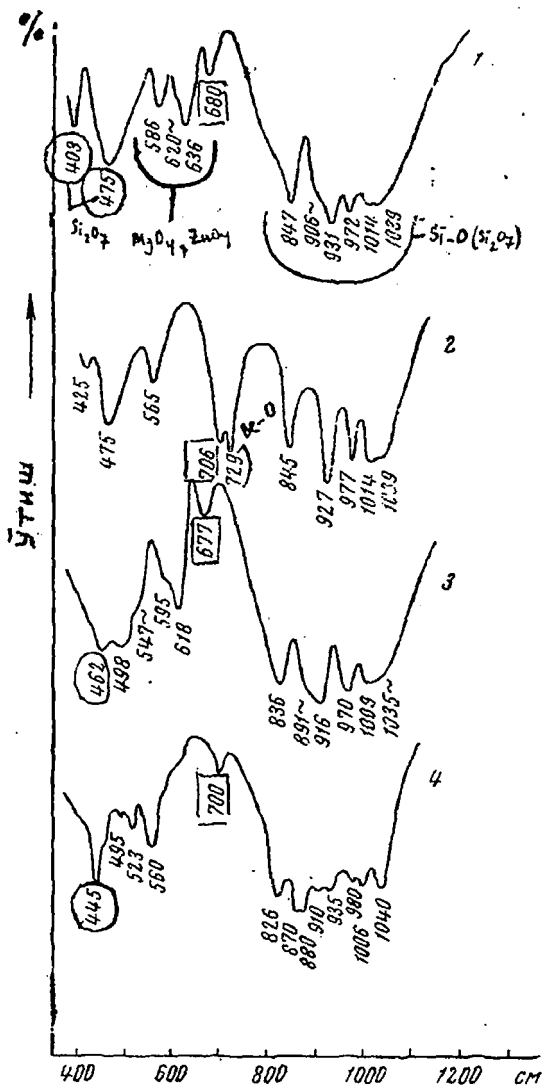


16-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

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



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



18-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиши спектрлари:

1-окерманит $Ca_2MgSi_2O_7$;

2-бериллийли окерманит $Ca_2BeSi_2O_7$;

3-рухли окерманит $Ca_2ZnSi_2O_7$;

4-қўрғошинли окерманит $Pb_2ZnSi_2O_7$.

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

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

8) Тузилманинг 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 о 0,5 % атрофида) ҳолати полосаларининг силжиши одатда кирувчи элементларнинг (группанинг) изоморфлик миқдорига тўғри пропорционал бўлади.

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

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

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

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

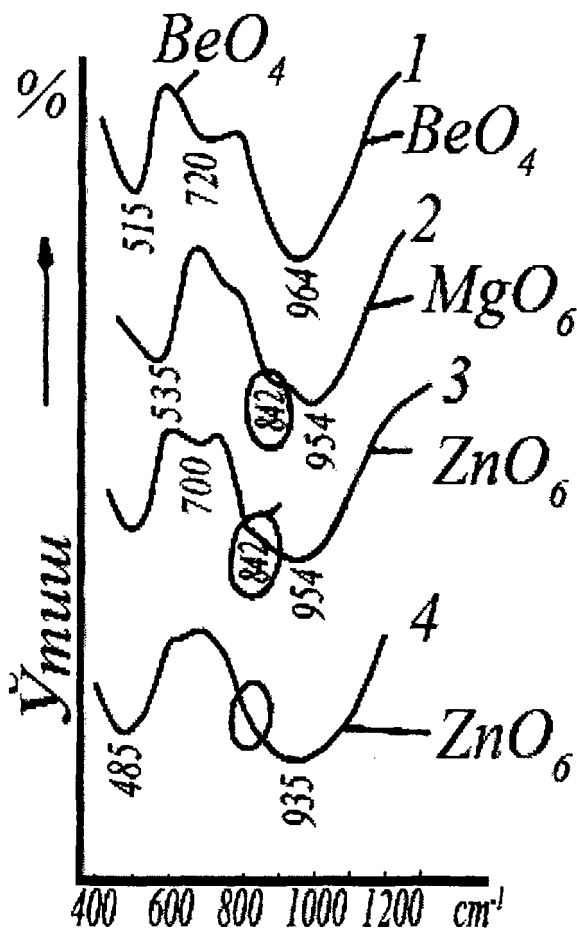
$$n_1^2 - 1 / n_1^2 + 2 = (n_2^2 - 1) \lambda_1^2 / (n_2^2 + 2) \lambda_2^2 / \ln J_1 / J_0 / \ln J_2 / J_0,$$

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

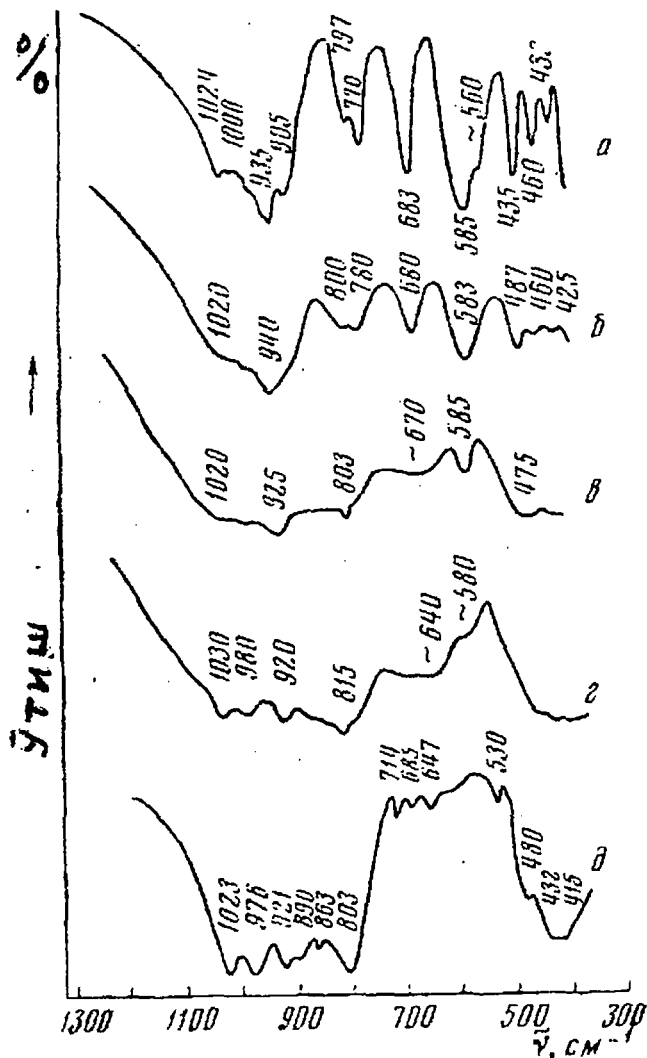
$n_2 - \lambda_2$ - тўлқин узунлиги учун маълум нур синдириш кўрсаткичи;

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

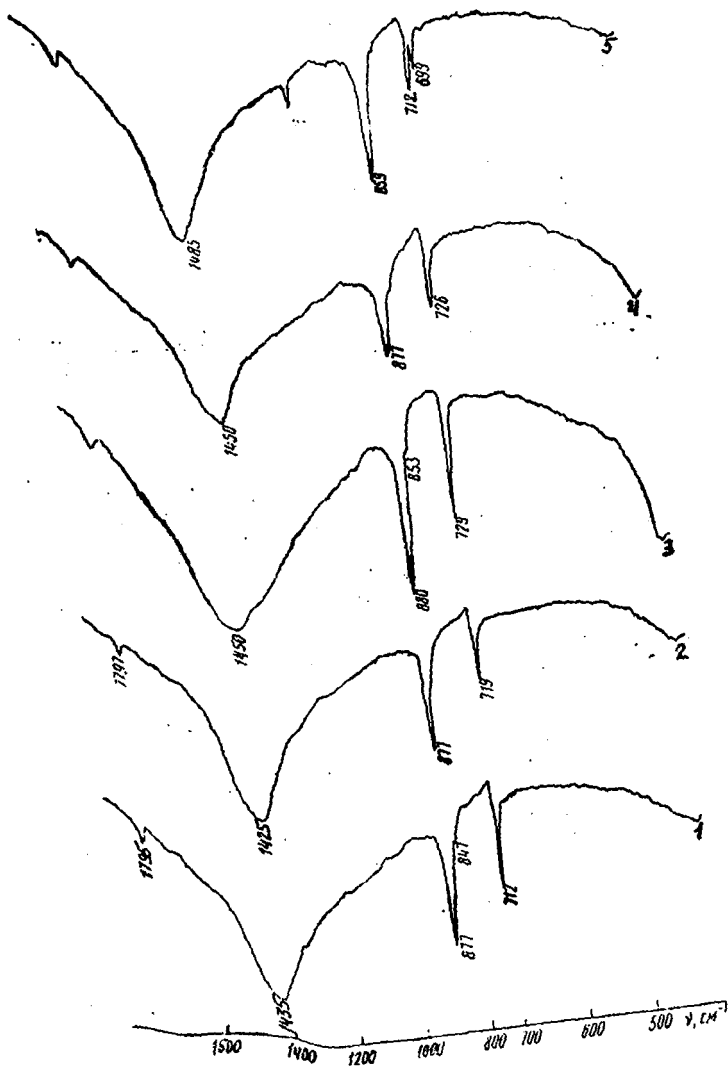
13) Ионлар, атомларнинг ўлчамлари ва ионлар орасидаги бурчакларни аниқлаш учун, %SiOSi.



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



20-расм. ИҚ нур ютиш спектрлари: а) $Y_2SiBe_2O_7$; б) $Ca_{0,5}Y_{1,5}SiAl_{0,5}Be_{1,5}O_7$; в) $CaYSiAlBeO_7$; г) $Ca_{1,5}Y_{0,5}SiAl_{1,5}Be_{0,5}O_7$; д) $CaSiAl_2O_7$ (намуналар KBr аралашмаси билан пресслаб тайёрланган).



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

21-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари

Афзаллиги:

1. Текширув учун жуда оз миқдорда (1-10 мг) модда олиш.
2. Қатлам қалинлиги бир неча микрондан иборат бўлиши.
3. Текширув учун олинган намунада йўқотишлар содир бўлмайди.
4. ИК нурланишдан текширилаётган моддада кимёвий ва физикавий ўзгаришлар содир бўлмайди.
5. Маълум группалардаги атомларнинг жойлашиши, фазавий ҳолати ва умуман жуда нозик тузилма таҳлилини олиб бориш имконияти.
6. Тажриба натижаларининг автоматик равишда фотоқоғозга тушириш.
7. Тез парчаланиб кетувчи, ўзгарилешнинг 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. Микродий анализ натижаларининг юқори даражада эмаслиги.
3. ИҚ нурларини қайтариш спектрларини олишни бироз қийинлиги.
4. Решетканинг ички тебранишлари билан анионлар тебраниши ўртасидаги боғлиқликни кўрсата била олиши.
5. Кристаллнинг майдон кучланишини ифодаловчи коэффициентлар тўпламини етарли даражада ишончли эмаслиги.
6. Қиймати жиҳатидан яқин ва изоморф ўзгарувчан атомларнинг тебраниш частоталарини идентификациясидаги қийинчилик.
7. Моддаларни механик майдалашда ва КВг билан таблеткалар пресслашда тузилма ўзгариши эҳтимолдан ҳоли эмас. Яна текширилаётган модда кристалларининг КВг билан арашиб кетиши.
8. Куқуннинг баъзи қисмларида нурланишнинг ҳар хил ўтириши натижасида нур қайтариш ва ютилишида ноаниқ эффектларнинг пайдо бўлиши.

22-§. Инфрақизил спектроскопия усули аппаратлари

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Турли фирмаларнинг жиҳозлари бир-биридан ИҚ спектрларини аниқ тарзда бериши, ишининг стабиллиги, спектр олишдаги автоматик жараёнлари билан фарқ қилади. Турли жиҳозларда олинган ИҚ спектрларни фақат фотометр таркиби бир хил бўлса ёки жиҳозий 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) 1000 мк ли тўлқин узунлигидаги нурлар). Манбадаги Глобар стержени ёки Нернст штифти

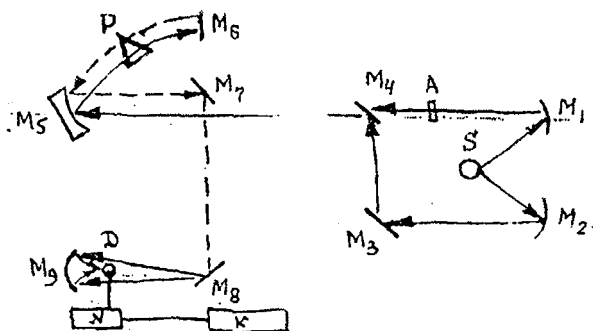
орқали нур ҳосил қилинади ва у фокусловчи кўзгу орқали узатилади.

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

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

4) Қабул қилувчидан келаётган электрик сигнални кучайтиргич.

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



22-расм. ИҚ-спектрометрининг соддалаштирилган схемаси:

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

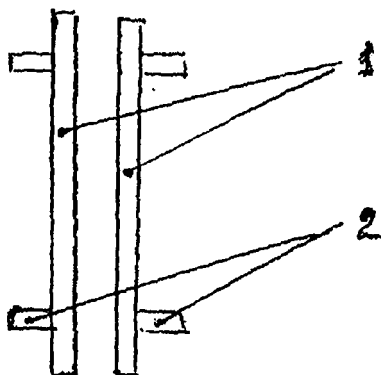
Қуйида биз юқорида номи қайд этилган деталларнинг баъзи бирлари устида батафсилроқ тўхтаймиз.

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

II. Спектрометр призмаси. Одатда призма кўринишида қўлланилади: шиша $\Phi-1 = 2,8$ мк гача; кварц $SiO_2 = 3,5$ мк гача; $CaF_2 = 2,4-7,7$ мк гача; ош тузи $NaCl = 2-15,4$ мк гача;

$KBr = 9-26$ мк гача; $CsI = 10-50$ 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 қаршилиқлар ўзгариши регистрация қилинади.



23-расм. Микрокюветнинг тузилиши:

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

Термоэлемент (Рубенс, 1898 й.) - нурланишдан ҳосил бўлган иссиқлик туфайли 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 инфракүзил спектрометрларни частота ва тўлқин узунлиги бўйича градуировка қилиш ўта муҳим масала. У бир қанча усуллар орқали амалга оширилиши мумкин. Энг қулайи спектрометрни дифракцион спектрометр орқали аниқланган эталон спектрлар ёрдамида текшириш.

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

2000-660 см⁻¹ оралиғида градуировка қилиш учун сув буг, аммиак ва СО₂ лардан фойдаланилади.

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

10-жадвал

Спектр макони, см ⁻¹	Модда	Призма материали
4500-4120	СН ₄	шиша, LiF
3900-3560	Н ₂ O ва СО ₂ (атмосферали)	шиша, LiF
3510-3170	NH ₃	LiF ва CaF ₂
3170-2880	СН 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	СО ₂	LiF ва CaF ₂
1990-1360	Н ₂ O ва СО ₂ (атмосферали)	LiF ва CaF ₂
1385-1250	Интерполяция	NaCl
1360-1250	СН ₄	CaF ₂
1230-720	NH ₃	NaCl
740-420	СН ₃ ОН	NaCl, KBr
720-650	СО ₂ (атмосферали)	KBr
720-280	Н ₂ O ва СО ₂ (атмосферали)	KBr, CsI

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

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

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

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

Аппарат мосламалари. ИҚ спектрометрлар мосламаларига қуйидагилар киреди:

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

2. Катта босим учун кюветлар.

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

24-§. Препаратларни тайёрлаш усули

Монокристалл ва поликристалл (кукун) лардан намуналар турлича тайёрланади.

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

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

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

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

Плёнка қалинлигини қуйидагича топилади:

$$t = \frac{m}{\rho} (\text{см}),$$

бу ерда, m - кукуннинг массаси, г;
 a - дискнинг юзаси, см² ;
 ρ - модданинг зичлиги, г/см³ .

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 ўтқазини, сўнгра қуруқ кукунли плёнка ҳосил бўлгунча буглатиш йўли билан қуритиш. Одатда, 2 г кукунга 100 мл спирт қўшилади. Жараён охирида ҳосил бўлган плёнка қалинлиги 0,2-0,3 мг/см² 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 намуна 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 пресшлаш
 ↓
 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 майдонига қайтади. ИҚ нурларининг иссиқлиги натижасида термоэлементда э.д.с. ҳосил бўлади. У кучайтиргичда кучайтирилган ва махсус ёзув қурилмаси ёрдамида спектр ҳолатига келтирилади ва ёзилади.

25-§. ИҚ спектрларни ёзиб олиш

Амалиётда икки турли спектрларни ёзиб олиш ва 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 уларда фоиз миқдори аниқланади.

1. Қанча фоиз нур ўтади ва ютилади;

2. Қанча фоиз нур қайтади.

В.А. Флоринская маълумотлари бўйича, 50 фоиз $\text{Na}_2\text{O}+50\%$ SiO_2 дан ташкил топган ва 620°C да кристалланган шишада:

1) 13,2 мк да

ўтказди - 70 %,

қайтарди - 7 %,

ютилади ~ 23%.

2) 11,2 мк да

ўтказди - 55%,

қайтарди - 25%.

ютилади ~ 20%.

3) 10,2 мк да

ўтказди - 33 %,

қайтарди - 42 %.

Кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги полоса экстремумларининг ҳолати

11-жадвал

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

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

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

12-жадвал

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

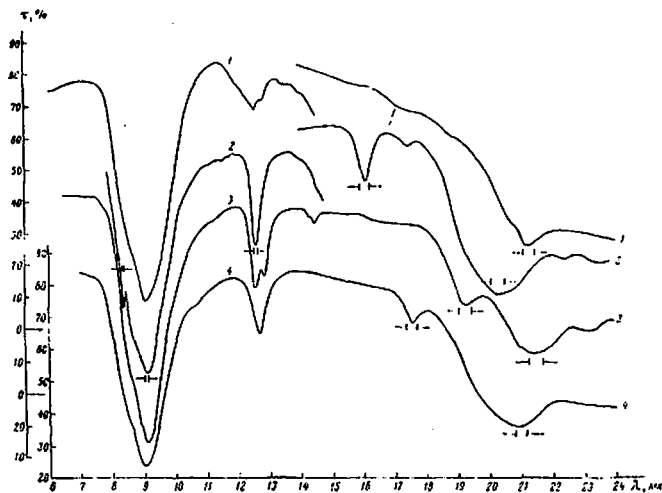
ютилади ~ 25%.

4) 7,8 мк да

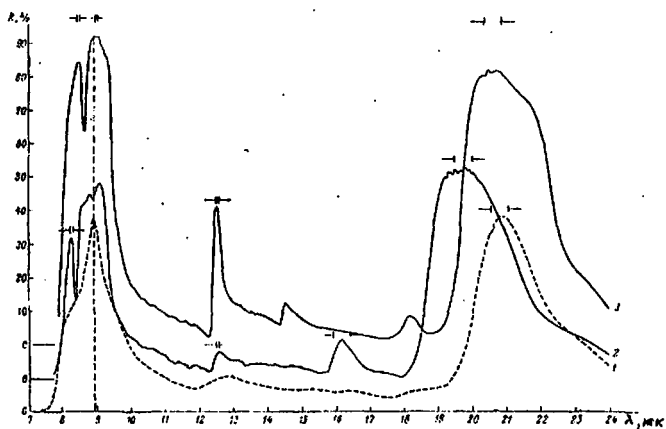
ўтказилади - 70 % ,

қайтаради - 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 -кristобалит; 3 - α -кварц (оптик ўқиға перпендикуляр кесилган).

26-§. Муҳим фазаларнинг ИҚ спектрлари

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

I. Кремний-Si асосидаги группалар учун:

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

II. Алюминий - Al асосидаги группалар учун:

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

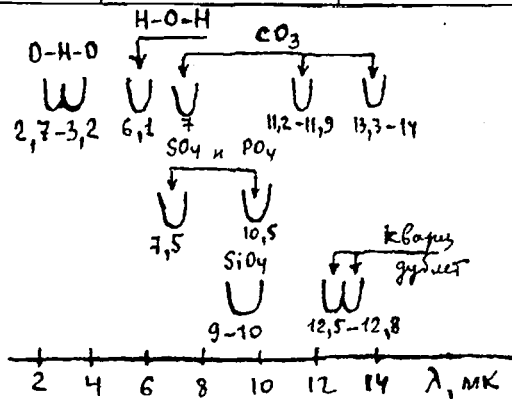
Шундай қилиб, амалий жиҳатдан олинган спектрларни маълум модданинг одатий полосаларига таққослаш бўйича тадқиқ қилинади. Полосаларнинг ҳолати атом гуруҳлари, ионлари ва гуруҳларидаги боғланишларга боғлиқ ҳолда ўзгаради.

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

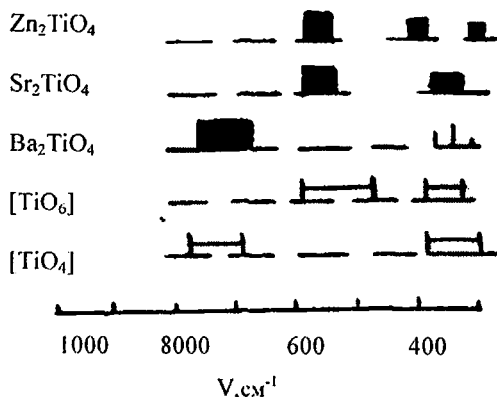
ОН-ионининг рентгенография ва ИҚ спектроскопия бўйича ўлчами

13-жадвал

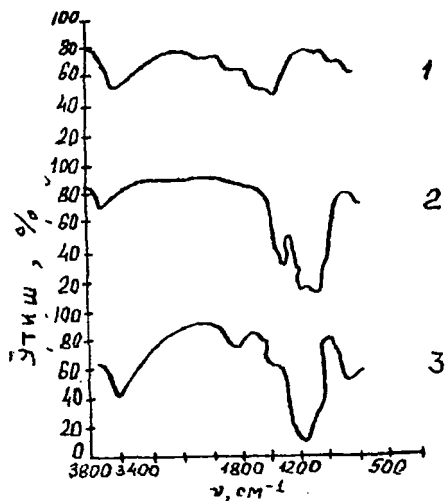
Бирикма	Гидрооксиднинг ион радиуси, А	
	рентгенографик	Спектроскопик
$B(OH)_3$	1,15	1,12
$\gamma-Al(OH)_3$	1,16	1,22
$\gamma-FeO(OH)$	1,35	1,33



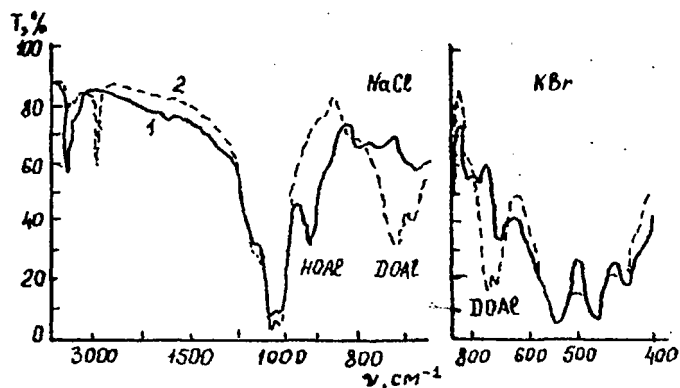
26-расм. Баъзи бир группаларга хос ИҚ-полосалари.



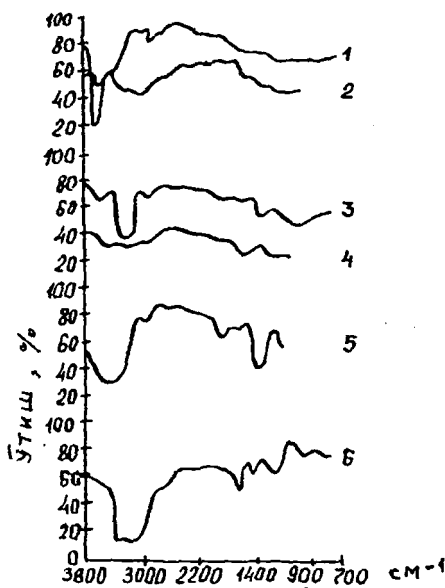
27-расм. Ортотитанатлар ИҚ спектрлари (Zn - ва Sr ли бирикма-ларда — титан октаэдрик координацияда) ва (Ba -ли бирикмада титан тетраэдрик координацияда).



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 гидросульфалминати;

6 – кальцийнинг уч сульфатли гидросульфалюминати.

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

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

Қуйидаги 14-жадвалда пирогуруҳлар учун хос бўлган маълумотлар келтирилган.

Пиросиликат ва пирогерманат частоталари

14-жадвал

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

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. Юқоридаги 29-расмда уларга оид ИҚ спектрлар келтирилган.

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

27-§. Инфрақизил спектроскопик таҳлиliga оид диагностик маълумотлар

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

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

15 - жадвал

Модданинг номи, формуласи ва маълумот манбаи	Ютиш области					
	ν, см ⁻¹	I	ν, см ⁻¹	I	ν, см ⁻¹	I
Аморф кварц – SiO ₂ [18]	468	Кн.	700	Кз.	804 1098	Ў. Ж.кп.

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

β-Воластонит – CaO·SiO ₂ [16]	1087	Ж.ки.	925	Ж.кз.	566	Ү.
	1056	Ж.кз.	904	Ж.кз.	508	Ү.
	1019	Ж.кз.	650	Ү.	471	Кз.
	964	Ж.кз.	642	Ү.	452	Ж.кз.
Бустамит – CaO·MnO·2SiO ₂ [16]	1086	Ки.	872	Ж.кз.	560	Ү.
	1062	Ж.кз.	850	Ү.	525	Ү.
	979	Ж.кз.	803	Ү.	510	Кз.
	951	Ж.кз.	660	Ү.	465	Ж.кз.
Родонит – CaO·4MnO·5SiO ₂ [16]	1080	Ки.	900	Ж.кз.	559	Ү.
	1063	Ж.кз.	720	Ү.	532	Ү.
	1023	Ж.кз.	690	Кз.	514	Ү.
	998	Ки.	661	Ү.	492	Ж.кз.
	951	Ж.кз.	638	Ү.	458	Ж.кз.
	916	Ж.кз.	577	Ү.	-	-
Тремолит – 2CaO·5MgO· 8SiO ₂ ·H ₂ O [16]	1107	Ж.кз.	920	Ж.кз.	530	Ж.кз.
	1074	Ки.	758	Ү.	510	Ж.кз.
	1048	Ки.	730	Кз.	466	Ж.кз.
	1020	Ки.	687	Ү.	451	Ж.кз.
	998	Ж.кз.	662	Кз.	-	-
	952	Ж.кз.	645	Ки.	-	-
Акинолит – 2CaO·5(Mg, Fe)O· 8SiO ₂ ·H ₂ O [16]	1094	Ж.кз.	914	Ж.кз.	646	Кз.
	1052	Ки.	755	Ү.	540	Ки.
	1037	Ки.	727	Кз.	507	Ж.кз.
	1012	Ки.	682	Ү.	466	Ж.кз.
	985	Ж.кз.	658	Кз.	453	Ж.кз.
	948	Ж.кз.	-	-	-	-
Аптофиллит – 7(Mg, Fe)O·8SiO ₂ · H ₂ O [16]	1097	Ж.кз.	903	Ки.	662	Ү.
	1059	Ки.	781	Ү.	553	Ки.
	1047	Ки.	756	Кз.	532	Ки.
	1016	Ж.кз.	755	Ж.кз.	494	Ж.кз.
	976	Ж.кз.	710	Ү.	448	Ж.кз.
	917	Ки.	688	Ү.	-	-
Тальк – 3MgO·4SiO ₂ ·H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	1706	Ж.кз.	539	Ү.
	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	Ү.	447	Ж.кз.
	1818	Ж.кз.	670	Ки.	426	Ү.
	1770	Ж.кз.	-	-	-	-
Сапонит – Mg ₃ (Al _{0,33} , Si ₃₋₆₆)· O ₁₀ ·(OH) ₂ · Na _{0,33} ·H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	809	Ж.ки.	534	Ү.
	3697	Кз.	783	Кз.	490	Кз.
	3670	Кз.	737	Кз.	464	Ж.ки.
	1056	Ж.кз.	692	Ү.	450	Ж.ки.
	1005	Ж.ки.	655	Ү.	420	Ү.
Гекторит – (Mg, Li) ₃ (Al _{0,33} , Si ₃₋₆₆)O ₁₀ ·(OH) ₂ · Na _{0,33} ·H ₂ O [16]	4330	Ж.кз.	1011	Ж.ки.	655	Ү.
	3600	Кз.	795	Ж.ки.	533	Ү.
	3610	Кз.	696	Ү.	465	Ж.ки.
	1073	Ж.ки.	-	-	-	-

Оксерманит – $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	380	Кз.	675	Кз.	920	Ки.
	460	Ў.	830	Ки.	950	Ки.
	560	Кз.	880	Ки.	1000	Ки.
	600	Ў.	-	-	-	-
Бериллийли оксерманит – $2\text{CaO}\cdot\text{BeO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	390	Кз.	675	Ў.	950	Ки.
	460	Ў.	840	Ки.	975	Ки.
	550	Кз.	900	Ки.	1000	Ки.
Гардистонит – $2\text{CaO}\cdot\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	430	Ў.	640	Кз.	940	Ки.
	475	Кз.	830	Ки.	1000	Ки.
	560	Кз.	900	Ки.	-	-
	600	Ў.	-	-	-	-
Күрғошинли гардистонит – $2\text{PbO}\cdot\text{ZnO}\cdot 2\text{SiO}_2$ [29]	440	Ў.	800	Ки.	930	Ки.
	480	Кз.	860	Ки.	975	Ки.
	575	Ў.	900	Ки.	1040	Ки.
	700	Кз.	-	-	-	-
Сиптетик β - Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	480	Кз.	665	Кз.	1003	Ки.
	520	Ж.кз.	754	Ў.	1040	Ки.
	540	Кз.	805	Кз.	1150	Кз.
Сиптетик α - Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ [16]	480	Ки.	665	Кз.	937	Ки.
	510	Ў.	705	Ки.	962	Ки.
	560	Кз.	762	Кз.	985	Ки.
	612	Ў.	920	Кз.	1015	Ки.
	-	-	-	-	1052	Ки.
Табий Эвкрипит – $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ [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 – $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{OH})_4$ $(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ [18]	726	Ў.	1000	Ки.	1306	Ки.
	760	Кз.	1030	Ки.	1347	Ў.
	790	Ў.	1058	Кп.	-	-
	857	Кз.	1107	Ки.	-	-
Хирмонтсена 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 иккиламчи као- лини [35]	475	Кп.	810	Ў.	1400	Кз.
	625	Кз.	950	Кз.	-	-
	700	Кз.	1100	Ки.	-	-
Қамишбоши – Чимион кони гилес [35]	480	Ки.	710	Кз.	850	Ў.
	510	Ў.	750	Кз.	1050	Ки.
	530	Ў.	810	Ў.	1410	Кз.
Бағдихон кони гилтупроғи [35]	840	Ки.	675	Кз.	810	Ў.
	545	Ки.	690	Кз.	1050	Ки.
	650	Кз.	710	Кз.	1460	Кз.
Сардара кони фосфорити [30]	410	Кз.	610	Ў.	880	Ў.
	475	Кз.	660	Кз.	980	Кз.
	525	Кз.	695	Кз.	1050	Ки.
	575	Ў.	720	Кз.	1100	Ки.
Сардара кони фосфорити – 1350°C да куйди- рилган [30]	410	Кз.	610	Ў.	1105	Ки.
	475	Кз.	655	Кз.	1160	Ки.
	525	Кз.	975	Кз.	-	-
	580	Ў.	1050	Ки.	-	-
Кермаца кони кварц – дала шпати [30]	700	Ж.кз.	815	Ў.	1500	Кз.
	710	Кз.	1075	Ж.ки.	1670	Кз.
	795	Ў.	1180	Ки.	1857	Кз.
Битаб кони кварц – дала шпати [30]	430	Ў.	615	Кз.	1015	Ки.
	465	Кз.	630	Кз.	1055	Ки.
	535	Ж.кз.	730	Кз.	1140	Ки.
	590	Ў.	775	Кз.	-	-
Битаб кони фос- форити – 1350°C да куйдирилган [30]	420	Ў.	570	Кз.	766	Кз.
	460	Ў.	730	Кз.	1060	Ки.
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°C да куй- дирилган [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.
Бигаб кони дала шпати киритилган 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.
Султонуздаг кони дала шпати киритилган чинни масса-си— 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 масса-си — 1350 ⁰ С да куйдирилган [30]	470	Ки.	615	Кз.	790	Кз.
	555	Ў.	700	Кз.	1090	Ки.

Изоҳ: Бу ерда ва бошқа жадвалларда куйидаги 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 λ , мкм ва см⁻¹ ўлчов бирликларида келтиринг.
3. ИҚ нурларини қайтариш ва ўтказиш миқдорлари қандай формулалар билан ифодаланади?
4. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари нима билан изоҳланади?
5. ИҚ нурларни ютиш, ўтказиш ва қайтариш спектрлари қандай ифодаланади?
6. Нур ютиш полосалари ҳақида тушунча беринг.
7. Нур ўтказиш полосалари моҳиятини тушунтириб бериш.
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 шималарни биласиз?
16. Кремнезем ИҚ спектрлари полосаларининг экстремумлари ҳолати қандай?
17. Кремний тетраэдрларига қандай полосалар хос?
18. Алюминий гуруҳлар учун қандай полосалар хусусиятли ҳисобланади?

ТЎРТИНЧИ БОБ ТЕРМОГРАФИК ТАҲЛИЛ

28-§. Термография усули табиати

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

Термография усулининг турлари жуда кўп. Энг асосийлари қаторига киради:

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

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

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

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

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

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

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

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

Термик таҳлилдаги дифференциал ёзувларнинг киритилиши усул сезувчанлигини янада 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. Сиромятников тажриба вақтида дифференциал қиздириш эгрилигига ҳарорат шкалаларини суртиш (тушириш) усулини таклиф қилганидан сўнг, термик таҳлил учун аппаратга иккинчи кўзгули гальванометрининг уланиши ва оддий қиздириш эгрилигини ёзишнинг хожати бўлмай қолди. Янги функциялар билан термик таҳлил физик-кимёвий анализ рамкасини яна кенгайтди. 1939 йилда И.В. Тананаев термик таҳлилни термография деб аташни таклиф этди.

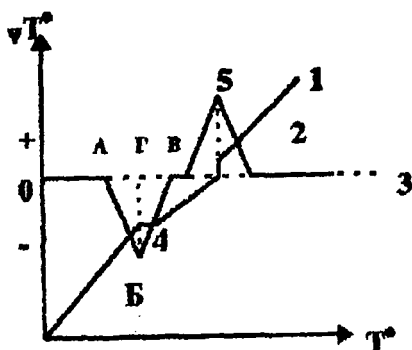
Термография деганда текширилаётган модданинг ихтиёрий нуқтасидаги ҳароратни (ёки ҳароратдаги бирор функцияни) аниқ дастур бўйича моддани узлуксиз равишда қиздирилганда ёки совитилгандаги ҳолатини қайд этиш тушунилади.

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

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

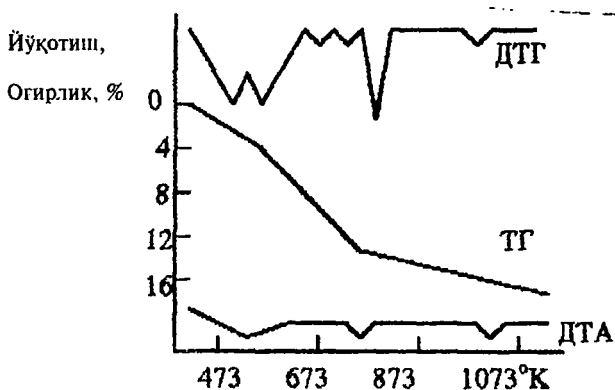
Қайтмас жараёнларга киритиш мумкин: кам барқарор ҳолатдан юқори барқарор ҳолатга ўтиш реакциялари, қаттиқ эритмаларнинг парчаланиши, аморф ҳолатдан кристалл ҳолатга ўтиш, ўзаро таъсир реакциялари, монотроп ўзгариш ва бошқалар.

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



32-расм.

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



33-расм. Тоза цемент хамирига оид дериватограмма.

30-§. Дифференциал термик анализ (ДТА)

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

Берилган ушбу ҳолатда дифференциал термопара бир вақтнинг ўзидики ҳароратни ўлчайди: 1) текшириляётган модданинг температураси; 2) ҳарорат фарқи ёки қиздириляётган модданинг текшириляётган ҳарорат 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 $\text{CaCO}_3 - \text{CaO} + \text{CO}_2$ (декарбонизация);

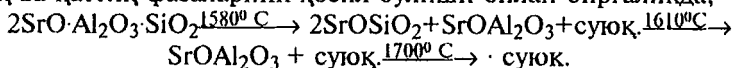
2) Термик парчаланиш, яъни газсимон фаза ажралмасдан модданинг парчаланиши билан.

Масалан, алит минералининг парчаланиши:

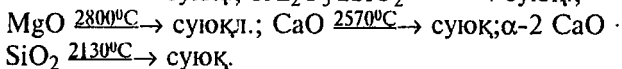
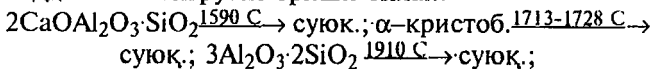


3) Энантиотрон характерли полиморф ўзгариш билан. Масалан, α -кварц \rightarrow α -тридимит (кенгайиш 16%); β - CaSiO_3 (2,91-г/см³) \rightarrow α - CaSiO_3 (2,90-г/см³).

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



5) Модданинг конгруэнт эриши билан:



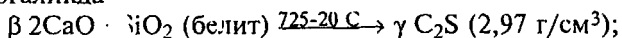
6) Қайнаш — бўғланиш ва возгонка;

7) Қайтар реакциялар.

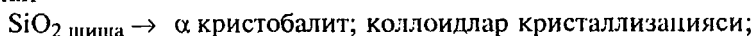
Моддаларнинг дифференциал термик анализ шаклларида экзотермик эффект қуйидаги сабаблар туфайли содир бўлади:

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

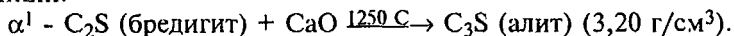
2) Морфотроп характерли полиморф ўзгариш, берилган ҳолларда нобарқарор модификациядан барқарорга ўтиш билан биргаликда



3) Нобарқарор аморф ҳолатидан кристалл ҳолатига ўтиш билан



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



5) Абсорбция жараёни рўй берганида;

6) Адсорбция жараёнида;

7) Кристаллнинг йириклашиш жараёнида;

8) Хемосорбция жараёни юз берганида;

9) Изомеризация жараёнида.

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

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

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

31-§. Комплекс термик анализ

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

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

Фотоқайд этиш қурилмаси сифатида Курнаков пирометри ишлатилган: барабаннынг фотоқоғозида бир вақтнинг ўзида термик эффектлар, намунанинг оғирлиги ва ҳажмнинг 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 анализда ҳам худди бошқа термография методларида рўй берадиган ҳолатдагидек кўп факторлар мавжуд. Улар тажриба натижаларининг аниқлиги ва қайта тикланишига гоҳ ижобий, гоҳ салбий таъсир ўтказиши. Уларни икки асосий гуруҳга бўлиш мумкин:

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

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

2. Намуна таркиби:

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

32-§. Дериватографик анализ

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

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

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

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

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

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

33-§. Усулнинг аппаратуралари

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

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

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

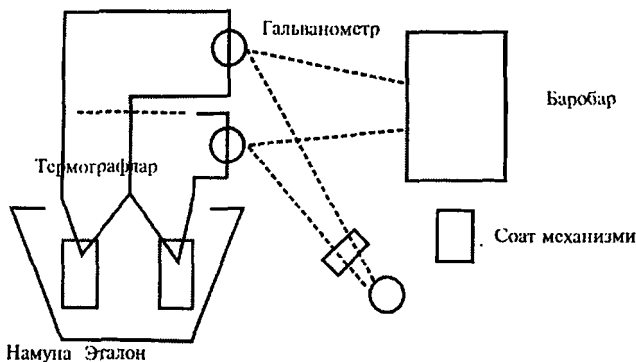
Агар тадқиқотларда термик таҳлил усули қўлланмаса, у ҳолда жуда кўп марта намуналарни куйдириш, жуда кўп рентгенограммалар олиш ва уларни расшифровка қилиш, кўп сонли шлифлар ясаш ва тадқиқотлар ўтказиш керак бўлар эди. Термография эса олимлар ишини тизимга солди ва тадқиқотлар сонининг максимал камайтириш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

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

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

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

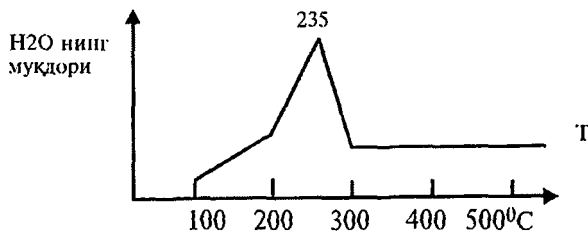
3) Эталон ва намуна солинадиган тигеллар (платинали, корундли, графитли ва бошқалар).



34-расм. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг чизмаси.



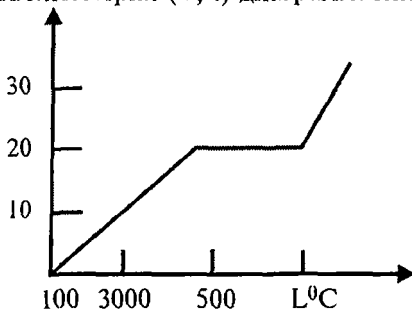
35-расм. Гипсош $2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нинг тензиметрик (P, t) чизиғи.



36-расм. Табиий гибссит минералининг дифференциал тензиметрия чизиғи.



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



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

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

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

Қуйида номи қайд қилинган жиҳозлар устида батафсил тунтириш берилади:

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

2. Печнинг терморегуляторлари сифатида автоматик 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 тизим. Электрон ўзи ёзувчи қурилмалар - ЭПП-09, ЭПД-09 типидagi потенциометрлар. Курнаковнинг замонавий вариантдаги пирометрлари - ФПК-52, ФПК-54, ФПК-57 (тебранишга, механик таъсирларга чидамсиз).

34-§. Дериватограф

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

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

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

Намуна учун тигеллар шундай ясалганки, унда содир бўлаётган қаттиқ фаза ва суюқ фазадаги реакцияларни ўрганиш мумкин. Дериватографнинг платина тигелидаги намунани ҳарорати электрик печ қизиши тезлиги билан бир хилда кўтарилади. Молданинг кукуни 50 дан 5000 мг. гача бўлади. Электронечнинг қизишини бошқарув программаси бўйича минутага 0,5° дан 20°С тезлик билан кўтарилиши таъминланади. Печнинг энг қизиган муҳитидаги максимал ҳарорат 150, 300, 600, 900, 1200°С. Максимал ҳато ± 5°С. 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. намуна оғирлигининг камайишини аниқлаш учун кўйилган. Термограммалар инерт газда олиниши мумкин. Жиҳоз тўла автоматлаштирилган.

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

МДХ мамлакатларида мавжуд бўлган жиҳозлар қаторига қуйдагилар кирди:

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

Қиздириш тезлиги минутига 70°C , молда 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, текшириладиган модданинг миқдори 0,02-0,09 г ни ташкил этади.

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

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

35-§. Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатометрия асбоблари

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

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

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

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

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

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

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

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

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

бунда l - текшириладиган модда намунасининг узунлиги;

Δl - ҳарорати Δt ° га оширилганда намуна узунлигининг ортиши;

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

36-§. Препарат тайёрлаш усуллари

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

а) минераллар таҳлили учун - 30-100 мг;

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

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

Материал тайёрланади:

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

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

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

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

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

37-§. Усулнинг имкониятлари, афзаллиги ва камчиликлари

Усулдан амалий жиҳатдан фойдаланиш имкониятлари. Уларга қуйидагиларни кўрсатиш мумкин:

1) Бу усулсиз илмий-тадқиқот иши олиб 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 ашё материаллари, минераллари, жинсларни минералогик таркибини уларнинг термик эгри чизиқларини бошқа эталон термограммаларга таққослаш йўли билан илк бор ахборотга эга бўлиш имконияти яратилди;

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

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

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

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

7) Минерал турини табиатдаги кимёвий ўзгаришини аниқлашга имкон беради;

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

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

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

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

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

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

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

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

6) Минерал турининг термоаналитик тафсифини аниқлаш имконияти;

7) -190° дан то +3000° гача ҳароратларда ДТА эгрилигини олиш имкони.

Усулнинг камчиликлари. Маълум даражада камчиликлар ҳам мавжуд:

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

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

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

38-§ Кимёвий жараёнларда содир бўладиган термик эффектларга оид маълумотлар

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

Баъзи кимёвий бирикма ва минералларнинг термик эффектлари

16-жадвал

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

Диккит – $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	480 – 590	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 – 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши, муллит ёки силлиманит ҳосил бўлиши
	Экзоэффект	1130 – 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Накрит – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	550 – 610	Дегидратланиш
	Экзоэффект	950 – 1050	Аморф махсулотларнинг кристалланиши
	Экзоэффект	1200 – 1250	Муллит ва кристобалит ҳосил бўлиши
Монтмориллоцит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $(\text{Al}_2, \text{Mg}_3)\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	50 – 150	Адсорбиланган сувнинг 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

Нонгронит – $m[3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O] \cdot p[(Fe^{3+}, Al)_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O] \cdot nH_2O$	Эндоэффект	100 – 200	Адсорбиланган ва цеолитли сувларнинг бугланиши
	Эндоэффект	400 – 625	Конституцион сувнинг чиқиши
	Экзоэффект	810 – 920	Янги кристалл модда пайдо бўлиши
	Экзоэффект	925 – 1180	Кристалланишнинг охирига етиши
Монотермит- $0.2RO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 1.5H_2O (+0,5H_2O)$	Экзоэффект	50 – 100	Кристалланишнинг охирига етиши
	Экзоэффект	450 – 550	Конституцион сувнинг чиқиши
	Экзоэффект	955 – 975	Кристалл модданинг ҳосил бўлиши
Галлуазит- $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$	Эндоэффект	50 – 140	Адсорбиланган сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	405 – 555	Конституцион сувнинг ажралиб чиқиши
	Экзоэффект	970 – 1060	Кристалл ва янги модданинг ҳосил бўлиши
Пирофиллит- $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	Экзоэффект	500 – 800	Сувнинг ажралиб чиқиши
	Эндоэффект	950 – 1100	Янги кристалл модданинг ҳосил бўлиши

Полигорскит- $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 5H_2O \cdot nH_2O$	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
Вагерит (фатерит)- k-форма $CaCO_3$	Эндоэффект	440	Кальцитга айланиш
	Эндоэффект	900 – 950	Диссоциаланиш
Тремолит- $2CaO \cdot 5MgO \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$	Эндоэффект	800	Конституцион сувнинг чиқиши
Шохли алдагич- $Ca, Na(Mg, Fe)_4 (Al, Fe) [(Si, Al)_4 O_{11}] \cdot (OH)_3$	Эндоэффект	400	Сувнинг ажралиши
	Эндоэффект	1175	Сувнинг бутунлайин ажралиб чиқиши
Кальций гидроксид – $Ca(OH)_2$	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 диссоцияланиши

Ангидрит — Ca SO_4	Эндоэффект	1190	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс- α - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	160	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	Дегидратланиш
	Эндоэффект	380	Ангидрит инверсияси
	Эндоэффект	1180-1200	Полиморф ўзгариш
Ярим молекула сувли гипс — $\beta\text{Ca SO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	120	Дегидратланиш
	Эндоэффект	180	Дегидратланиш
	Эндоэффект	240	0,5 мол H_2O йўқолади
	Эндоэффект	410	Ангидрил инверсияси
	Эндоэффект	1180 — 1200	Полиморф ўзгариш
Икки молекула сувли гипс- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Эндоэффект	100 - 120	Адсорбиланган сувнинг йўқолиши
	Эндоэффект	220	0,5 мол H_2O нинг йўқолиши
	Эндоэффект	240	0,5 мол H_2O нинг йўқолиши
	Эндоэффект	380 - 420	Ca SO_4 инверсияси
	Эндоэффект	1180-1200	Полиморф ўзгариш
Уч кальцийли силикат- $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Эндоэффект	920 - 925	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	970 - 980	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	990 — 1000	Полиморф ўзгариш
Алит- $54\text{CaO} \cdot$ $16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ MgO	Эндоэффскт	825	Полиморф ўзгариш
	Эндоэффект	1427	Полиморф ўзгариш

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

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

Такрорлаш учун саволлар

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

БЕШИНЧИ БОБ

РЕНТГЕНОГРАФИК ТАҲЛИЛ

39-§. Рентген нурларининг хоссалари

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

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

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

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

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

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

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

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

Рентген нурлари квант нурлари қаторига киради, таъсири гамма нурлари кабилар. Бу нурларнинг ҳиди йўқ. Улар рангсиз бўлиб, буюмлар ичига кириши, 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 ўтаётганда ўзгаради. Бу уларнинг қалинлиги, қаттиқлиги, солиштира оғирлиги ва кимёвий тузилишига боғлиқ. Газ ва ҳаво рентген нурларини сингдирмай ҳаммасини ўтказиб юборади. Лекин барий сульфат ёки қўрғошин 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 тузилган аппаратларда амалга оширилади, лекин уларнинг пайдо бўлиши бир хил тизимга — рентген трубкасида катодга юқори кучланиш берилганда ўздан электронлар — гамма нурлари чиқарилиши, уларнинг қутбланган антикатодга куч билан урилиши натижасида катта тезликда заррачалар отилиб чиқишига асосланган.

40-§. Рентген нурларининг дифракцияси

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

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

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

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

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

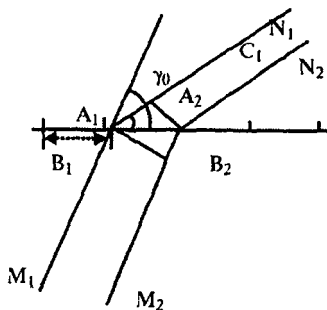
λ -рентген нурлари тўлқин узунлиги, A ;

d -кристалл панжарадаги атомлар юзаси орасидаги масофа;

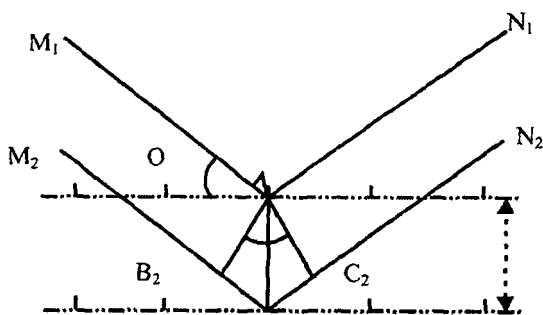
θ - атом юзасига тушаётган рентген нурлари тушиш бурчаги.

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

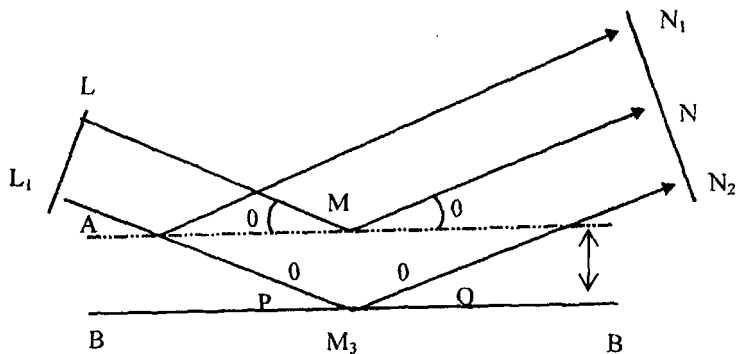
Рентген нурларининг синдириш кўрсаткичи бирга тенг деб қабул қилинган. Бу рақам рентген нурининг кристалл ташқарисидаги ва унинг ичидаги йўналишлари бир хил бўлади деган хулосани келтириб чиқаради.



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



40-расм. Вульф-Брегглар тенгласи 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 $M_1 A_1 N_1$ нл 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 учала фазовий координаталар бўйича бажарилиши зарур:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

намоён этади. Нурнинг бир бўлаги юқоридаги юзалан 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 фото-плёнкада) қайд этилганидан қатъи назар, қаттиқ моддаларнинг атом тузилишини ўрганишга имкон беради.

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

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

41-§. Рентген нурларининг олиниши

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

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

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

Бир неча линиялардан ташкил топган нурланиш электронларни бир орбитадан бошқага ўтишидан юзага келувчи рентген нурларини ифодалайди. Улар берилган элемент - антикатод учун аниқ бўлади ва уни одатий спектрларини пайдо этади. Одатий линиялар сериялар ташкил этади ва К, L, M ва бошқа ҳарфлар билан белгиланади. Линия ичидаги сериялар

$K_{\alpha_2}, K_{\alpha}, K_{\beta}$ лар билан белгиланади. Одатда, K_{α} - линиясининг дуплетидан фойдаланилади. Қолган линиялар эса филтрланади. Монохроматик рентген нурланишини олиш учун трубка антикатоди мос равишда молибден, родий, темир, мис, хром, никел, кобальтдан тайёрланади, “оқ” рентген нурланишини олишда платина ёки иридий ишлатилади. Масалан: Cu - мис. Тартиб рақами 29 : Ядро: протон + 29, электрон - 29 (17-жадвал).

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

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

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

42-§. Кристалл панжара текисликларидан масофани ҳисоблаш

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

Бунда модданинг ҳамма атомлари кристалл юза бўйлаб бир-бирдан паралелл ва тенг узоқликда жойлашганлигини намоён қилади. Қуйидаги схемада (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 қайтиш юзаси орасидаги бурчак; λ -рентген нурларининг тўлқин узунлиги; n -нур қайтариш тартиби (яхлит сон: 1; 2; 3; ..., n).

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

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

43-§. Текшириш усуллари

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

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

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

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

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

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

Тиббиётда қўлланиладиган асосий усуллар қаторига қуйидагилар қиради:

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

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

3. Флюорография - аъзо тасвири махсус аппарат билан суратга олинади, бунда плёнка автоматик ҳолатда сурилди.

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 суғъий минералларнинг тузилиши микроскопик таҳлил асосида 1900 йил атрофида ўрганиб бўлинди. Натижада қаттиқ жисм атомлари тузилмаси ҳажмий тўғри, унда атомлар маълум тартибда жойлашганлиги таъриф этилди. Лекин 1921 йилда эса рентген нурлари ёрдамида уларни қайта текшириш бошланди. Бу амалий текшириш фан ва техникани ниҳоятда бойитди, минеролог-кристаллографларнинг шу онга қалар ҳам тўғри талқин ва башора қилишганликларини тасдиқлади.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АРС-4 аппарати. У портатив, жуда тор нур боғларини олиш учун ишлатилади. Аппаратда БСВ-5 (чиқиш сони-2) микрофокус трубкадан фойдаланилади. Трубка аноди катта кучланиш остида бўлиб, катод ерга улаб қўйилган. Корпуснинг катод чўғлаш иплари химояланган 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 ҳароратларда, вакуум ва босим остида олиб борилиши мумкин. Юқори ҳароратларда рентгенографик шаклларни олиш юқори ҳароратли фазавий ўзгаришларини қайд қилиш учун, модданинг юқори ҳароратда қандай параметрларига эга эканлигини билиш учун, уларнинг иссиқликдан кенгайиш коэффициентларини аниқлаш учун олиб борилади:

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

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

Рентгенографик анализни паст ҳароратда ҳам олиб бориш мумкин:

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

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

ДРОН-сериали 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 ҳисоблаш машиналарига уланган перфотасмага ҳам тушуриши мумкин. Бундай аппаратлар юқори унумдорликка эга. Рентген трубкасидаги максимал кучланиш 50 кВ, максимал ток эса 60 мА.

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

Тиббиётда қўлланиладиган рентген ускуналари. Улар уч синфга ажралган:

1. Россияда чиқарилган Рум-20 ва Рентген-50, Германияда чиқарилган Тур-Д-701 ва Тур-Д-1001, Чехия ва Словакияда яратилган Дуролюкс ва Венгрияда чиқарилган ЕДР-750 аппаратлари. Улар уч фазали олти ярим ўтказгич тўғриловчиларга эга бўлиб, максимал юқори 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 тизимга эга бўлиб, кучланиши 125-150 кВ ва токи 400-500 мА.

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

45-§. Аппаратларнинг асосий қисмлари

Рентген аппаратларининг асосий қисмларига киради: рентген трубкаси, тўғриловчи лампа - кенотрон, чўғланиш рестоати, юқори вольтли трансформатор, чўғланиш трансформатори, бошқарув пульти ва унинг зинапояли автотрансформатори ва бошқалар. Қуйида уларнинг тузилишига оид маълумотлар берилади.

1. Рентген трубкалари БСВ-2, БСВ-4, БСВ-6 ва бошқалар. Б-ҳимояли қопламада, хавфсиз; С-тузилма таҳили учун; В-сувли совитиш маъюларини 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 печа 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 кўрғошин столбчасига тенг бўшлиқ ҳосил этилиши ва катодга юқори кучланиш бериб юборилиши шарт. Шундагина катоддан озод электронлар ажралиб чиқади ва идишдаги вакуум туфайли анод томон йўл олади. У анод атомлари билан жуда катта тезликда тўқнашади ва ниҳоят улардан рентген нурларининг 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 даврида вакуум ҳолатини сақтайди. Вакуумнинг ўзгариши трубкани ишдан чиққанлигини билдиради.

Йиғма трубкаларда бўшлиқ вакуум насос ёрдамида яратилади ва ушлаб турилади.

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

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

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

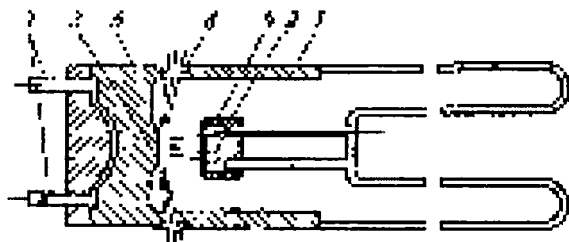
У шиша баллондан ташкил топган, унга иккита электрод киритилган: катод - қиздириладиган вольфрам симли спирал шаклида ва анод- тўла мисли трубка шаклида.

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

Вольфрам спирал $2100-2200\text{pC}$ гача токда 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 нурларининг электромагнит энергияси тебранишига ўзгаради; қолган энергия аноддан ажралаётган иссиқликка сарфланади.

Тузилма таҳлили учун трубкадан чиқарилаётган нисбатан юмшоқ нур (1 \AA ва кўпроқ тўлқин узунлигида) шишада жуда кучли ютилади. Шунинг учун трубка баллонига рентген нурларини чиқариши таъминлаш учун енгил элементлар (берил-

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



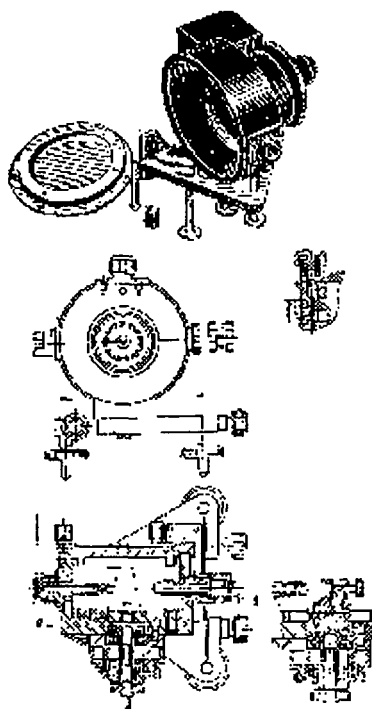
42-расм. Тузилма таҳлили учун ишлатиладиган БСВ-2-электрон рентген трубки: 1-балон; 2-катод; 3-анод; 4-йўналтирувчи қалпоқ; 5-мухофаза воситаси; 6-йўналтириш тешиклари; 7-совитиш тизими.

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

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

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

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



43-расм. РКД-57 камерасининг асосий қисмлари.

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

Трубканинг муҳим ҳолат кўрсаткичи унинг қувват чегараси бўлиб, у қуйидагича ифодаланadi: $P = UI$ вт,

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

Қувват чегарасини ошириш мумкин эмас, сабаби анод қизиб кетади.

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

Кўрилатган БСВ-2 мисли антикатодли трубкага берилган энг катта қувват 700 вт га, солиштирма қувват эса 48 вт/мм² га тенг. Бундай трубканинг нормал юзаси 700/48 = 14-15 мм² га тенг.

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

Тузилма кўрсаткичлари қуйидаги 18 - жадвалда кетирилади.

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

Тузилмавий таҳлил трубкаларининг тавсифлари

18-жадвал

Трубка тип	Максимальная мощность, вт	Число спиралей	Фокусная форма	Фокусное пятно, мм	Фокус проекция пятно, мм	Фокус майдонига солиштирма таъсир	Интеграл интенсивность, $\times 10^3$	Мисли анод кучланиши, кв	Максимальная 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 1	"-	1x12	1x1,2 0,1x12	83	454	50	40
БСВ-9	1500	2 1	"-	2x12	2x1,2 0,2x12	63	170	50	60
БСВ-10	600	2 1	"-	0,4x8	0,4x0,8 0,04x8	1900		45	24

3. Чўғлаш реостатлари (R_{НК}, R_{НР}). Улар - кенотрон ва трубка катода ток кучини бошқариш учун хизмат қилади. Шаҳар тармоғидаги катта бўлмаган тебраниш чўғлаш токени

тебранишига олиб келади ва трубкалаги анод токини кучли равишда ўзгартиради. Чўглаш токини стабиллаштириш учун стабилизатор ишлатилади.

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

5. Чўглаш трансформаторлари (Т_{ИР} и Т_{НК}). Кенотрон ва рентген трубка симларини чўғлаштириш учун ишлатилади. Вольфрамли катодли иплар 2100°С гача ва ундан юқорида қиздириш учун улардан 3-6 а ток ўтказилади. Бу ток чўглаш трансформаторидан кенотронни 10-15 в ли ва рентген трубкасини 6-8 в ли қилиб пасайтириш учун берилади.

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

7. Бошқарув пульти. Рентген аппарати махсус бошқарув пульти орқали бошқарилади. Бушқарув 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 регулировка қилади. Унда юқори кучланиш, қувват, вақт ва ёруғлик каби параметрларнинг созлиги ва носозлиги ҳақида хабар терувчи мослама мавжуд.

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

Рентген аппарати трубкасидан ўтаётган токни ўлчаш учун миллиамперметрдан фойдаланилади.

46-§. Фотоусулнинг рентген камералари

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

Камералар фарқланади:

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

2. Умумий вазифали камералар - кўп масалаларни ечиш учун, одатда, Дебай камераси - РКД ва бошқалардан кенг фойдаланилади. Улар кўпроқ тузилмасини ўрганиш учун мўлжалланган.

Камера типлари. Уларга қуйидагилар кирали:

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. Плёнка жойлашиши - цилиндр юзаси бўйича диаметри 57,3 мм ва баландлиги 24 мм.

РКД-57 камерасининг асосий қисмларини қуйидагилар ташкил этади:

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

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

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

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

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

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

цилиндрик рентген камераларида рентгенограмма олишнинг уч хил усули мавжуд.

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

КРОС - дебаеграмм олиш учун. Қарши съёмка учун. Поликристалл панжараси ўлчамларини прецизион аниқлаш, тузилмасининг мукамаллик даражаси, кассета юзаси оралигидан 25-100 мм ли намуна юзасигача, $\theta=54-85^\circ$. Намуна ясси 50x60x25 мм гача ўлчамда, айланиши мумкин, 150 мм диаметри богда перпиндикуляр ҳолатда кассета юзасига съёмка қилинади.

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

РКСО - монокристаллар лауэграммасини олиш учун, айланиш йўқ, кристалларнинг симметриясини полихроматик нурланишда съёмка қилиш ва уларни йўналишини аниқлаш учун камеранинг оптик марказидан пленкагача бўлган масофа 40 мм; $\theta=2-30^\circ\text{C}$ ва $60-87^\circ\text{C}$. 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 заңжири даврини аниқлаш учун хизмат қиладилар. $\theta=4-85^\circ$, айланиш билан ва айланишсиз пленка цилиндри юзаси бўйича.

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

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

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

Юқоридаги 43-расмда РКД-57 мисолида камераларнинг муҳим жиҳатларини кўриб чиқамиз. Камера қуйидаги асосий деталардан 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. Такмилланган моделларда эса — конуссимон бошчани магнитга жойлаштириш билан амалга оширилади.

47-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратлари

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

Дифрактометрия рентгенотузилма таҳлилинини ечишли, 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

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

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

Шундай қилиб, рентген диффрактограммаси бошқа рентгенограммалардан фарқ қилади;

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

Шунинг учун рентген диффрактограммаларини олиш ҳозирги кунда кенг тарқалган.

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

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

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

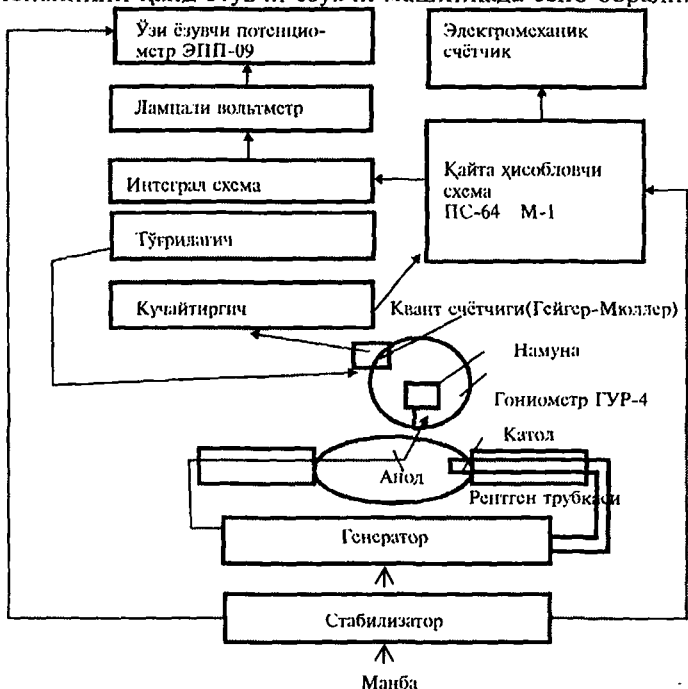
Диффрактометрларнинг техник кўрсаткичлари:

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

ДРОН-0,5 ва ДРОН-1 диффрактометрлари - амплитуда дискриминацияли спинтиляцияон счётчикка эга. Бу аппарат жуда қулай ва фазовий таҳлили жараёнидаги барча масалаларни ечишга имкон беради.

Аппаратларнинг техник маълумотлари:

1) Автоматик счётчик I; 0,1 ёки 0,01 градусла рентенограмма нуқталарини олишни таъминлайди. Бир вақтнинг ўзида интенсивликни қайд этувчи ёзувчи машинкада ёзиб борали.



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

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

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

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

5. Гониометр радиуси — 180 мм.

6. БСВ-8, БСВ-9 ва БСВ-10 трубулари ишлагилади. 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 тушаётган иккиламчи нурларнинг интенсивлиги (2 θ 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 программа билан бошқаришда текшириш учун. Бу аппарат кристаллографларнинг VII Халқаро Конгрессида (Москва, июл, 1966 й.) кристаллографик аппаратуралар кўргазмасида намойиш этилган.

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

48-§. Нурланиш детекторларининг қисқача тавсифи

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

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

потенциаллар мавжудлигида) ток импульсини яратади. Бунда давомийликни разряд вақти белгилайди.

Ионизацион счётчиклар: 200 в га тенг бўлган потенциаллар фарқида, ҳамма ионлар электродга тушади ва счётчик ионизацион камера (V_0-V_1) режимда ишлайди. Токнинг кичик ($\sim 10^{-12}$ а) лиги ва детекторнинг паст сезувчанлиги туфайлиги бу режимда ўлчовларни ўтказиш мураккаб (45- ва 46-расм).

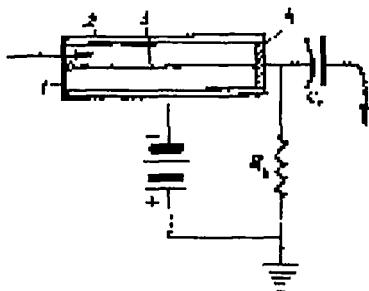
Пропорционал счётчиклар. 600-900 в (V_1-V_2) потенциаллар фарқида электронлар тезлиги шунчалик ошадики, унда ток импульси кучаяди, иккинчи ионизацион эффект чарақлайди; бироқ бу ҳодиса кичик оралиқларда счётчик иплари билан чегараланган ва шунинг учун тез кучини йўқотади. Счётчикнинг кичик “ўлик вақти” га $5 \cdot 10^5$ имп / сек гача қайд этиш имкониятини беради.

Импульси ток катталиги тахминан 10^{-7} а га тенг ва рентген кванти энергиясига пропорционал. Шунинг учун бундай режимда ишловчи ионизацион счётчиклар пропорционалли деб аталади.

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

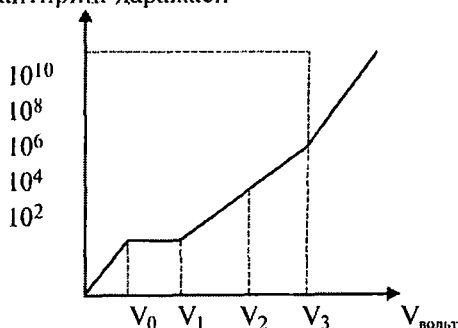
Бу нарса счётчикнинг “ўлик вақти” ни катталаштиради ва натижада ҳисобнинг максимал тезлиги $5 \cdot 10^3$ импульс / секундга камаяди.

Гейгер-Мюллер счётчикларининг хизмат қилиш муддати 10^3 импульсгача, пропорционал счётчикларники эса 10^{12} импульсга тенг.



45-расм. Импульсли ионизацион счётчик схемаси: 1-ларча; 2-катод; 3-ўтказгич (анод); 4-изоляциятор.

Кучайтириш даражаси



46-расм. Газ ионизациясининг счётчикка йўналтирилган потенциаллар фарқига боғлиқлиги (Cu-K_α учун).

49-§. Фотоусул ишлари учун мўлжалланган аппаратларда рентгенограмма олиш усуллари

Олдинги бўлимларда рентгенография усулининг назарий ва амалий асослари ҳамда ишлатиладиган аппаратлари ҳақида батафсил маълумотларга эга бўлдик. Бу бўлимда яна бир амалий иш - рентгенограмма олиш усуллари билан яқиндан танишилади.

Рентгенографик таҳлил имкониятлари чексиз. Усул жуда кўп афзалликларга эга, лекин камчиликлардан ҳам ҳоли эмас. Қуйидаги шу ва шунга ўхшаш муаммолар ҳақида фикр юритилади.

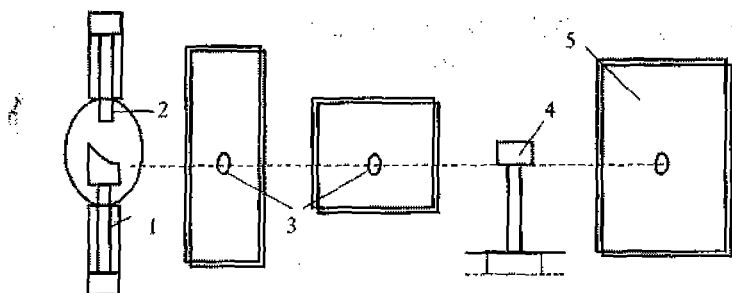
1) Кўзгалмас монокристалл объектда лауэграмм олиш усули. Лауэграмм монокристаллнинг сифати, унинг кристалл тузилмасининг такомиллиги, унда иккиёқлама ёки қонуниятсиз ўсишлар борлиги, рентген нурлари йўналишида кристалл симметрияларини баҳолашга имкон беради, лекин бу усул бўйича элементар ячейка ўлчамларини аниқлаш қийин. Бу мақсад учун аниқ кристаллографик йўналиш атрофида монокристаллни айлантириш ва тебраниш усуллари ишлатилади. Бунда монокристаллик 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 монокристалллар ишлатилади (48 ва 49-расмлар).

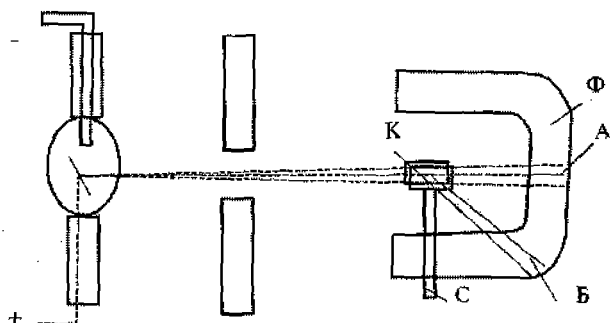
Усул панжара ёки кристаллар симметрияси даврини аниқлашда қўлланилади. Плёнка ёки пластинкадаги ёритилган нуқталарнинг интенсивлиги бўйича, бирикмаларнинг атомларининг жойлашиши, элементар ячейкаси ва ўлчамлари ҳақида хулоса қилинади.

Бу параметрларни аниқлашнинг тўғридан-тўғри усули бўлиб, электрон зичлик проекциясини чизиш усули ҳамдир. Бунда элементар ячейка (ёки унинг қисми)да атомларнинг жойлашиши проекцияси юзага келади.

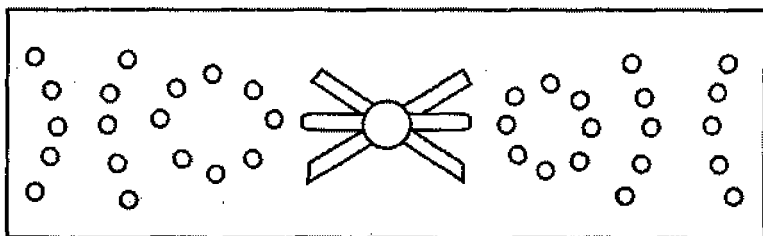
Нурланишни монохроматлаштириш учун дифференциал филтър ёки Росс филтър ишлатилади.



47-расм. Кристалдан дифракцион кўринишни олишнинг биринчи тарихий усули: 1-катод; 2-антикатод; 3-дарчалар; 4-кристалл ўрнатилган гониометрик бош; 5-ясси плёнкали тасма.



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



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

3) **Кукун усулида дебаеграмм олиш усули (Дебай-Шерернинг кукун усули).** Олдинги икки усул, яъни қўзғалмас ва айланаётган кристаллнинг лауэграммасини олиш учун йирик монокристаллар керак бўлади. Ҳолбуки уларни олиш ҳар доим ҳам мумкин эмас. Аксинча, кукун усулида текширишда жуда майда кристалл кукунлар билан чекланиш имконияти бор (50 ва 52-расм).

Бу усулнинг афзалликлари:

- а) майда кристалл кукуни билан ишлаш мумкин;
- б) текширишга мўлжалланган материални тайёрлаш оддийлиги;

в) тажриба ўтказишни оддийлиги.

Камчиликлари:

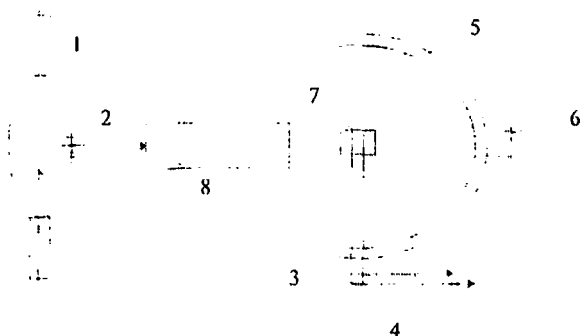
- а) бирмунча кичик аниқлик билан изоҳланади;
- б) тузилма ҳисобининг мураккаблиги;
- в) рентгенограммада линияларнинг тарқоқлиги.

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

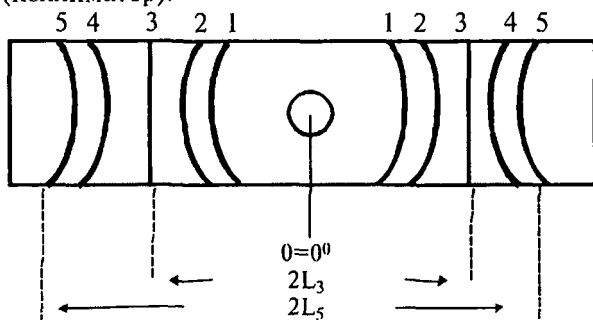
Текшириляётган моддада баъзи кристаллар мутлақо тартибсиз жойлашган, улар орасида ҳар доим Брэгг-Вульф шартига жавоб берувчи нур қайтариш юзасида жойлашган кристаллар бор. Шунинг учун намунали столни айлантириш шарт эмас ва фотографик пленкада марказий доғлар билан полоса қатори ҳосил бўлади. Бундай ҳолатга қараб ушбу кристалл модда ҳолати константларини ҳисоблаш мумкин.

Бу усул намуналарини текширишга тайёрлаш. Улар қуйидагича амалга оширилади:

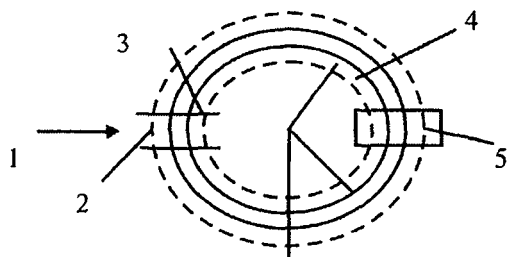
1) Ҳавода ўзгарувчан намуналарни тайёрлаш. Агар модда гигроскопик бўлса ва ҳаво кислороди билан реакцияга киришса, “Пирекс” ёки “гетан” шишалари (улар рентген нурларини кам ютади)дан нозик капилляр олинади, у олдиндан кукун ҳолатигача майдаланган бўлади.



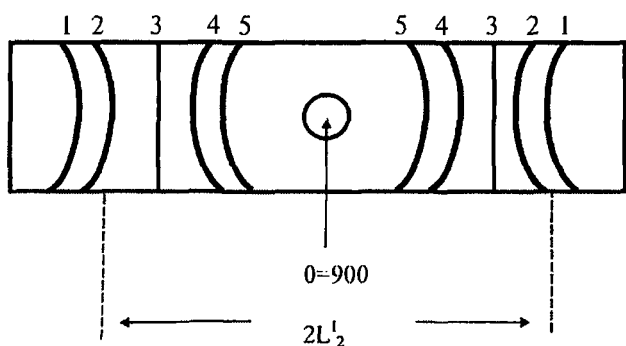
50-расм. Кукун усулида дебаеграмма олишнинг схематик кўриниши: 1-рентген трубкаси; 2-дарча; 3-намунани сақловчи қурилма, 4-намунани айлантириш механизми; 5-фотоплёнка; 6-ёритувчи экран тубуси билан; 7-намуна; 8-қўرғошинли диафрагма (коллиматор).



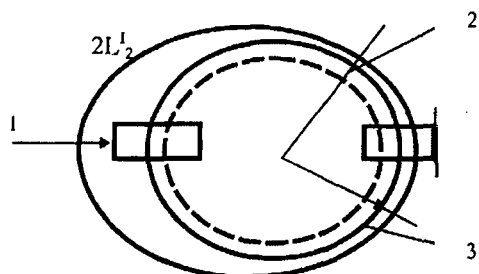
51-расм. Тўғридан-тўғри тасвир олиш усули плёнкасининг кўриниши.



52-расм. Кукун усулида дебаеграмма олиш камерасининг кўриниши: 1-рентген нури; 2-коллиматор; 3-плёнка чеккалари; 4-плёнка; 5-нурланувчи экран тубуси.



53-расм. Цилиндрик камерада қайта тасвир туширишнинг кўриниши.



54-расм. Қайта тасвир усули цилиндрик камераси кўриниши: 1-рентген нури; 2-плёнка охирилари ва 3-плёнка.

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 тасвирларнинг фонини оширади ва умуман рентгенограмма сифатини камайтиради.

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

Кукун усулида дебаеграмм олиш усулининг турлари:

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

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

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

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 нуруларига 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 плёнкалар чеккаси рентген нурига перпендикуляр камера диаметрига мос келади (55- ва 56-расм).

Линиялар жойлашиши бурчакнинг ўсишига боғлиқ. Улар рентгенограмманинг ўрта қисмидан чиқиш - кириш дарчалари томон силжиган. Пленкани бундай жойлашиши плёнка ўлчамларини фотография вақтида ўзгариши, камеранинг эффектив- Дэф. диаметри ёки, 1 мм пленканинг градуслардаги ҳақиқий баҳосини ҳисобга олиш имконини беради.

Камера диаметри $D_{эф.} = H + B / \pi$.

2) **цилиндр 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:

$$\theta_i = (\pi D - 2 L_i) \cdot 57,3 / 2D$$

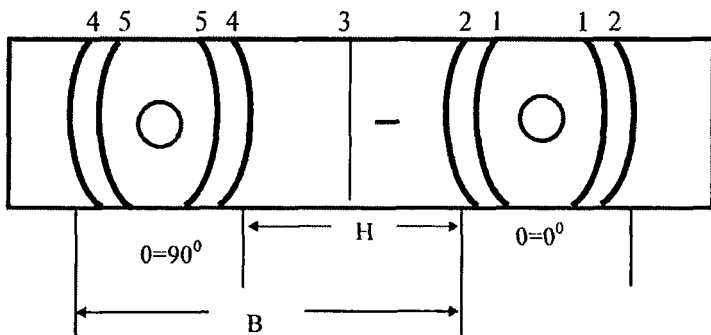
в) **Аксиал цилиндр камерада тасвир олиш.** Бу усулда камера ва намуна жойлашиши ҳамла рентген нури йўналиши қуйидагича бўлади (57-расм):

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 имконини беради.

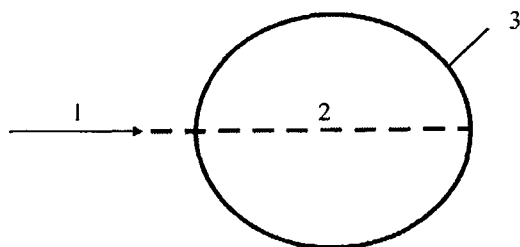
г) **Ясси плёнкага тасвир тушириш.** У ўз навбатида икки хил бўлади (58- расм):

1) нур ўтишида тўғридан-тўғри тасвир ҳосил қилиш;

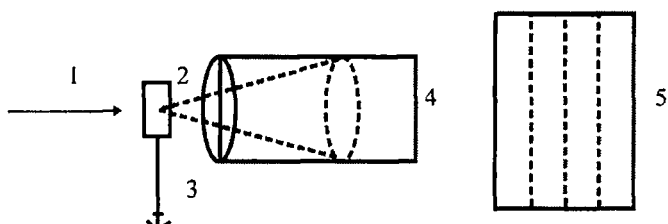
2) нур қайтишида тасвир тушириш.



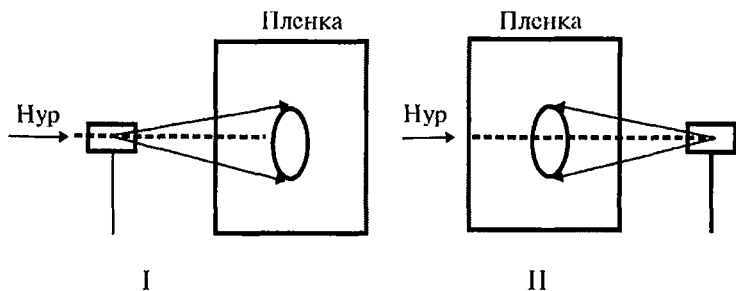
55-расм. Плёнкадаги асимметрик тасвир.



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



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



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

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

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

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

Ҳозирги вақтда нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларида дифрактограмма олишнинг икки усули қуйидагича регистрация қилишга асосланган:

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

Биринчи газли счётчикларининг такомиллаштирилган турлари пропорционал ёки мустақил номлари билан ҳам аталади. Ток кучи ёки импульслар сонига кўра рентген нурланиш интенсивлиги ҳақида фикр юритиш мумкин.

Кристалл-фосфор (таллий билан активлангизирилган йодли натрий кристалли) ва фотокўпайтиргичдан ташкил топган сцинтилляцион счётчикларда Гейгер-Мюллер газли счётчикларига нисбатан фон анча кичик бўлади. Шунинг учун уларнинг эффеktivлиги анча юқоридир.

Дифрактограмма олиш учун силикатли намуна тайёрлаш ва дифрактограмма олиш қуйидагича кечади:

1. Текшириляётган намунадан 5-10 г ажратиб олинади.
2. Агатли майдалагичда сирт ёрдамида майдаланади.
3. Ҳўл модда майдалагичда ёқиб юборилади ва куруқ 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 жалваллар ёрдамида d-га айлантирилади.

9. Махсус китоблар ёрдамида d ва I лар қиймати орқали модда таркиби аниқланади.

Рентген нурлари билан ишлашда хавфсизлик техникаси қоидаларига қаттиқ риоя қилиш зарур. У узоқ вақт киши организмга таъсир ўтказса саломатлик масаласига путур етади:

1. Инсон қонининг таркиби ўзгаради.

2. Ички органлар шикастланади.

3. Тери қавати куюди.

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 бўлақларига тегиш, юқори вольтли қисмларини таъмирлаш ва бошқалар ман этилади.

5. Вақт-вақти билан рентген нурланишидан ҳимоя воситаларининг эффекивлиги дозиметрлар орқали текшириб турилиши шарт.

6. Рентген трубкаси ва рентген камераси алмаштирилгач аппарат ўрнатилган хонани дозиметр ёрдамида текшириб туриш керак.

Рентген нурлари билан ишлашда хавфсизлик техникаси қоидаларига риоя қилишни таъминлашда рентген дозиметрлари катта рол ўйнайди. Рентген нурлари дозасини ўлчашда, одатда, кўчма асбоблардан – универсал ГРИ дозиметрларидан кенг фойдаланилади. Бу асбоб бир ипли электрометр ва алмаштириб туриладиган ионланиш камералари тўпламидан ташкил топган.

51-§. Рентгенографик таҳлилдан фойдаланиш имкониятлари

Усулни қўлашни амалий имкониятлари жуда катта. Қуйида улардан асосийлари келтирилади:

1. Табиий ва сунъий минераллар ва кимёвий бирикмаларнинг диагностикаси учун (кимёгар, кристаллокимёгар, крис-

таллограф, геохимёгар, геолог, геофизик, физик, металлург, оптик ва бошқалар томонидан):

а) минераллар турини аниқлаш (слюда, пироксен, дала шпати, гранат, кварц, алунит, мелилит, волластонит, муллит, титанат, карбонат, сульфат ва бошқалар);

б) бир турли минералларни турли типларини аниқлаш (биотит, флогонит, мусковит; натрийли -, калийли- ва кальцийли дала шпатлари; каолинит, галлуазит ва бошқа тупроқ минераллари);

в) тузилма турларини аниқлаш (дала шпатининг моноклин ёки триклин шакли, пироксенларнинг моноклин ва бошқа турлари, нефелиннинг ромбик ва гексагонал шакллари ва ҳоказо);

г) минерал таркибини сифат ва миқдорий баҳолаш (ион ўлчамлари ва бошқаларга боғлиқ ҳолда).

2. Тузилма таҳлили учун:

а) моддаларнинг симметрияларини аниқлаш;

б) симметрия фазовий гуруҳларини-элементар ячейкада молекула, ион, атомларнинг симметрик жойлашиши;

в) элементар ячейка ўлчамлари — параметралар: а, б ва с; бурчаклар: α , β ва γ қийматлари;

г) панжарадаги атом, ионларнинг координати ва атомлар орасидаги масофа;

д) модданинг кристаллик тузилмасини баёни, тузилмани ташкил қилувчи атомлар орасидаги масофа, координацион рақам ва бошқалар.

3. Аниқлаш учун:

а) модданинг монокристаллиги - монокристаллнинг тузилмавий етуклиги, қўшалокларнинг мавжудлиги, ўлчами, сифати ва бошқа диагностик параметрларини баҳолаш имкони;

б) модданинг поликристаллиги — поликристаллар кимёвий таркиби, поликристалл заррачалари ўлчами ва ҳоказо.

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

5. Тоғ жинслари ва рудаларини сифати ва миқдорини фазавий рентгенографик таҳлили.

6. Минералларнинг дисперслиги ва кристалларининг катталикларини баҳолаш.

7. Минераллар тузилмалари тузилиши, нуқсонлар-Шотки, Френкел поаниқликлари ва дислокацияларни баҳолаш.
8. Минерални текстураларини аниқлаш.
9. Рентгеноаморф ва коллоид минералларни ўрганиш.
10. Минералларнинг барқарорлиги ва турли таъсирлардан фазовий ўзгаришини ўрганиш.
11. Зичлик, иссиқликдан кенгайиш коэффициенти, Кюри нуқтаси, қаттиқ эритмаларнинг идеаллиги ёки дефект тузилмага эга эканлиги каби физик ҳосса-хусусиятларини аниқлаш.
12. Хона ҳароратидан 1500°C ли ҳарорат таъсирида рўй берувчи физик-кимёвий ўзгаришларни аниқлаш.
13. Минус 190°C гача тадқиқотлар олиб бориш, совуқлик таъсирида рўй берган ўзгаришларни аниқлаш.
14. Рентгенографик таҳлилни ҳаво шароитида олиб бориш ва олинган натижалар турғунлигини таъминлаш.
15. Рентгенографик таҳлилни юқори босим остида махсус камералардан фойдаланган ҳолда олиб бориш.
16. Шиша, канифол, гудрон каби ноорганик ва органик моддаларни кичик рентген бурчаклари остида текшириш ва уларда бор бўлган фрагментларни аниқлаш.

52-§. Рентгенографик таҳлил афзаллиги

Жуда кўп афзалликлари бор. Улардан асосийлари қаторида қуйидагиларни қайд этиш мумкин:

1. Флуоресцент нурланишни филтрлаш мақсадида монохроматлардан фойдаланиш имконияти беради.
2. Интенсивликни юқори аниқликда ўлчаш мумкинлиги (чегаралар фотографик усулда 5-7 %, электик усулда ўлчашда 0,5-1%).
3. Текшириш натижаларини ҳужжатлилиги. Иккиламчи нурланишни фотографик қайд этишда рентгенограмманинг ҳамма 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 оралигида 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 йи-

рик донали ва 10^{-3} дан катта бўлса, рентгенограмма донадор, яъни алоҳида нуқталардан ташкил топади. Чизикларда кузатилаётган иккала ўзгаришни ҳам кристалларнинг ўлчамларини аниқлашда ишлатиш мумкин.

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

6. Текстурани 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. Олимлар аниқланган камчиликларни бартараф этиб, усул имкониятларини ошириш устида фаол ишламоқдалар. Булар қаторига қуйидагилар киради:

1. Усулнинг аморф моддалар (шиша, канифол, смола, ях ва бошқалар) тузилмасини аниқлашдаги заифлиги. Ҳосил бўлган рентгенограмма ё тўғри чизикдан иборат, ёки жуда паст интенсивли пиклар йиғиндисидан иборат бўлади. Бу камчилик рус олими проф. Парой-Кошиш фикрича, рентген нурлари кичик бурчак остида намунага таъсир эттирилишини таъминлаш прецизион усули орқали бартараф этилиши мумкин. Бу усул шишаларнинг тузилишидаги микрооаниқликларни текширишнинг тўғри усули ҳисобланади.

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

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

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

Шишалар таркибида аниқланган микроаноикликлар

19-жадвал

Тартиб	Шиша таркиби, мол. фюз ҳисобида			Микроаноикликлар радиуси, A°
	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 кераклиги.

4. Электр усулини қўллашда: рентген трубкани электрик режимда ишлатишда стабиллаштириш етарли эмаслиги ҳамда счётчик билан боғланган ҳамма ёрдамчи кучайтирувчи ва таъминловчи занжирларнинг етарли даражада эмаслиги.

5. Чизикларнинг 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 молдалар — гидраргилит, байерит, диаспор, бемит, каолинит, дикит, накрит, монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, монотермит, галлуазит, пиропиллит, кальцит, доломит, гипс, ангидрит ва бошқаларни тузилмаларини расшифровка қилишнинг мураккаблиги.

7. Бир сингония ёки тузилмали ўхшаш бирикмаларни расшифровкаси қийинлиги. Масалан, флюорит ва сфалерит каби минераллар нафақат бир хил кубик сингонияга эга, балки уларнинг элементар ячейка ўлчамлари ҳам бир-бирига тенг: $5,42 \text{ \AA}$. Фақат юзаларора масофа d ва нур қайтариш интенсивлигини қийматларини нисбий баҳолаш билан минерални аниқ таҳлил этиш мумкин. Олинган натижа дебаеграмм стандартлари картотекаси ёки махсус чоп этилган китоблар (Михеев-1957 ва 1965 йиллар; Минераллар- 1965-1967 йиллар; Семенов- 1963 йил; Сидеренко- 1957 йил; Миркин- 1961 йил ва бошқалар) га солиштириш йўли билан олиб борилади.

8. Кўп ҳолларда рентгенограмма маълумотлари бошқа константалар билан тўлдирилиши лозим. Масалан, гранат турла-

рини аниқлашда уч диаграмма “a-N-d” бўйича ташхис қўйиш мумкин. Бу ерда, a - элементар ячейка ўлчами, N- нур синдириш кўрсаткичи ва d- гранитнинг солиштирма оғирлиги. Буларнинг ҳаммаси гранат минералининг турлари ҳақида аниқ маълумот олишни таъминлайди.

54-§ Кимёвий бирикмаларга оид рентгенографик маълумотлар

В 5222400 – «Кимёвий технология» йўналишининг «Силикат ва зўрғасуюлувчан материаллар технологияси» соҳаси хом ашёлари, яримфабрикатлари, материаллари ва буюмларида кўпроқ учровчи кимёвий бирикмаларнинг рентгенограммаларига тўғри келадиган текисликлараро масофа ($d, \overset{\circ}{\text{Å}}$) ва чўққилар интенсивлиги ($J, 100, 10$ ёки солиштирма таққослаш) га оид маълумотнома Л.И.Миркин [23], В.Н.Михеев [24], В.В.Тимашев [6], А.И.Китайгородский, Н.А.Торопов [36], И.И.Горбунов ва бошқа манбалар [5,29-35] келтирилган маълумотлардан фойдаланилган ҳолда қуйидаги 20- жадвалда келтирилади.

Кимёвий бирикмаларга оид рентгенографик маълумотлар Д.И. Менделеев даврий жадвалида жойлашган 58 элемент ва унинг ҳосилаларига тааллуқли бўлиб, у литий элементидан бошланиб водород элементига оид тегишли рақамларни ўз ичига олган. Айниқса жадвалда элемент, элемент ҳосил қилган оксид, элемент карбонати, сульфати ва нитрати, у ҳосил қилган тузлар – алюминат, силикат ва бошқалар катта ўринни эгаллаган. Жумладан, литий элементига тааллуқли 22 бирикма, натрийга – 15 бирикма, калийга – 17 бирикма, магнийга – 24 бирикма, кальцийга – 57 бирикма, стронцийга – 25 бирикма, барийга – 23 бирикма, алюминийга – 21 бирикма 20-жадвалга киритилган.

Текисликлараро масофа жадвалда ангстремда берилган. Агар фойдаланилган адабиётда у килоиксда берилган бўлса, у ҳолда $1d \overset{\circ}{\text{Å}} = 1,00202 \text{ кХ}$ тенгламаси ёрдамида килоикс ангстрем ўлчовига ўтказилган.

Чўққилар интенсивлиги жадвалда 3 кўринишда ўз ифодасини топган: бирдан юзгача ҳисобида; Иккинчи кўринишда интенсивлилик ноҳдан ўнгача ҳисобида 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.

Табийи ва сунъий кимёвий бирикмаларнинг баъзи бирларига
хос бўлган d ва J

20-жадвал

Модда	d	J	D	J	D	J
I	2	3	4	5	6	7
Литий-Li	2,48	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 1,72 1,53 1,420	1 11 27 1	1,140 1,117 1,082 1,025	1 3 4 1	0,895 0,890 - -	1 1 - -
Li ₂ SO ₄	4,01 3,49 3,16 2,78 2,68 2,62 2,47 2,40 2,31	100 11 40 6 3 5 13 6 6	2,20 2,09 2,01 1,95 1,88 1,81 1,77 1,67 1,60	3 5 2 13 5 3 2 2 3	1,56 1,53 1,487 1,424 1,400 1,340 1,279 1,215 1,185	2 3 6 2 3 3 3 2 3
Li ₂ O·Al ₂ O ₃	4,54 3,506 3,210 2,790 2,660 2,545 2,372 2,280 2,078 1,969 1,905	6 19 13 41 3 3 84 25 13 59 3	1,849 1,799 1,741 2,721 1,675 1,608 1,559 1,518 1,467 1,439 1,393	3 3 3 13 3 31 6 72 3 6 100	1,296 1,278 1,249 1,202 1,177 1,139 1,107 1,077 1,054 - -	3 6 13 25 3 19 3 6 13 - -
Li ₂ O·Fe ₂ O ₃	2,39 2,07 1,461 1,247 1,195 1,035	40 100 90 30 40 20	0,949 0,925 0,845 0,798 0,732 0,690	10 50 40 10 10 20	0,657 0,624 0,575 0,553 - -	20 10 10 10 - -
Li ₂ O·CrO ₃	7,0 5,3 4,39 4,10 3,70 3,50 3,27 3,15 2,85 2,64 2,54	16 5 32 100 5 32 20 13 32 24 8	2,47 2,32 2,22 2,14 2,08 2,01 1,94 1,84 1,80 1,73 1,69	10 8 3 5 2 3 8 11 2 3 6	1,64 1,60 1,56 1,52 1,57 1,420 1,367 1,343 1,215 1,113 -	2 3 3 2 2 13 5 3 2 2 -

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	8
	5,4	60	2,86	20	1,76	8
	5,1	60	2,69	28	1,70	8
	4,31	50	2,58	12	1,65	12
	3,92	4	2,42	8	1,485	4
	3,72	60	2,36	8	1,350	4
	3,42	32	2,19	16	-	-
	3,19	100	2,12	12	-	-
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	Ү.
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	Ү.
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 - LiAlSi ₂ O ₆	4,5904	5	2,1040	7	1,5406	7
	3,9094	25	1,9293	13	1,4775	3
	3,4884	100	1,8825	37	1,4502	10
	3,1554	11	1,7404	3	1,4291	6
	2,2938	8	1,6938	3	1,3208	12
	2,2605	9	1,6438	14	1,2384	11
LiGaSi ₂ O ₆	4,6333	8	2,1257	5	1,5500	8
	3,9472	30	2,0955	5	1,4865	5
	3,5074	100	1,9497	13	1,4629	15
	3,1819	12	1,8899	36	1,4378	7
	2,3130	24	1,7020	4	1,3342	18
	2,2792	12	1,6598	29	1,2475	17
Амфибол — Li ₃ Mg ₅ Fe ²⁺ Fe ³⁺ · Al ₂ ·(OH) ₄ · ≈Si ₁₆ O ₄₄ ∇	7,98	4	2,212	1	1,444	4
	4,85	1	2,095	6	1,423	1
	4,39	4	2,031	1	1,395	8
	3,63	4	1,952	4	1,351	1
	3,30	6	1,856	1	1,337	1
	3,19	6	1,798	6	1,312	8
	2,97	10	1,736	4	1,276	4
	2,80	6	1,712	4	1,257	1
	2,70	6	1,590	8	1,239	1
	2,64	6	1,572	8	1,176	1
	2,53	8	1,522	1	1,163	1
	2,46	1	1,487	6	1,135	4
	2,418	1	1,472	1	1,084	4
	2,282	4	-	-	-	-
Манганси- клерит — (Li, Mn·, Fe·)· [PO ₄]	5,064	1	2,519	10	1,624	4
	4,295	8	2,169	4	1,477	4
	3,859	4	1,760	8	1,353	8
	3,494	8	1,737	8	1,323	4
	3,069	8	1,676	4	1,149	4
	2,778	4	1,648	4	1,103	8
-	-	-	-	1,070	8	
Феррисик- лерит- (Li, Fe·, Mn·)· [PO ₄]	5,929	10	4,148	4	2,103	10
	5,382	4	3,893	4	1,740	1
	5,054	10	2,780	4	1,480	10
	4,989	10	2,565	4	1,070	10
	4,275	10	2,188	4	-	-
Натрий - Na	3,02	100	1,75	20	1,355	5
	2,13	15	1,51	5	1,246	3
	-	-	-	-	1,145	3

Na ₂ O	9,0	2	2,47	2	1,71	4
	7,8	2	2,42	4	1,65	4
	5,6	4	2,35	14	1,56	2
	5,0	4	2,30	12	1,50	4
	3,75	2	2,24	4	1,466	12
	3,43	4	2,03	10	1,438	4
	3,09	10	1,96	2	1,400	4
	2,87	4	1,89	2	1,345	12
	2,76	2	1,86	4	1,275	8
	2,55	100	1,80	50	-	-
	Na ₂ CO ₃	3,43	8	2,18	60	1,62
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
	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
3,38		25	1,91	31	1,293	5
2,72		75	1,75	10	1,206	5
2,53		3	1,67	3	1,165	3
2,42		3	1,55	23	1,140	5
2,33		23	1,475	13	1,070	3
2,06		10	1,424	15	1,013	5
3Na ₂ O·P ₂ O ₅	4,25	48	2,15	6	1,400	3
	3,95	13	2,05	20	1,355	6
	3,84	20	1,91	48	1,316	6
	3,45	6	1,81	8	1,275	5
	3,11	11	1,72	11	1,245	3
	2,70	48	1,66	2	1,207	6
	2,55	100	1,57	6	1,193	8
	2,43	10	1,53	24	1,157	3
	2,25	20	1,450	11	-	-
Na ₂ O·SiO ₂	5,3	20	1,88	28	1,145	3
	3,56	20	1,83	9	1,114	9
	3,04	100	1,75	40	1,032	2
	2,57	48	1,53	5	0,990	2
	2,40	64	1,445	9	0,932	2
	1,98	9	1,418	40	-	-
Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	6,4	8	2,18	6	1,460	16
	4,05	35	2,13	12	1,425	16
	3,80	16	1,99	8	1,380	8
	3,66	25	1,90	12	1,350	14
	3,20	100	1,83	18	1,270	14
	2,96	25	1,80	8	1,223	12
	2,65	2	1,73	8	1,200	4
	2,56	12	1,67	6	1,169	8
	2,44	14	1,58	12	1,137	6
	2,32	12	1,50	8	1,050	4

Na ₂ O·CaO·SiO ₂	4,348	10	1,523	60	1,141	5
	2,667	100	1,443	5	1,083	5
	2,416	5	1,321	20	0,996	10
	2,166	5	1,264	5	-	-
	1,877	50	1,183	20	-	-
Na ₂ O·2CaO·3SiO ₂	4,421	10	1,868	60	1,298	20
	3,772	30	1,799	10	1,209	5
	3,360	50	1,741	10	1,178	10
	3,026	5	1,693	5	1,129	20
	2,644	100	1,639	10	1,106	5
	2,508	5	1,545	20	1,070	5
	2,363	10	1,517	30	1,012	10
	2,249	5	1,387	30	0,986	20
	2,153	5	1,328	20	-	-
2Na ₂ O·CaO·3SiO ₂	4,089	20	1,803	10	1,218	10
	3,781	20	1,722	5	1,191	30
	3,270	5	1,622	20	1,143	10
	2,668	100	1,540	50	1,112	10
	2,374	10	1,436	20	1,007	20
	2,175	10	1,387	10	-	-
	1,888	60	1,335	40	-	-
	Карнегиит - α-форма Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	4,29	10	1,645	1	1,061
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
5,5		2	2,18	6	1,61	3
3,39		6	2,09	14	1,55	2
2,97		16	1,99	10	1,50	2
2,80		100	1,85	8	1,410	5
2,61		32	1,77	3	1,345	2
2,37		16	1,70	3	1,307	2
K ₂ SiF ₆	4,71	63	1,56	25	1,056	1
	2,88	50	1,438	30	1,014	1
	2,45	1	1,365	8	0,996	1
	2,35	100	1,285	20	0,984	1
	2,03	75	1,225	7	0,957	2
	1,86	1	1,175	6	0,936	1
	1,82	1	1,134	6	0,908	2
	1,66	20	1,087	10	-	-
K ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	5,60	100	2,38	10	1,87	10
	3,52	100	2,29	10	1,60	10
	3,37	100	2,18	40	1,55	10
	2,76	76	2,11	10	1,460	10
	2,52	20	1,99	10	-	-
K ₂ Cr ₂ O ₇	4,83	10	2,53	15	1,86	5
	3,68	50	2,45	5	1,77	10
	3,45	50	2,38	5	1,70	5
	3,29	100	2,29	5	1,66	5
	3,02	75	2,24	5	1,58	5
	2,85	63	2,18	5	1,450	5
	2,75	5	2,14	5	1,400	5
	2,69	5	2,04	25	-	-
	2,62	20	1,90	5	-	-

K ₂ O·12Al ₂ O 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 ₂ O·Fe ₂ O 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 ₂ TiO 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 ₂ UO ₄	7,5	100	3,20	75	2,02	25
	3,55	50	2,57	25	1,96	25
K ₂ O·Al ₂ O ₃ · 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	49	1,1055	5	0,8564	1
	1,633	28	1,0424	3	-	-
Cu SO ₄	4,20	53	1,96	12	1,375	11
	3,92	3	1,77	33	1,305	3
	3,55	53	1,67	9	1,290	1
	2,62	100	1,58	13	1,243	1
	2,41	40	1,55	8	1,210	3
	2,31	9	1,461	1	1,182	1
	2,08	5	1,430	27	1,150	3
	2,01	3	1,400	3	1,096	4
	-	-	-	-	1,076	4
	-	-	-	-	-	-
CuO·Al ₂ O ₃	2,85	33	1,85	7	1,423	67
	2,43	100	1,64	7	1,230	7
	2,01	27	1,55	20	-	-
CuO·B ₂ O ₃	6,4	44	2,66	33	1,73	33
	5,3	78	2,51	100	1,58	11
	3,88	100	2,37	11	1,55	11
	3,17	33	2,17	11	1,53	11
	2,91	22	1,95	11	1,425	11
CuO·Co ₂ O ₃	4,65	15	1,64	10	1,160	3
	2,85	25	1,55	31	1,076	3

	2,43	100	1,421	38	1,047	8
	2,31	20	1,361	3	-	-
	2,11	5	1,227	8	-	-
Кумуш - Ag	2,36	100	1,179	5	0,834	3
	2,04	53	1,022	1	0,786	4
	1,445	27	0,938	8	0,691	3
	1,232	53	0,915	5	-	-
Ag ₂ O	3,35	1	1,422	16	1,054	2
	2,72	100	1,360	3	0,960	1
	2,36	40	1,179	1	0,907	1
	1,67	24	1,082	2	-	-
Ag ₂ CO ₃	4,77	20	2,27	30	1,53	3
	4,31	20	2,20	1	1,50	2
	3,05	4	2,15	8	1,462	1
	2,73	50	2,03	8	1,440	5
	2,65	100	1,92	8	1,398	4
	2,55	2	1,86	4	1,370	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	1
	3,32	5	1,277	3	0,921	1
	2,97	4	1,231	1	0,912	1
	2,71	3	1,211	1	0,904	1
	2,34	4	1,175	2	0,888	2
	1,999	10	1,124	1	0,865	5
	1,914	1	1,107	1	0,851	1
	1,836	1	1,078	1	0,844	1
	1,773	2	1,048	1	0,831	2
	1,521	1	1,011	2	0,806	2
	1,482	1	1,001	1	0,800	2
	1,445	1	0,989	1	0,794	1
	1,414	1	0,979	1	0,783	4
	Бериллий - Be	1,97	20	1,328	12	0,983
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
4,03		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	5
	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	4
	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	У.кз.	0,9543	Ж.ж.кз.
	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	У.	1,092	Ж.ж.кз.	0,9001	Ж.ж.кз.
	1,494	У.	1,034	Ж.кз.	0,8974	Ж.ж.кз.
	1,373	У.	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	7
	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	100
	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 1,429	45 58	1,0796 1,0518	4 12	0,8469 0,8247	10 20
MgO·B ₂ O ₃	7,7 6,1 5,3 4,29 3,57 3,18 3,07 2,82	12 16 8 24 12 12 80 100	2,18 2,07 1,99 1,99 1,86 1,77 1,71 1,63	24 32 40 8 12 8 8 12	1,50 1,445 1,412 1,375 1,262 1,151 - -	8 8 8 8 16 8 - -
MgCa(CO ₃) ₂	3,71 2,89 2,68 2,55 2,40 2,19 2,06 2,02	2 100 2 2 13 40 2 20	1,85 1,80 1,57 1,55 1,50 1,468 1,418 1,389	2 40 2 10 1 6 1 8	1,337 1,300 1,270 1,237 1,202 1,172 - -	2 1 1 2 1 1 - -
MgO·Fe ₂ O ₃	4,82 2,96 2,52 2,09 1,71 1,61 1,48 1,32	50 50 100 50 30 70 90 10	1,28 1,12 1,09 1,04 0,983 0,964 0,933 0,891	20 20 40 20 10 3 10 5	0,876 0,853 0,820 0,808 0,762 0,753 - -	20 40 10 10 5 5 - -
2 MgO·P ₂ O ₅	4,14 3,85 3,45 3,00 2,51 2,40 2,30 2,15	10 4 5 100 8 5 1 2	2,09 1,85 1,69 1,62 1,57 1,51 1,465 1,380	15 10 8 7 10 1 7 6	1,322 1,250 1,206 1,155 1,131 1,073 1,044 1,002	7 5 2 1 1 1 3 2
Серпентин- 3MgO·2SiO ₂ · 2H ₂ O	7,38 4,619 3,661 2,625 2,487 2,141 1,966	10 4 10 4 10 8 4	1,789 1,738 1,655 1,530 1,500 1,411 -	6 2 2 10 8 6 -	1,304 1,277 1,164 1,100 1,074 1,057 -	8 6 4 2 2 2 -

Вермикулит - (Mg,Fe) ₃ [(Al, Si) ₄ O ₁₀] (OH) ₂ ·4H ₂ O	11,38	Ку.	2,66	Ку.	1,40	Ж.кз.
	8,00	Ж.кз.	2,43	У.ку.	1,39	Ж.кз.
	5,91	Ж.кз.	2,19	У.	1,36	Ж.кз.
	4,88	Кз.	2,03	У.	1,34	Ку.
	4,54	У.	1,75	Кз.	1,31	У.
	3,45	Ку.	1,70	Ку.	1,28	У.
	3,22	Ж.кз.	1,53	Ж.ку.	-	-
	3,05	Ж.кз.	1,52	Ж.кз.	-	-
Галък - 3MgO·4SiO ₂ · H ₂ O	11,50	Ж.кз.	2,91	У.	1,71	Ку.
	8,96	Ж.ку.	2,80	У.	1,59	У.ку.
	6,68	Ж.кз.	2,66	У.	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	У.	2,25	У.	1,35	У.
	3,44	У.	2,16	У.	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 - mMg ₃ (Si ₄ O ₁₀) ⁿ (OH) ₂ ·p[Fe, Al] ₂ (Si ₄ O ₁₀) ⁿ (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	У.
	3,54	Ж.кз.	1,72	У.	-	-
	3,28	Ж.кз.	1,69	Ку.	-	-
Монотермит - 0,2RO·Al ₂ O ₃ · 3SiO ₂ ·1,5H ₂ O (+0,5H ₂ O)	9,60	Ж.кз.	3,15	Ж.кз.	1,53	У.ку.
	7,80	Ж.кз.	2,53	Ку.	1,48	Ку.
	6,70	Кз.	2,43	Ж.кз.	1,40	Ж.кз.
	5,60	Кз.	2,32	У.	1,36	Ку.
	4,35	У.	2,06	У.	1,33	Ж.кз.
	4,17	У.кз.	1,97	У.	1,29	У.
	3,78	Ж.кз.	1,79	У.ку.	1,19	У.
	3,43	У.	1,71	Ж.кз.	1,15	У.
	3,26	Ж.ку.	1,64	Ку.	-	-
Палигорскит - MgAl ₂ [Si ₄ O ₁₁] ⁿ (OH) ₂ ·4H ₂ O· nH ₂ O	10,40	У.	3,80	Ж.кз.	1,69	Ку.
	7,70	Кз.	3,44	Кз.	1,58	У.кз.
	6,12	Кз.	3,23	У.ку.	1,52	Ку.
	5,50	Кз.	2,62	Ж.ку.	1,31	Ку.
	4,46	У.кз.	2,20	У.ку.	1,26	У.
	4,10	Ж.кз.	1,75	У.	-	-
Сепиолит - Mg ₃ [Si ₄ O ₁₁] ⁿ nH ₂ O	9,87	Ж.кз.	3,76	У.	2,25	Ж.кз.
	9,04	Кз.	3,31	Ку.	2,20	У.
	7,90	Ж.кз.	3,10	Кз.	1,80	Ж.кз.
	6,50	Ж.кз.	2,62	Ж.кз.	1,52	Ж.ку.
	5,62	Ж.кз.	2,58	Ж.ку.	1,30	Кз.
	4,44	У.	2,30	Ж.кз.	1,27	Кз.
	4,12	У.	-	-	-	-

Аптофилит	9,4	8	2,75	8	1,542	7
-	9,1	9	2,52	4	1,498	3
7MgO·8SiO ₂ ·H ₂ O	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 ₄ Nd ₆ Si ₄ P ₂ O ₂₆	3,36	3	2,48	1	1,77	3
	3,02	1	2,02	1	1,74	2
	2,76	10	1,90	3	1,72	3
	2,72	3	1,85	1	1,68	3
	2,67	1	1,80	5	-	-
Хлорит - Mg ₅ Al ₃ AlSi ₃ O 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 ·6H ₂ O	5,8	15	2,55	3	1,78	8
	4,10	100	2,46	3	1,72	10
	3,57	15	2,31	15	1,63	3
	2,98	20	2,23	25	1,59	3
	2,88	50	2,15	8	1,480	10
	2,72	44	2,05	18	1,420	3
	2,65	75	1,84	31	1,390	10
	-	-	-	-	1,365	3
Серпентин - Mg ₆ Si ₄ O 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	3
	2,80	30	1,61	10	1,238	5
	1,97	20	1,28	5	-	-
CaO	2,76	40	1,100	7	0,800	6
	2,39	100	1,071	25	0,759	2
	1,69	63	0,979	13	0,731	1
	1,445	20	0,922	3	0,723	2
	1,382	20	0,847	3	0,671	1
	1,200	10	0,810	3	0,666	1
CaCl ₂	4,49	100	2,09	16	1,490	4
	3,46	16	1,90	36	1,330	12
	3,05	80	1,79	8	1,243	12
	2,85	32	1,68	12	1,210	12
	2,33	60	1,56	4	1,165	4
	2,24	16	1,51	8	-	-
CaF ₂	3,16	67	1,117	30	0,835	2
	1,93	100	1,050	10	0,789	1
	1,65	50	0,968	5	0,767	2
	1,370	23	0,925	7	0,731	5
	1,256	23	0,866	5	0,731	3
	-	-	-	-	0,644	1
Ca (OH) ₂	4,93	50	1,55	2	1,063	10
	3,11	25	1,485	20	1,035	5
	2,63	100	1,450	20	1,012	8
	1,93	50	1,315	16	0,955	5
	1,79	40	1,178	2	0,850	2
	1,69	30	1,145	15	-	-
Кальцит CaCO ₃	3,86	12	2,095	18	1,604	8
	3,035	100	1,927	5	1,587	2
	2,845	3	1,913	17	1,525	5
	2,495	14	1,875	17	1,518	4
	2,285	18	1,626	4	1,510	3
Арагонит- CaCO ₃	3,40	100	2,49	48	1,88	64
	3,29	48	2,36	48	1,82	32
	3,05	2	2,19	11	1,74	40
	2,88	2	2,10	24	1,63	2
	2,70	64	1,98	100	1,56	6
Ватерит- CaCO ₃	4,26	13	2,06	63	1,480	8
	3,58	63	1,866	15	1,367	8
	3,29	75	1,827	63	1,318	10
	2,73	100	1,650	31	1,289	13
	2,31	8	1,550	8	1,145	8
	-	-	-	-	1,112	5

CaO·Al ₂ O ₃	5,6	3	3,20	4	2,41	27
	4,69	13	2,97	100	2,33	7
	4,41	2	2,85	7	2,27	3
	4,05	5	2,75	1	2,20	10
	3,88	1	2,69	1	2,13	5
	3,71	7	2,60	1	1,92	20
	3,50	1	2,52	42	1,53	20
	3,30	3	-	-	-	-
3CaO·Al ₂ O ₃	4,847	7	2,402	4	1,523	2,5
	4,142	2	2,298	5,5	1,356	5
	3,784	10	2,193	5	1,347	20
	3,120	2	1,933	6	1,206	27
	3,043	15	1,906	36,5	1,100	97
	2,991	5,5	1,664	59	1,067	2
	2,696	100	1,555	24	1,047	3,5
	-	-	-	-	1,016	8
3CaO·5Al ₂ O ₃	4,46	40	2,44	47	1,76	33
	3,50	100	2,31	13	1,68	13
	3,31	7	2,18	20	1,62	40
	3,09	40	2,05	40	1,52	13
	2,96	27	2,00	20	1,53	67
	2,87	33	1,44	13	1,478	13
	2,73	40	1,90	20	1,455	27
	2,60	100	1,85	13	1,370	27
	2,51	20	1,80	33	1,337	13
	5CaO·3Al ₂ O ₃	4,95	67	1,73	13	1,309
3,19		20	1,66	42	1,261	7
3,01		23	1,59	50	1,236	7
2,68		100	1,52	13	1,209	10
2,44		50	1,478	10	1,174	10
2,19		50	1,395	27	1,141	7
1,94		50	1,344	10	1,112	13
-		-	-	-	1,091	3
α - CaO·SiO ₂	5,7	5	1,83	8	1,293	3
	3,42	15	1,69	3	1,250	8
	3,23	100	1,61	8	1,180	3
	2,80	75	1,54	3	1,140	3
	2,45	10	1,476	8	1,110	3
	1,98	63	1,400	5	1,040	3

α -2CaO·SiO ₂	5,6	8	2,74	100	2,02	6
	4,32	24	2,60	6	1,90	48
	4,05	6	2,51	9	1,80	32
	3,80	24	2,44	6	1,75	20
	3,38	9	2,32	6	1,68	20
	3,01	48	2,24	5	1,63	28
	2,89	9	2,18	6	1,53	8
	β -2CaO·SiO ₂	2,77	100	1,98	32	1,485
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
3CaO·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- 10CaO· 3P ₂ O ₅ · 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 — CaO·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 ₂ O 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	2
	4,511	3	2,589	4	1,947	2
	3,875	6	2,488	4	1,932	2
	3,675	2	2,195	2	1,710	2
	2,950	10	2,173	2	-	-
CaO · Ca ₂ O ₃ - II	5,327	7	3,006	4	2,493	2
	4,564	2	2,806	10	1,846	2
	2,155	2	2,661	3	1,561	2
	3,319	2	2,559	2	1,525	2
CaO·WO ₃	4,76	53	2,844	14	2,256	3
	3,10	100	2,622	23	2,0864	5
	3,072	31	2,326	19	-	-
4CaO·Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	2,78	33	1,93	47	1,326	7
	2,66	100	1,58	13	1,212	7
	2,05	27	1,53	7	-	-
2CaO· Al ₂ O ₃ · SiO ₂	5,44	3	2,300	15	1,545	2
	5,04	7	2,291	15	1,515	17
	3,70	22	2,037	15	1,435	3
	3,44	2	1,921	7	1,424	1
	3,06	25	1,862	5	1,390	2
	2,841	100	1,852	5	1,376	7
	2,718	3	1,811	8	1,359	3
	2,554	7	1,752	37	1,279	2
	2,428	17	1,718	2	1,267	2
	2,407	26	1,633	4	1,252	4
	2,401	26	1,615	3	1,1241	30
	-	-	-	-	1,0080	15
	2CaO·MgO· 2SiO ₂	5,57	10	3,09	29	2,321
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 — 3CaO·MgO· 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 — CaO·TiO ₂ · SiO ₂	4,87	2	2,05	6	1,410	9
	3,57	5	1,932	2	1,343	5
	3,20	10	1,801	2	1,302	5
	2,98	9	1,734	5	1,274	5
	2,85	5	1,693	6	1,225	2
	2,59	10	1,630	7	1,131	5
	2,26	7	1,553	6	1,106	5
	2,09	2	1,488	7	1,074	2
CaLaAl ₃ O ₇	5,11	8	2,473	20	1,835	10
	4,49	3	2,441	10	1,784	30
	3,75	22	2,338	10	1,545	25
	3,48	10	2,329	10	1,500	7
	3,11	25	2,233	10	1,404	7
	2,889	100	2,079	30	1,400	7
	2,868	5	1,892	10	0,9517	50
	2,583	18	1,842	10	0,9164	25
	-	-	-	-	-	-

CaNdAl ₃ O ₇	5,11	14	2,419	7	1,767	31
	3,73	16	2,312	9	1,723	8
	3,47	7	2,134	6	1,530	18
	3,09	18	2,057	27	1,492	7
	2,868	100	1,938	8	1,385	12
	2,550	22	1,881	9	0,9460	50
	2,455	11	1,876	7	0,9092	25
	2,434	8	1,829	5	-	-
CaSmAl ₃ O ₇	3,71	25	2,403	6	1,525	20
	3,43	10	2,302	10	1,486	5
	3,07	20	2,044	27	1,382	15
	2,850	100	1,935	10	1,274	10
	2,635	5	1,821	12	0,9434	50
	2,539	7	1,761	35	0,9059	25
	2,439	12	1,714	5	-	-
Ca.YAl ₃ O ₇	5,43	4	2,394	20	1,711	10
	5,04	5	2,283	14	1,542	3
	3,86	4	2,189	6	1,511	23
	3,70	22	2,114	2	1,474	6
	3,33	4	2,037	25	1,447	2
	3,05	31	1,921	8	1,375	10
	2,841	100	1,864	6	1,360	3
	2,713	3	1,850	5	1,323	2
	2,613	4	1,813	10	0,9379	50
	2,522	10	1,750	40	0,8999	25
	2,432	18	1,720	4	-	-
Ca ₆ La ₄ (SiO ₄) ₆	4,22	11	3,19	18	2,19	11
	4,06	10	2,94	100	2,03	25
	3,66	20	2,88	40	-	-
	3,29	26	2,35	13	-	-
Ca _{0,67} La _{0,33} Al _{0,33} · Si _{0,67} O ₃	4,17	10	3,15	20	2,12	10
	4,00	10	2,88	100	1,99	17
	3,55	8	2,78	18	-	-
	3,27	20	2,27	13	-	-
Ca _{0,67} Nd _{0,33} · Al _{0,33} ·Si _{0,67} O ₃	4,10	16	3,12	50	2,09	6
	3,93	16	2,83	100	1,97	24
	3,51	8	2,75	32	-	-
	3,22	20	2,27	13	-	-
Ca _{0,67} Sc _{0,33} · Al _{0,33} ·Si _{0,67} O ₃	3,37	16	2,60	14	1,69	33
	3,04	70	2,49	25	1,63	75
	2,84	10	2,39	10	-	-
	2,73	100	1,99	12	-	-

Геролит – $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9,6	6	3,02	2	2,12	4
	7,9	4	2,92	2	2,095	4
	6,4	4	2,85	8	2,060	2
	4,68	4	2,65	6	1,990	2
	4,24	8	2,58	2	1,940	2
	3,84	6	2,52	2	1,884	8
	3,54	4	2,45	4	1,813	3
	3,36	10	2,29	4	-	-
	3,15	6	2,25	6	-	-
	$3\text{CaO} \cdot \text{Ga}_2\text{O}_3$	10,589	2	3,110	5	1,837
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
	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
3,019		7	2,663	5	2,170	4
Апортит – $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (Ромбик)	5,94	3	2,415	1	1,855	3
	4,83	9	2,383	8	1,849	8
	4,29	5	2,363	15	1,773	7
	4,20	10	2,327	13	1,732	2
	4,17	85	2,296	4	1,685	10
	4,11	70	2,241	13	1,672	15
	3,75	50	2,152	3	1,621	3
	3,21	100	2,115	7	1,598	8
	3,13	3	2,087	40	1,578	6
	2,97	35	2,056	15	1,558	6

	2,94	50	2,042	12	1,533	8
	2,701	30	2,026	10	1,510	3
	2,601	6	1,965	20	-	-
	2,532	12	1,907	3	-	-
СаО·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ (Гексагонал)	7,37	85	2,414	3	1,501	2
	4,43	7	2,417	11	1,495	14
	3,80	30	2,119	4	1,475	3
	3,68	100	1,842	100	1,399	12
	2,84	40	1,770	9	1,277	8
	2,555	9	1,701	1	1,183	5
	2,456	14	1,658	1	1,152	1
СаО·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	-	-	
Воллас- тонит — β - СаО·SiO ₂	7,7	40	2,33	40	1,72	60
	4,05	10	2,29	40	1,602	40
	3,83	80	2,18	60	1,531	10
	3,52	80	2,08	5	1,515	5
	3,40	5	2,01	20	1,478	20
	3,31	80	1,98	20	1,455	30
	3,16	5	1,91	20	1,426	5
	3,09	30	1,88	20	1,387	5
	2,97	100	1,86	10	1,358	30
	2,80	10	1,83	60	1,332	10
	2,72	10	1,80	5	1,312	5
	2,55	30	1,79	5	-	-
	2,47	60	1,75	40	-	-
Ранкинит — 3СаО·2SiO ₂	4,39	80	2,47	70	1,74	20
	4,04	80	2,34	20	1,72	20
	3,76	100	2,26	20	1,67	20
	3,51	50	2,15	20	1,62	30
	3,33	50	2,10	20	1,59	30
	3,15	100	2,03	20	1,54	20
	2,97	70	1,98	20	1,52	20
	2,85	70	1,94	20	1,47	70
	2,74	30	1,90	70	1,44	30
	2,68	100	1,84	70	1,42	20
	2,54	80	1,80	80	-	-

Шеннонит, кальциоолив ин-γ - 2CaO· SiO ₂	5,66	У.кз.	1,754	У.кз.	1,185	Ж.кз.
	4,33	У.	1,685	У.кз.	1,161	Кз.
	4,05	Кз.	1,672	Ж.ж.кз.	1,138	У.кз.
	3,82	У.	1,631	У.	1,106	Ж.ж.кз.
	3,39	Кз.	1,618	Ж.ж.кз.	1,095	Кз.
	3,01	Кц.	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.кц.	1,527	Кз.	1,050	Ж.ж.кз.
	2,60	Кз.	1,501	Кз.	1,038	Ж.ж.кз.
	2,53	Кз.	1,471	У.кз.	1,026	Ж.кз.
	2,46	Кз.	1,440	Кз.	1,014	Кз.
	2,33	Кз.	1,411	Кз.	1,001	Ж.кз.
	2,25	Ж.кз.	1,375	Ж.кз.	0,988	Ж.ж.кз.
	2,18	Кз.	1,349	Ж.кз.	0,978	Ж.ж.кз.
	2,05	Ж.кз.	1,303	Ж.кз.	0,953	Кз.
	2,02	Кз.	1,273	Кз.	0,942	Ж.ж.кз.
	1,964	Ж.кз.	1,253	У.кз.	0,933	Ж.кз.
1,908	Кц.	1,233	Ж.кз.	0,921	Ж.кз.	
1,873	Ж.кз.	1,218	Ж.ж.кз.	0,808	Ж.ж.кз.	
1,805	У.кц.	1,207	Ж.ж.кз.	0,900	Ж.кз.	
-	-	-	-	0,891	Кз.	
Сульфатли спуррит — 2(2CaO· SiO ₂)· CaSO ₄	7,68	10	2,704	10	1,954	20
	5,676	10	2,605	40	1,889	50
	5,319	10	2,561	50	1,836	15
	4,559	25	2,476	10	1,819	10
	4,073	20	2,403	10	1,806	10
	3,939	30	2,380	5	1,776	15
	3,490	30	2,353	5	1,755	20
	3,336	45	2,281	20	1,699	15
	3,190	65	2,227	10	1,688	10
	3,118	30	2,199	10	1,612	10
	3,035	30	2,169	20	1,561	5
	2,981	35	2,078	10	1,529	15
	2,838	100	2,060	15	-	-
2,736	10	2,017	20	-	-	
3CaO·Fe ₂ O ₃ · 3CaSO ₄ · 32H ₂ O	7,43	1	2,98	10	2,06	4
	4,71	4	2,73	1	1,89	4
	4,30	1	2,65	3	1,84	5
	3,85	3	2,45	4	1,61	1
	3,60	1	2,26	5	1,51	3
	3,41	1	2,19	4	1,40	2
Стронций — Sr	3,50	100	2,14	20	1,74	20
	3,03	60	1,83	100	-	-
SrO	2,97	100	1,55	43	1,182	29
	2,58	86	1,485	14	1,151	14
	1,82	71	1,290	14	1,050	29

SrF ₂	3,37	100	1,68	5	1,189	20
	2,91	5	1,455	10	1,121	15
	2,06	100	1,336	15	1,029	5
	1,75	50	1,302	5	0,979	10
SrCO ₃	3,53	100	2,18	8	1,90	16
	2,56	8	1,05	40	1,81	32
	2,45	40	1,98	8	-	-
Sr(NO ₃) ₂	4,50	100	2,24	100	1,50	17
	3,91	33	1,94	17	1,376	17
	3,48	33	1,78	17	1,315	17
	3,18	33	1,75	17	-	-
	2,35	100	1,58	17	-	-
SrO·SiO ₂	5,07	18	2,07	68	1,603	13
	3,07	65	1,914	33	1,527	17
	3,37	38	1,783	10	1,460	17
	2,92	100	1,759	3	1,350	5
	2,53	17	1,686	17	1,307	17
2SrO·SiO ₂	4,87	20	2,55	40	2,01	60
	4,02	50	2,37	50	1,90	10
	3,61	10	2,29	80	1,87	50
	3,28	70	2,21	40	1,82	60
	2,97	50	2,16	60	1,77	60
	2,81	100	2,04	40	1,70	50
	-	-	-	-	1,66	60
3SrO·Al ₂ O ₃	5,6	4	3,25	2	2,13	7
	5,4	5	2,92	5	1,99	11
	4,4	2	2,81	100	1,81	1
	4,3	5	2,51	4	1,77	3
	3,98	2	2,39	2	1,74	1
	3,49	4	2,29	7	1,62	20
	-	-	-	-	1,40	6
3SrO·SiO ₂	3,61	6	1,89	4	1,56	9
	2,97	35	1,81	15	1,55	4
	2,90	100	1,77	6	1,52	10
	2,69	15	1,70	7	1,49	4
	2,45	25	1,69	3	1,46	3
	2,34	55	1,66	14	1,38	3
	2,19	25	1,59	12	1,34	5

SrO·Al ₂ O ₃	6,07	5	2,46	12	1,90	7
	4,42	48	2,42	16	1,86	11
	4,00	9	2,21	20	1,67	6
	3,90	13	2,19	14	1,63	6
	3,83	13	2,15	14	1,60	13
	3,14	100	2,10	17	1,58	5
	3,04	88	2,03	5	1,57	7
	2,98	76	2,01	8	1,56	8
	2,56	33	1,95	16	1,53	14
	2,55	72	1,92	21	1,48	12
	-	-	-	-	1,47	7
	SrO·6Al ₂ O ₃	4,71	10	2,39	3	1,72
4,42		16	2,35	2	1,61	4
3,66		20	2,29	27	1,58	31
2,78		44	2,20	19	1,54	59
2,75		24	2,11	65	1,52	4
2,70		9	2,01	38	1,46	3
2,63		100	1,85	52	1,39	43
2,48		95	1,81	2	1,35	2
2,41		5	1,74	2	-	-
-		-	-	-	-	-
5SrO·Al ₂ O ₃	5,11	3	2,75	11	2,04	2
	4,98	3	2,56	2	1,96	12
	4,29	3	2,49	3	1,70	7
	3,92	2	2,42	2	1,69	4
	3,35	3	2,34	5	1,63	11
	2,89	100	2,31	5	1,61	8
	2,84	4	2,15	12	1,44	4
	2,79	17	2,07	2	1,34	5
SrO·CeO ₂	5,29	3	1,740	3	1,383	2
	2,99	100	1,718	22	1,245	10
	2,38	3	1,668	2	1,166	5
	2,26	8	1,537	17	1,153	5
	2,11	33	1,501	7	1,128	12
	1,795	7	1,457	2	1,086	5
	-	-	-	-	1,020	7
SrO·TiO ₂	2,76	100	1,589	30	1,173	2
	2,25	10	1,376	23	1,122	3
	1,944	30	1,230	18	1,041	15
SrO·ZrO ₂	2,90	100	1,667	67	1,293	24
	2,04	40	1,446	27	1,180	3
	-	-	-	-	1,094	27

SrO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	6,44	34	2,55	65	1,916	3
	5,77	11	2,47	5	1,895	11
	4,55	16	2,40	9	1,872	7
	4,11	8	2,34	9	1,846	7
	3,75	38	2,31	9	1,834	7
	3,58	21	2,22	11	1,794	11
	3,47	21	2,19	12	1,784	19
	3,43	68	2,16	8	1,744	7
	3,27	100	2,10	7	1,657	6
	3,22	100	2,06	11	1,621	9
	2,97	46	2,04	11	1,564	10
	2,89	26	1,965	3	1,505	7
	2,74	35	1,929	3	1,491	13
6SrO·9Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	5,60	21	2,40	12	1,89	15
	4,49	26	2,37	7	1,87	7
	3,03	100	2,32	11	1,85	10
	2,97	79	2,30	16	1,80	10
	2,94	74	2,25	5	1,78	11
	2,91	47	2,21	9	1,57	21
	2,82	29	2,16	28	1,56	21
	2,79	58	2,04	17	1,48	13
	2,75	32	2,02	49	1,47	11
	2,56	11	1,96	7	1,46	8
	2,45	30	1,92	17	1,40	11
	-	-	-	-	1,38	8
	2SrO·MgO· 2SiO ₂	5,68	32	2,590	24	2,000
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
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	У.	2,345	Ж.ж.кз.	1,751	У.
	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	У.ку.	1,696	У.
	2,791	Ж.ж.кз.	1,862	Ж.ж.кз.	1,681	У.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) ₂ [CO ₃] ₄ (OH) ₂	4,40	5	2,95	8	1,318	5
	3,79	10	2,35	6	1,207	5
	-	-	-	-	-	-
Лампрофил- лит- Sr ₂ (Na ₃ Ti) Ti ₂ (Si ₂ O ₇) ₂ O ₂ F	3,17	10	2,12	5	1,59	3
	2,75	9	1,76	3	1,44	3
	-	-	-	-	-	-
Витчит - Sr ₃ B ₁₆ O ₂₇ · 5H ₂ O	10,3	10	2,76	1	1,932	6
	5,64	6	2,69	1	1,859	2
	5,12	6	2,59	8	1,832	1
	4,46	4	2,52	2	1,797	2
	4,40	6	2,39	6	1,757	4
	3,47	4	2,20	6	1,673	1
	3,32	9	2,147	4	1,650	1
	3,19	4	2,078	6	1,583	2
	2,98	4	2,033	6	1,534	2
	2,86	6	1,992	2	1,506	2
Барий — Ва	3,55	100	1,451	5	1,026	1
	2,513	20	1,343	14	0,986	6
	2,051	40	1,185	5	0,917	2
	1,776	18	1,124	4	0,861	8
	1,590	12	1,072	3	-	-
BaO	3,20	100	1,380	10	0,975	5
	2,75	88	1,265	20	0,933	10
	1,95	75	1,231	25	0,920	5
	1,66	50	1,128	15	-	-
	1,59	25	1,060	5	-	-

Ba(OH) ₂	5,77	8	2,75	14	1,818	6
	5,20	6	2,71	25	1,729	6
	4,70	25	2,55	20	1,670	20
	4,38	12	2,46	30	1,600	10
	4,03	40	2,32	30	1,515	14
	3,59	25	2,16	10	1,488	2
	3,39	100	2,05	20	1,440	10
	3,19	14	2,00	6	1,391	6
	3,02	10	1,945	30	-	-
	2,94	18	1,895	18	-	-
BaF ₂	3,58	100	1,420	32	1,031	3
	3,09	25	1,382	18	0,978	6
	2,19	100	1,262	32	0,944	3
	1,86	80	1,190	20	0,933	2
	1,78	15	1,095	5	0,866	3
	1,55	15	1,045	15	0,859	2
	-	-	-	-	0,827	5
BaCO ₃	4,56	9	2,749	3	2,150	28
	4,45	4	2,656	11	2,104	12
	3,72	100	2,628	24	2,048	10
	3,68	53	2,590	23	2,019	21
	3,215	15	2,281	6	1,940	15
	2,025	4	2,226	2	1,859	3
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	45	1,67	15	1,028	5
	2,47	15	1,63	8	-	-

BaCrO ₄	4,50	11	1,97	1	1,380	7
	4,00	27	1,91	17	1,350	3
	3,54	40	1,80	10	1,325	3
	3,19	83	1,71	33	1,288	13
	2,90	33	1,66	11	1,250	4
	2,78	27	1,62	11	1,225	5
	2,53	8	1,56	23	1,170	8
	2,37	7	1,50	5	1,120	10
	2,25	7	1,450	13	1,055	4
	2,16	100	1,410	3	-	-
BaO·TiO ₂	4,03	12	2,019	12	1,786	7
	3,99	25	1,997	37	1,642	15
	2,830	100	1,802	6	1,634	35
	2,314	46	1,790	8	1,419	12
	-	-	-	-	1,412	10
BaO·Al ₂ O ₃	4,0468	Кз.	1,6768	Ү.	1,3023	Ү.
	3,1560	Ку.	1,6731	Ү.	1,2748	Ку.
	2,6084	Ку.	1,6386	Кз.	1,2509	Ж.кз.
	2,5008	Кз.	1,5890	Ку.	1,2485	Кз.
	2,4539	Ж.кз.	1,5719	Ү.	1,2399	Ку.
	2,2570	Кз.	1,5042	Ү.	1,2383	Кз.
	2,2421	Ү.	1,4728	Ж.кз.	1,2266	Кз.
	2,9970	Ү.	1,4624	Ж.кз.	1,2224	Кз.
	2,1829	Ж.кз.	1,4218	Ж.кз.	1,2028	Ку.
	2,0065	Ү.	1,3909	Ү.	-	-
	1,9724	Ү.	1,3841	Кз.	-	-
1,9453	Кз.	1,3451	Ү.	-	-	
BaO·CeO ₂	3,44	1	1,794	50	1,174	30
	3,10	100	1,552	15	1,098	2
	2,18	35	1,389	20	1,034	10
	2,10	4	1,269	8	0,980	8
BaO·6Al ₂ O ₃	4,74	57	3,02	15	2,23	25
	4,44	59	2,79	85	2,13	67
	4,09	11	2,70	84	2,04	45
	3,68	27	2,51	100	1,992	11
	3,32	27	2,42	15	1,760	15
	3,09	12	2,30	20	-	-
3BaO·Al ₂ O ₃	4,12	34	2,47	5	2,15	7
	3,78	10	2,38	23	2,06	25
	3,06	9	2,31	6	1,944	4
	2,91	100	2,20	5	1,841	12
Паст ҳароратли форма BaO·SiO ₂	5,082	Ж.кз.	1,747	Ку.	1,119	Кз.
	3,682	Ку.	1,654	Кз.	1,096	Кз.
	3,470	Ж.ж.кз.	1,573	Кз.	1,075	Ж.кз.
	3,305	Ж.кз.	1,512	Кз.	1,053	Ж.кз.
	2,999	Ж.ку.	1,404	Кз.	1,033	Ж.кз.
	2,600	Ү.	1,355	Ку.	1,011	Ку.
	2,349	Ү.	1,305	Ж.ж.кз.	0,961	Ку.

ZnO·Al ₂ O ₃	4,67 2,861 2,438 2,335 2,021	3 84 100 1 8	1,855 1,650 1,556 1,429 1,367	10 24 40 43 1	1,278 1,233 1,219 1,1670 1,1322	6 9 1 1 1
ZnO·B ₂ O ₃	5,29 3,74 3,048 2,364 2,158	6 3 100 23 1	1,997 1,869 1,761 1,672 1,594	20 13 38 2 3	1,526 1,466 1,364 1,321 1,282	25 5 8 4 3
ZnO·Cr ₂ O ₃	2,92 2,50 2,40 2,07 1,692	48 100 3 10 25	1,597 1,465 1,312 1,266 1,199	50 60 5 8 1	1,110 1,082 1,037 - -	7 12 4 - -
Кадмий – Cd	2,80 2,58 2,34 1,89 1,51 1,486	40 30 100 20 25 18	1,400 1,310 1,286 1,252 1,228 1,170	3 27 2 20 2 3	1,060 1,020 0,959 0,921 0,863 0,821	5 4 10 2 4 2
CdO	2,712 2,349 1,661 1,416	100 88 43 28	1,355 1,1742 1,0772 1,0499	13 5 9 13	0,9584 0,9036 0,8300 -	11 9 5 -
CdCO ₃	3,77 2,94 2,46 2,23 2,06 1,88 1,83 1,58	80 100 50 3 45 33 80 40	1,50 1,470 1,419 1,355 1,295 1,260 1,230 1,190	17 5 15 5 5 17 5 8	1,142 1,120 1,022 0,976 0,942 0,880 - -	8 8 8 7 7 7 - -
Cd(OH) ₂	4,70 3,02 2,55 1,86 1,74 1,63	100 63 100 40 30 30	1,51 1,440 1,400 1,271 1,165 1,139	13 20 20 15 7 8	1,110 1,090 1,028 1,005 0,980 0,925	13 3 10 3 4 5
CdSO ₄	4,93 3,74	50 14	2,30 2,11	22 8	1,630 1,559	24 8

	3,57	100	2,06	8	1,525	6
	3,21	26	1,948	2	1,465	6
	3,10	4	1,860	4	1,444	6
	2,51	60	1,773	4	1,407	4
	2,43	6	1,717	10	1,329	8
	2,38	50	1,682	8	1,269	4
	-	-	-	-	1,169	4
CdO·WO ₃	5,9	25	2,93	50	1,76	13
	5,0	38	2,53	75	1,53	25
	3,80	100	1,91	38	1,465	13
	3,05	100	1,81	38	1,410	13
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 2,94	67 89	1,89 1,86	11 17	1,384 1,346	11 11
H_3BO_3	5,9 3,16 2,90 2,81 2,62	28 100 3 2 6	2,55 2,49 2,23 2,16 2,08	2 2 13 3 6	2,02 1,68 1,63 1,58 -	3 3 2 3 -
$B(OH)_3$	7,66 6,84 6,07 4,59 4,24 4,035 3,858 3,382 3,178 3,099	2 4 7 1 2 1 5 2 10 1	2,94 2,846 2,631 2,561 2,490 2,433 2,367 2,297 2,238 2,175	3 3 3 1 3 2 2 4 5 1	2,101 1,982 1,902 1,868 1,825 1,783 1,753 1,724 1,693 1,647	4 1 4 1 2 3 3 3 4 3
BPO_4	3,62 3,07 2,25 1,965 1,865 1,817	100 7 53 3 17 7	1,534 1,460 1,375 1,319 1,269 1,211	4 17 3 9 5 4	1,185 1,093 1,059 1,039 - -	5 4 3 4 - -
Сингалит – $BMgAlO_4$	4,93 3,97 3,73 3,43 3,24 2,82 2,62 2,46 2,38	7 5 2 1 9 1 9 2 7	2,30 2,14 1,93 1,868 1,801 1,764 1,705 1,621 1,576	7 10 2 2 1 1 4 10 1	1,534 1,514 1,420 1,384 1,360 1,340 1,320 - -	4 4 7 2 1 4 1 - -
Майергоф- ферит $B_6Ca_2O_{11}$ $7H_2O$	8,39 6,51 5,03 4,17	100 100 50 8	3,65 3,50 3,30 3,17	18 12 35 100	3,09 2,974 2,900 2,641	18 18 1 18
B_4C	4,00 3,79 3,39 2,57 2,38 2,03	5 15 100 23 38 38	1,81 1,69 1,54 1,50 1,450 1,400	3 3 3 3 5 5	1,320 1,260 1,230 1,158 - -	5 3 5 5 - -

Алюминий- Al	2,33	100	1,219	30	0,928	4
	2,02	40	1,168	7	0,905	4
	1,430	30	1,011	2	0,826	1
	-	-	-	-	0,778	1
Корунд- α -Al ₂ O ₃	3,479	72	1,1898	6	0,9345	3
	2,552	92	1,1601	1	0,9178	2
	2,379	41	1,1470	4	0,9076	12
	2,085	100	1,1382	1	0,9052	3
	1,740	41	1,1255	5	0,8991	16
	1,601	83	1,0988	6	0,8804	4
	1,546	7	1,0831	3	0,8698	2
	1,510	2	1,0781	7	0,8580	12
	1,404	38	1,0426	13	0,8502	4
	1,374	42	1,0175	1	0,8303	22
	1,276	6	0,9976	11	0,8137	4
	1,239	16	0,9819	2	0,8075	11
Юқори ҳароратли γ -Al ₂ O ₃	2,86	6	1,988	50	1,440	3
	2,72	25	1,937	19	1,389	100
	2,595	19	1,790	6	1,285	3
	2,445	41	1,596	6	1,235	3
	2,290	31	1,533	9	1,176	3
	2,160	6	1,497	13	1,134	9
Паст ҳароратли γ -Al ₂ O ₃	2,39	19	1,520	6	0,882	6
	2,275	13	1,396	100	0,806	6
	1,975	72	1,139	13	-	-
	1,862	6	0,987	6	-	-
ν -Al ₂ O ₃	2,835	41	1,900	41	1,400	25
	2,710	50	1,794	13	1,386	100
	2,570	3	1,734	3	1,289	6
	2,445	50	1,605	3	1,258	3
	2,300	41	1,536	25	1,231	3
	2,245	31	1,479	13	1,108	3
	2,015	50	1,449	19	-	-
	χ -Al ₂ O ₃	3,03	13	2,115	41	1,483
2,80		19	2,001	3	1,435	41
2,71		13	1,900	3	1,390	100
2,57		41	1,868	19	1,340	13
2,43		19	1,638	19	1,308	9
2,325		25	1,600	3	1,264	3
2,245		3	1,548	3	-	-
Гидрат- гилит (гиб- сит)- Al ₂ O ₃ ·3H ₂ O	4,82	10	1,798	8	1,298	1
	4,34	6	1,747	8	1,248	2
	3,512	2	1,686	8	1,235	1
	3,317	2	1,657	2	2,215	4
	3,184	2	1,639	1	2,195	3

Монтморил- лонит- (Al,Mg) ₂ (OH) ₂ [Si ₄ O ₁₀]·H ₂ 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- Al ₂ [Si ₄ O ₁₀] (OH) ₂ ·nH ₂ 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)- Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ ·4H ₂ O	11,50	Ж.ку.	3,21	Кз.	2,03	Ж.кз.
	8,06	Ж.кз.	2,69	Ж.кз.	1,92	Ж.кз.
	5,80	Кз.	2,58	Ку.	1,69	Ку.
	4,40	Ку.	2,49	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.
Пирофил- лит- Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ ·H ₂ O	11,80	Ж.кз.	3,00	Кз.	1,76	Кз.
	10,50	Кз.	2,91	Ж.кз.	1,67	Ку.
	8,80	Ку.	2,72	Ж.кз.	1,65	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	7
	2,953	100	1,2475	20	0,9626	3
	2,925	50	1,2379	14	0,9515	1
	2,262	60	1,2276	5	0,9369	1
	1,996	85	1,2216	17	0,8986	4
	1,957	56	1,1928	15	0,8948	2
	1,947	17	1,1853	4	0,8923	4
	1,916	16	1,1302	5	0,8817	7
	1,789	21	1,1119	8	0,8802	7
	1,763	6	1,0866	3	0,8690	4
	1,599	11	1,0540	1	0,8654	3
	1,586	3	1,0496	3	0,8383	8
	1,476	3	1,0355	4	0,8376	4
	1,461	14	1,0111	2	0,8247	5

	1,406 1,404 1,391	9 8 4	0,9976 0,9775 0,9735	2 1 5	0,8179 0,8080 -	6 3 -
GaP	3,14 2,72 1,924 1,641	100 15 65 50	1,572 1,362 1,250 1,218	17 13 35 3	1,112 1,049 - -	15 8 - -
Ga ₂ O ₃	3,630 2,651 2,491 2,238 2,177 2,052 1,814 1,665	26 100 80 4 16 3 36 45	1,565 1,466 1,438 1,325 1,282 1,245 1,209 1,1696	9 33 30 4 11 9 4 4	1,1396 1,1266 1,0878 1,0366 1,0266 0,9738 0,9487 -	6 8 6 8 3 3 7 -
GaSb	3,520 3,048 2,156 1,838 1,759 1,524 1,399	100 11 67 44 3 11 17	1,363 1,244 1,1738 1,0776 1,0304 1,0158 0,9638	3 20 10 5 9 1 4	0,9294 0,9188 0,8796 0,8534 0,8452 0,8144 0,7936	5 1 2 5 1 7 7
Индий-Іп	2,72 2,46 2,29 1,68 1,62 1,462	100 25 40 30 15 20	1,395 1,355 1,144 1,088 1,055 1,040	30 15 2 10 2 2	1,025 0,980 0,948 0,905 0,888 -	2 2 6 2 2 -
In ₂ O ₃	4,11 2,91 2,69 2,51 2,37 2,25 2,142 1,973 1,843 1,780 1,729 1,677 1,634 1,593 1,552 1,519	12 100 2 24 6 2 7 13 4 49 4 4 7 4 8 42	1,260 1,242 1,225 1,205 1,189 1,175 1,158 1,129 1,115 1,103 1,088 1,065 1,042 1,031 1,021 1,009	6 7 3 2 2 6 14 9 8 2 5 5 4 9 4 2	0,9144 0,9003 0,8931 0,8792 0,8725 0,8666 0,8602 0,8538 0,8410 0,8418 0,8361 0,8306 0,8251 0,8196 0,8141 0,8038	5 6 2 3 3 2 2 6 2 3 5 2 2 4 3 4

	1,486	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	-	-
TlNO 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	12	
	5,17	9	2,664	1	1,957	3	
	4,40	17	2,630	15	1,941	7	
	4,32	28	2,533	26	1,926	17	
	3,91	2	2,457	15	1,884	4	
	3,67	14	2,321	12	1,873	1	
	3,53	57	2,308	10	1,858	6	
	3,266	26	2,200	9	1,837	7	
	3,237	21	2,186	13	1,832	13	
	3,154	53	2,181	12	1,802	7	
	3,122	100	2,158	27	1,778	23	
	3,045	88	2,103	9	1,767	4	
	2,961	55	2,056	16	1,739	10	
	Скандий алюминати- Sc ₂ O ₃ ·Al ₂ O ₃	2,842	29	2,241	5	1,7051	21
		2,687	100	2,138	7	1,6350	28
2,359		21	2,004	9	1,4180	12	
2,265		5	1,8436	5	1,3990	5	
3Sc ₂ O ₃ · 5Ga ₂ O ₃	4,73	12	2,231	8	1,4890	10	
	3,404	36	2,144	14	1,4839	49	
	3,110	39	2,131	24	1,4447	54	
	3,034	8	1,830	6	1,4328	11	
	2,889	29	1,7905	52	1,4281	24	
	2,878	100	1,7836	39	1,4158	42	
	2,852	100	1,7077	46	1,3966	48	
	2,653	88	1,6800	100	1,3640	9	
	2,598	16	1,6017	52	1,3496	11	
	2,486	11	1,5858	10	1,3466	11	
	2,385	88	1,5793	28	1,3267	13	
	2,365	90	1,5167	24	1,3048	18	
	2,247	13	1,4933	10	-	-	
	Sc ₂ O ₃ Nb ₂ O ₅	5,77	10	3,002	100	2,550	40
4,84		40	2,950	100	2,482	70	
3,79		40	2,828	40	2,404	40	
3,667		70	-	-	-	-	
Тортвейтит - Sc ₂ [Si ₂ O ₇]	5,13	100	2,55	80	1,594	20	
	4,57	5	2,17	30	1,572	10	
	4,48	5	2,13	5	1,522	10	
	4,29	5	2,09	10	1,509	20	
	3,45	5	2,05	30	1,422	20	
	3,36	10	1,932	10	1,358	40	
	3,14	90	1,875	10	1,186	10	
	3,12	100	1,700	40	1,174	5	
	2,93	80	1,694	30	-	-	
	2,60	30	1,646	30	-	-	

Sc 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	-	-
	Лагтан-Ла	3,23	100	1,61	20	1,23
	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	-	-
Вайшценкит - (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 2,57 1,815 1,550	100 60 40 40	1,481 1,288 1,179 1,143	28 12 16 12	1,049 0,990 0,910	8 4 4
CeO ₂	3,11 2,69 1,90 1,62 1,55 1,347	100 25 80 60 10 10	1,237 1,207 1,101 1,037 0,954 0,912	25 16 20 18 4 14	0,899 0,853 0,816 0,756 0,722 0,703	2 4 2 4 4 2
CeCl ₃	8,6 7,9 6,8 5,7 5,3 5,0 4,50 4,30 3,99	12 8 100 6 30 12 16 30 25	3,82 3,31 3,17 3,07 2,83 2,63 2,53 2,48 2,38	30 20 12 2 12 16 4 16 10	2,30 2,21 2,08 2,01 1,93 1,89 1,82 1,73 -	8 30 2 8 8 8 4 8 -
Ce(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	11,5 10,0 8,7 8,1 6,8 6,3 5,8 5,4 5,2 4,70 -	24 16 16 64 80 100 64 80 48 100 -	4,39 3,97 3,80 3,64 3,35 3,25 3,00 2,91 2,84 2,62 -	100 80 48 32 64 64 32 64 64 80 -	2,53 2,45 2,41 2,30 2,25 2,19 2,11 2,03 2,00 1,95 1,86	48 40 32 40 40 32 64 24 16 48 32
Ce(SO ₄) ₂ ·4H ₂ O	6,8 5,8 5,4 4,65 4,41 3,96 3,69 3,45 3,33 3,22	13 5 3 100 13 7 7 17 3 33	2,98 2,91 2,82 2,70 2,60 2,48 2,39 2,33 2,23 2,10	7 3 10 13 7 3 3 3 3 10	2,05 2,00 1,88 1,83 1,76 1,67 1,62 1,54 - -	7 10 3 7 5 5 5 3 - -

Ce ₂ SiO ₅	3,580	11	1,859	22	1,3105	18	
	3,279	27	1,834	35	1,2836	27	
	3,153	33	1,813	37	1,2625	25	
	2,879	100	1,6856	11	1,2120	5	
	2,790	25	1,6483	7	1,1932	5	
	2,619	5	1,6380	9	1,1550	11	
	2,557	5	1,5800	14	1,1412	5	
	2,419	3	1,5660	14	1,0779	11	
	2,300	11	1,5210	24	1,0672	9	
	2,208	7	1,5097	20	1,0460	12	
	2,147	11	1,4760	20	1,0309	7	
	2,099	5	1,3943	5	1,0192	5	
	2,006	31	1,3630	7	1,0068	7	
	1,954	20	1,3450	9	-	-	
	1,910	38	1,3235	12	-	-	
	Ce ₂ Si ₂ O ₇	3,760	6	1,8930	24	1,2798	27
		3,353	100	1,8300	57	1,2595	24
3,258		24	1,7260	27	1,2355	21	
3,138		21	1,6656	33	1,2058	9	
3,067		24	1,6120	15	1,1688	27	
2,842		27	1,5770	12	1,1577	21	
2,684		36	1,5500	18	1,1290	18	
2,657		36	1,5157	15	1,1193	18	
2,506		24	1,4728	6	1,1045	12	
2,395		12	1,4558	9	1,0823	15	
2,297		6	1,4256	15	1,0700	24	
2,175		33	1,4058	9	1,0531	21	
2,156		39	1,3770	21	1,0412	9	
2,1196		18	1,3560	18	1,0052	12	
2,0260		69	1,3240	21	-	-	
1,9330		21	1,2955	15	-	-	
CeO _{1,6} ·2TiO ₂		3,282	95	2,170	30	1,4368	15
	3,208	100	1,965	25	1,4058	15	
	3,097	55	1,896	55	1,3850	15	
	2,938	45	1,803	55	1,3440	20	
	2,783	15	1,763	45	1,2378	30	
	2,680	30	1,690	45	1,2174	15	
	2,611	20	1,673	55	1,1787	15	
	2,518	30	1,620	65	1,1646	20	
	2,373	15	1,569	50	1,1038	25	
	2,196	25	1,470	30	1,0423	25	
Ce ₂ Ti ₃ O _{8,7}	3,90	10	1,743	10	1,172	10	
	3,503	10	1,583	55	1,123	10	
	2,752	100	1,372	30	1,080	5	
	2,243	20	1,294	5	1,039	30	
	1,934	65	1,228	25	-	-	

Ce AlO ₃ .	3,75	1	1,34	4	1,01	5
	2,64	5	1,26	4	0,910	2
	2,20	4	1,20	5	0,887	4
	1,90	4	1,14	3	0,864	2
	1,70	2	1,10	2	0,841	4
	1,55	5	1,05	2	-	-
	-	-	-	-	-	-
Ce ₂ O ₃	3,408	20	1,642	45	1,2018	20
	3,016	100	1,630	45	1,1810	10
	2,930	90	1,524	30	1,1476	35
	2,257	40	1,480	15	1,1330	10
	1,947	35	1,3898	15	1,0832	20
	1,735	65	1,3010	20	1,0587	15
	1,685	5	1,2535	20	1,0167	10
	-	-	-	-	-	-
Ce ₂ O ₃ · 11Al ₂ O ₃	3,67	20	1,81	10	1,230	20
	2,76	45	1,71	25	1,185	10
	2,62	85	1,575	60	1,160	10
	2,47	70	1,538	100	1,143	15
	2,28	30	1,459	5	1,120	15
	2,20	35	1,388	35	1,107	16
	2,12	65	1,349	5	1,080	10
	2,00	55	1,316	35	1,042	35
	1,85	15	1,288	5	1,032	35
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Ce ₂ Zr ₂ O ₇	6,23	3	1,614	80	1,0926	40
	3,23	5	1,545	30	1,0302	45
	3,10	100	1,501	2	0,9463	20
	2,68	42	1,390	2	0,9359	2
	2,46	10	1,338	20	0,9047	30
	2,20	3	1,304	3	0,8923	20
	2,060	4	1,226	54	0,8462	15
	1,893	90	1,197	38	0,8160	10
	1,811	10	1,172	4	0,8068	10
	-	-	-	-	-	-
Цералит – (Ce ⁴⁺ , Ca ²⁺)· Al ³⁺ (O ²⁻ , F ⁻) 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	5
	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 IIAl ₂ O ₃	2,76	42	2,095	59	1,563	31
	2,73	35	2,066	39	1,529	61
	2,617	100	1,994	39	1,516	45
	2,602	24	1,851	25	1,452	14
	2,469	66	1,722	18	1,395	21
	2,355	17	1,699	18	1,385	48
	2,264	24	1,658	21	1,309	28
	2,137	36	1,589	34	1,234	24
	-	-	-	-	1,224	21
EuCa - Al ₃ O ₇	5,46	8	2,38	21	1,75	50
	5,09	15	2,29	12	1,68	9
	3,71	35	2,28	8	1,64	12
	3,46	5	2,18	12	1,52	44
	3,08	40	2,14	9	1,48	9
	2,86	100	2,04	33	1,45	9
	2,76	15	1,98	12	1,42	9
	2,54	9	1,92	24	1,38	35
	2,44	24	1,86	24	1,31	15
	2,41	21	1,82	12	1,28	9
	-	-	-	-	1,24	12
EuS	3,26	80	1,33	70	0,909	10
	2,94	100	1,22	70	0,920	50
	2,10	80	1,15	60	0,898	40
	1,80	60	1,05	20	0,861	10
	1,70	50	1,01	40	0,836	60
	1,49	50	0,997	50	0,828	60
	1,37	50	0,941	50	0,799	80
Галлиний (III)-Оксид Gd ₂ O ₃	5,900	3	2,961	100	2,258	5
	3,965	4	2,868	50	2,195	20
	3,396	10	2,820	75	2,131	45
	3,155	70	2,752	75	1,915	40
	3,028	60	2,308	10	1,784	25
3Gd ₂ O ₃ Ga ₂ O ₃	4,53	20	2,301	15	1,7672	17
	4,11	13	2,241	17	1,7184	17
	3,204	14	2,199	13	1,6808	17
	3,054	100	2,032	39	1,6450	24
	3,025	57	2,005	30	1,5788	24
	2,990	27	1,9918	15	1,5456	17
	2,908	22	1,9027	15	1,5276	25
	2,824	29	1,8349	32	-	-
	2,630	17	1,8097	14	-	-
Gd ₃ Ga ₂ (GaO ₄) ₃	5,05	16	2,77	100	1,53	40
	-	-	-	-	1,65	3

Gd 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 1,26 1,072 0,885 0,813 0,721 0,680 0,625 0,597	100 50 40 10 25 40 20 10 20	0,558 0,538 0,507 0,496 0,473 0,462 0,442 0,432 0,417	15 6 3 8 20 15 5 3 12	0,409 0,397 0,389 0,378 0,372 0,363 0,358 - -	8 5 8 5 5 7 20 - -
С-(Графит)	3,38 2,12 2,02 1,69 1,227	100 5 10 10 18	1,150 1,120 1,049 1,991 0,828	9 1 1 3 1	0,796 0,707 0,695 - -	1 1 1 - -
Эвенкиг - $C_{21}H_{48}$	9,36 4,66 4,183 3,744 3,348 3,024 2,783 2,627 2,515 2,461 2,415	1 5 10 9 1 5 3 1 7 2 4	2,245 2,150 2,124 2,079 2,015 1,914 1,866 1,751 1,718 1,658 1,623	8 3 6 3 3 5 3 6 1 5 3	1,571 1,515 1,460 1,426 1,386 1,299 1,243 1,214 1,116 1,102 1,026	1 4 2 2 3 4 4 4 4 2 3
Кертисит -- $C_{24}H_{18}O$	18,1 9,4 8,4 6,23	10 1 5 2	5,62 5,06 4,59 4,09	7 10 5 9	3,78 3,42 - -	5 10 - -
$[C_2O_4]Ca \cdot H_2O$	5,95 5,81 4,53 3,773 3,652 3,414 3,321 3,105 3,002 2,971 2,906 2,842 2,639 -	100 5 5 5 90 1 1 5 1 50 10 10 1 -	2,497 2,455 2,422 2,388 2,357 2,262 2,213 2,135 2,076 1,978 1,955 1,930 1,891 -	20 1 1 1 80 20 5 1 10 5 5 5 5 -	1,850 1,848 1,826 1,818 1,794 1,737 1,693 1,644 1,588 1,552 1,528 1,505 1,480 1,458	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Кремний Si	3,138	100	1,246	13	0,9178	11
	1,920	60	1,1083	17	0,8586	9
	1,638	35	1,0450	9	0,8281	5
	1,357	8	0,9599	5	-	-
β - кварц SiO ₂	4,25	25	1,66	8	1,180	8
	3,35	100	1,54	20	1,155	1
	2,45	15	1,450	2	1,080	4
	2,29	10	1,375	25	1,048	2
	2,23	6	1,299	4	1,035	1
	2,12	9	1,256	3	1,015	1
	1,97	8	1,228	3	-	-
	1,82	25	1,200	6	-	-
α - кварц SiO ₂	4,43	60	1,85	90	1,277	60
	3,42	100	1,71	40	1,225	40
	2,55	60	1,57	80	1,296	60
	2,30	40	1,421	80	1,190	40
	2,22	60	1,393	80	1,113	20
	2,05	60	1,292	60	1,105	20
	-	-	-	-	1,044	20
γ - тридимит SiO ₂	4,30	100	2,305	11	1,399	7
	4,08	33	2,080	5	1,360	3
	3,81	67	1,840	3	1,305	4
	3,43	1	1,690	8	1,244	3
	3,21	1	1,635	4	1,192	5
	2,96	17	1,598	4	1,153	3
	2,80	3	1,530	5	1,097	1
	2,49	27	1,439	3	-	-
α - триди- мит-SiO ₂	4,39	10	2,07	2	1,394	5
	4,12	10	1,95	5	1,371	2
	3,73	9	1,88	2	1,336	2
	3,23	5	1,77	2	1,305	5
	2,94	5	1,69	7	1,243	2
	2,77	2	1,62	5	1,226	2
	2,49	7	1,591	5	1,196	6
	2,28	5	1,528	7	1,153	5
	2,11	2	1,432	5	1,096	2
Юқори ҳароратли кристобалит- SiO ₂	4,15	100	1,793	5	1,209	30
	2,92	5	1,688	5	1,130	20
	2,53	80	1,639	60	1,089	5
	2,17	10	1,469	50	1,029	5
	2,07	30	1,379	20	1,000	10
	1,99	5	1,265	30	0,956	10
				0,929	10	

Паст ҳароратли β — кристо- балиг- 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	
Кинит- 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	Ү.	1,228	Ү.
	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	Ү.	0,888	Ү.
	2,563	Ку.	1,509	Ж.кз.	0,874	Кз.
	2,456	Ү.	1,473	Ү.	0,868	Ү.
	2,299	Ж. ку.	1,434	Ү.	0,857	Ж.кз.
	2,039	Ү.	1,386	Кз.	0,854	Ү.
	1,953	Кз.	1,303	Ү.	0,850	Кз.
1,841	Ү.	1,259	Кз.	0,843	Ү.	
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	-	-
	-	-	-	-	-	-

GeJ ₄	6,95	4	2,5679	3	1,5047	4
	5,384	8	2,3605	4	1,3812	7
	4,918	12	2,1286	35	1,3466	6
	3,4740	100	1,8148	27	1,2287	5
	3,0104	41	1,7652	3	1,1585	3
	2,6270	4	1,7378	7	-	-
Ge ₃ Bi ₄ O ₁₂	4,24	Ÿ.	1,798	Ÿ.	1,431	Ÿ.
	3,26	Ku.	1,704	Ÿ.	1,404	Ÿ.
	2,76	Ku.	1,661	Ÿ.	1,335	Ÿ.
	2,59	Ÿ.	1,619	Ÿ.	1,296	Ÿ.
	2,12	Ÿ.	1,548	Ÿ.	1,258	K ₃ .
	2,04	Ÿ.	1,514	K ₃ .	-	-
1,915	K ₃ .	1,486	Ÿ.	-	-	
GeO ₂ · 2ZnO	4,10	60	1,58	60	1,17	20
	3,54	80	1,55	60	1,14	40
	2,89	100	1,50	10	1,11	40
	2,69	100	1,44	100	1,08	10
	2,38	80	1,42	20	1,07	20
	2,04	40	1,38	80	1,05	10
	1,96	40	1,36	80	1,02	60
	1,87	100	1,28	20	1,01	20
	1,73	40	1,25	20	0,998	20
	1,66	40	1,22	40	0,983	10
	1,63	60	1,19	40	-	-
7GeO ₂ · 2Fe ₂ O ₃	3,342	80	2,036	50	1,470	30
	3,077	60	1,859	40	1,427	80
	3,037	100	1,735	10	1,364	10
	2,960	90	1,692	60	1,335	10
	2,602	70	1,650	60	1,289	10
	2,518	90	1,601	10	1,255	10
	2,324	10	1,575	20	-	-
2,260	10	1,549	70	-	-	
Қатай - 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
β - Sn	2,91	100	1,450	20	0,980	3
	2,79	80	1,298	16	0,927	6
	2,05	32	1,200	20	0,885	2
	2,01	80	1,092	11	0,847	3
	1,65	24	1,040	8	0,805	2
	1,480	24	1,022	6	-	-

SnO	4,85	10	1,225	4	0,9674	1
	2,989	100	1,209	3	0,9507	3
	2,688	37	1,202	4	0,9371	3
	2,418	14	1,1747	6	0,9056	4
	2,039	1	1,1697	8	0,8988	4
	1,901	13	1,1520	1	0,8824	5
	1,797	27	1,1026	4	0,8524	4
	1,604	25	1,0766	6	0,8503	4
	1,494	11	1,0303	4	0,8405	6
	1,484	12	1,0201	3	0,8062	1
	1,382	3	0,9965	1	0,8020	1
	1,344	5	0,9852	1	0,8002	1
SnO ₂	3,34	100	1,412	15	1,035	2
	2,64	63	1,315	6	0,948	8
	2,36	18	1,213	10	0,929	1
	1,75	63	1,180	2	0,905	4
	1,67	10	1,150	6	0,880	4
	1,58	5	1,110	3	0,845	2
	1,492	10	1,085	8	-	-
	1,435	10	1,057	3	-	-
	Sn ₃ (PO ₄) ₂	6,9	7	2,68	27	1,90
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	-	-
Құрғошин - Рь		2,85	100	1,490	50	1,105
	2,47	50	1,428	17	-	-
	1,74	50	1,134	17	-	-
РьО (сарық)	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
РьО (қизил)	5,018	5	1,872	37	1,282	2
	3,115	100	1,675	24	1,256	3
	2,809	62	1,558	6	1,226	4
	2,510	18	1,542	11	1,219	5
	2,124	1	1,438	2	1,1977	1
	1,988	8	1,405	5	1,1462	2

PbO ₂	3,49	100	1,56	20	1,145	8
	2,78	100	1,51	24	1,125	8
	2,46	28	1,480	24	1,000	12
	1,84	100	1,390	12	0,948	4
	1,74	20	1,268	16	-	-
	1,68	8	1,210	8	-	-
Pb ₃ O ₄	3,35	100	1,58	14	2,47	30
	2,88	43	1,51	14	2,41	46
	2,76	43	1,405	14	2,35	29
	2,62	28	2,89	55	2,05	22
	1,95	14	2,84	65	1,95	56
	1,89	28	2,80	31	1,89	10
	1,82	28	2,74	68	1,87	24
	1,74	43	2,64	38	1,84	15
	1,62	14	2,60	42	-	-
PbCO ₃	4,427	17	2,522	20	1,859	21
	4,255	7	2,487	32	1,847	8
	3,593	100	2,213	7	1,796	4
	3,498	43	2,129	2	1,750	2
	3,074	24	2,081	27	1,693	1
	2,893	2	2,009	11	1,642	2
	2,644	2	1,981	9	1,632	6
	2,589	11	1,933	19	1,615	2
	2PbO·ZnO· 2SiO ₂	5,26	50	2,12	35	1,489
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
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	-	-
Дюфлит – PbCu[AsO ₄] (OH)	5,01	2	3,17	10	2,26	5
	4,76	1	2,94	1	2,08	4
	4,18	6	2,91	8	1,861	7
	4,00	1	2,63	9	1,745	6
	3,78	2	2,52	2	1,635	8
	3,51	2	2,42	2	1,584	4
	3,32	1	2,32	1	1,559	4
Титан-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
Брашнерит- UTi ₂ O ₆	3,42	10	2,276	7	1,623	6
	3,32	6	1,903	8	-	-
	2,455	7	1,861	6	-	-

Титанит- CaTi SiO ₄ O	3,21	9	1,647	8	1,110	7
	2,97	7	1,498	8	-	-
	2,59	10	1,135	7	-	-
Циркелит- CaZrTi ₂ O ₇	2,96	10	2,53	2	1,752	3
	2,83	3	1,817	3	-	-
Чевкинит- Ce ₄ (Fe, Ti) ₃ · TiO ₄ ₂ · Si ₂ O ₇ ₂	3,156	8	2,702	10	2,163	8
	2,850	7	2,600	5	1,960	8
Эвксенит- Y(Nb, Ta, Ti) ₂ · (O, OH) ₆	3,66	5	2,43	4	1,723	5
	2,98	10	1,823	5	1,487	5
Цирконий — Zr	2,798	33	1,287	4	0,9474	2
	2,573	32	1,2296	4	0,9327	3
	2,459	100	1,1689	3	0,9003	5
	1,894	17	1,0842	4	0,8771	3
	1,616	17	1,0588	2	0,8577	1
	1,463	18	1,0360	6	0,8292	2
	1,399	3	1,0063	3	0,8201	2
	1,368	18	0,9783	2	-	-
	1,350	12	0,9660	4	-	-
	ZrO ₂	5,1	5	1,81	40	1,330
3,69		24	1,70	20	1,307	3
3,19		100	1,66	24	1,270	12
2,85		80	1,62	5	1,219	5
2,63		32	1,59	6	1,167	6
2,55		16	1,55	24	1,113	6
2,34		8	1,51	8	1,036	4
2,21		24	1,486	16	1,001	6
2,01		16	1,426	16	-	-
1,85		32	1,363	5	-	-
ZrO ₂ ·SiO ₂	4,434	45	1,651	14	1,1672	2
	3,302	100	1,547	4	1,1079	5
	2,650	7	1,495	3	1,1006	5
	2,518	45	1,477	8	1,0682	1
	2,336	10	1,381	10	1,0590	7
	2,217	8	1,362	7	1,0506	7
	2,066	20	1,290	5	1,0442	5
	1,908	14	1,259	8	1,0015	1
	1,751	11	1,248	3	0,9745	5
	1,712	40	1,1883	11	0,9713	5

Zr(NO ₃) ₄ ·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
2,531		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	4
	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
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	-	-

$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	6,6	58	2,48	30	1,82	25
	5,1	100	2,33	18	1,50	10
	3,77	16	2,05	25	1,465	10
	3,37	83	2,00	10	1,425	10
	3,04	40	1,92	19	1,350	7
	2,77	27	1,87	10	1,290	7
Фосфор- Р-кизил	4,22	100	3,24	60	2,32	30
	3,64	60	2,59	60	-	-
Фосфор- Р-қора	5,24	30	1,75	20	1,270	10
	3,36	80	1,640	80	1,249	20
	2,62	60	1,618	70	1,200	30
	2,56	100	1,483	20	1,180	10
	2,25	20	1,400	40	1,156	40
	2,19	10	1,364	10	1,067	40
	2,11	10	1,330	10	1,062	50
	1,80	20	1,300	10	-	-
P_2O_5	5,4	100	2,00	1	1,357	1
	5,2	53	1,95	23	1,335	3
	3,72	4	1,79	3	1,299	7
	3,39	11	1,75	1	1,266	3
	3,27	33	1,69	1	1,252	3
	3,15	20	1,67	2	1,236	3
	3,02	53	1,63	1	1,210	1
	2,57	8	1,59	1	1,185	3
	2,43	17	1,56	1	1,155	1
	2,32	8	1,52	4	1,140	1
	2,24	33	1,485	5	1,124	2
	2,11	3	1,428	3	1,099	1
	2,06	3	1,401	3	1,084	1
	PCl_5	6,7	3	2,78	100	1,79
5,8		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
Мишьяк - As	3,555	76	1,368	20	1,023	96
	3,180	100	1,286	28	0,998	40
	2,780	4	1,223	92	0,955	64
	2,054	12	1,201	24	0,942	72
	1,891	8	1,182	84	0,929	44
	1,781	16	1,119	36	0,922	44
	1,764	16	1,107	36	0,908	88
	1,662	48	1,088	56	0,891	52
	1,562	32	1,068	60	0,854	68
	1,387	20	1,041	80	-	-
As ₂ O ₃	6,3	56	1,95	24	1,301	8
	3,18	100	1,66	16	1,266	8
	2,75	24	1,59	8	1,205	8
	2,53	32	1,54	16	1,064	8
	2,24	8	1,438	8	-	-
	2,12	16	1,343	8	-	-
As ₂ O ₅	7,1	30	3,05	50	2,02	10
	5,6	30	2,70	20	1,89	10
	4,88	100	2,62	40	1,84	10
	4,01	10	2,34	10	1,77	10
	3,58	60	2,26	20	1,71	20
	3,40	60	2,18	20	-	-
	3,21	20	2,10	10	-	-
As ₂ S ₃	4,82	100	2,70	53	1,91	13
	4,42	7	2,55	7	1,85	13
	4,00	47	2,45	47	1,74	13
	3,70	47	2,31	13	1,68	27
	3,19	20	2,12	13	1,64	7
	3,05	13	2,07	13	-	-
	2,85	47	2,02	7	-	-

AsI ₃	7,15	1	1,9880	15	1,4375	4
	5,40	12	1,7984	16	1,3558	5
	3,578	49	1,7880	2	1,3376	6
	3,536	2	1,7477	10	1,2687	4
	3,220	100	1,6096	6	1,1914	1
	2,538	20	1,6014	5	-	-
	2,0800	31	1,4986	1	-	-
Сурма - Sb	3,71	15	1,470	13	1,190	3
	3,10	100	1,410	20	1,120	3
	2,24	63	1,360	25	1,075	10
	2,14	63	1,310	8	1,047	3
	1,86	15	1,258	15	1,031	8
	1,76	44	1,243	10	-	-
	1,55	20	1,215	3	-	-
Sb ₂ O ₃	6,4	10	1,61	10	1,247	10
	3,22	100	1,56	10	1,217	1
	2,78	30	1,450	2	1,184	1
	2,56	8	1,394	6	1,138	4
	1,96	50	1,355	4	1,073	8
	1,68	50	1,283	15	-	-
Sb ₂ O ₄	3,49	1	1,856	20	1,371	1
	3,44	33	1,778	17	1,323	9
	3,07	100	1,719	27	1,251	8
	2,93	23	1,683	3	1,199	5
	2,65	17	1,633	7	1,157	7
	2,46	3	1,568	1	1,112	15
	2,39	7	1,525	2	1,055	8
	2,22	1	1,475	15	1,012	3
	1,990	2	1,428	12	0,995	4
Sb ₂ O ₅	6,0	100	1,82	50	1,180	8
	3,10	80	1,73	16	1,150	4
	2,97	80	1,55	36	1,075	4
	2,58	16	1,480	8	1,075	4
	2,36	4	1,440	8	1,048	4
	1,98	16	1,340	12	0,990	-

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	40
	4,20	60	2,45	20	1,73	40
	3,52	20	2,33	20	1,58	20
	3,30	20	2,18	20	1,53	40
	3,08	100	2,12	20	-	-
	2,87	100	1,95	20	-	-
Bi ₂ O ₄ ·2H ₂ O	3,73	17	2,74	33	1,75	17
	3,20	17	2,14	17	1,62	33
	2,95	100	1,93	17	-	-
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	3
	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	13
	4,38	100	2,68	7	1,86	7
	4,09	13	2,61	13	1,77	10
	3,39	83	2,18	7	1,65	7
	2,87	53	1,99	7	1,56	7
	-	-	-	-	-	-
VC	2,40	100	1,199	10	0,849	5
	2,07	100	1,039	5	0,800	3
	1,469	50	0,952	5	-	-
	1,251	25	0,929	10	-	-
VCl 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	-	-
	-	-	-	-	-	-

$(VO)_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$	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_2O_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	-	-
$Nb_2O_5 \cdot MnO$	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	100	1,346	30	1,042	5
	1,65	20	1,165	5	0,881	5
Ta ₂ O ₅	6,2	3	2,81	58	1,71	7
	5,7	17	2,61	23	1,66	10
	4,48	3	2,45	3	1,62	27
	3,96	100	2,29	3	1,52	3
	3,49	27	2,15	3	1,470	5
	3,23	23	1,98	42	1,400	5
	3,05	33	1,87	17	1,360	5
	2,95	13	1,77	50	1,322	13
TaO _x	2,374	50	1,399	40	0,962	30
	2,327	100	1,184	10	0,892	30
	1,678	50	1,170	30	0,881	30
	1,626	30	1,058	30	-	-
	1,364	60	1,035	30	-	-
TaO _x	2,411	100	1,415	40	1,014	30
	2,287	50	1,334	60	0,966	30
	1,795	40	1,190	30	0,923	30
	1,627	40	1,143	20	0,896	30
	1,594	40	1,125	20	0,866	30
TaO ₂	4,719	60	1,927	50	1,309	30
	2,722	100	1,669	70	1,285	20
	2,521	10	1,572	40	1,261	20
	2,352	60	1,491	10	1,146	30
	2,229	30	1,458	30	1,114	50
	2,112	30	1,423	40	1,084	30
	2,012	20	1,396	20	-	-
(Ta, Co, Gc) O	2,384	100	2,008	80	1,430	50
	2,357	50	1,950	20	1,417	20
	2,270	100	1,826	20	1,278	50
	2,225	50	1,768	20	-	-

Хром-Сг	2,052	100	0,909	60	0,6775	40
	1,436	40	0,829	20	0,6420	30
	1,172	80	0,768	70	0,6120	30
	1,014	50	0,718	10	0,5865	30
CrO ₃	4,20	75	1,84	5	1,50	5
	3,40	100	1,74	15	1,470	1
	2,86	25	1,71	3	1,431	3
	2,36	20	1,68	1	1,405	5
	2,25	20	1,60	3	1,376	2
	2,00	7	1,56	1	-	-
	1,96	10	1,54	1	-	-
Cr ₂ O ₃	3,62	45	1,58	6	1,148	6
	2,67	70	1,465	30	1,123	6
	2,47	70	1,432	45	1,087	12
	2,17	30	1,294	16	1,041	10
	2,03	4	1,236	6	1,025	2
	1,81	45	1,209	6	0,946	6
	1,67	100	1,172	5	-	-
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	6,7	75	2,92	15	1,90	40
	6,3	75	2,78	10	1,82	10
	5,7	5	2,61	75	1,78	20
	4,90	35	2,54	30	1,73	5
	4,51	50	2,39	75	1,69	25
	4,04	100	2,32	5	1,62	10
	3,80	50	2,25	15	1,58	10
	3,63	50	2,20	20	1,53	5
	3,43	10	2,13	10	1,490	5
	3,27	45	2,09	35	1,460	10
	3,13	5	2,04	30	1,410	10
	3,01	45	1,95	10	1,367	10
	-	-	-	-	1,319	10
CrK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	7,0	12	2,87	2	2,03	12
	5,5	16	2,81	12	1,97	6
	4,98	8	2,72	12	1,93	16
	4,31	100	2,59	6	1,85	4
	4,08	30	2,48	12	1,74	4
	3,68	60	2,34	6	1,69	8
	3,26	35	2,25	6	1,63	10
	3,04	30	2,15	4	-	-
Молибден-Мо	2,22	100	0,908	7	0,672	9
	1,57	56	0,841	23	0,643	6
	1,281	37	0,787	3	0,617	14
	1,114	17	0,742	14	-	-
	0,995	23	0,704	11	-	-

Mo ₂ O ₃	3,42	100	1,405	20	1,032	2
	2,42	80	1,350	2	1,015	1
	2,22	40	1,305	2	0,997	6
	2,17	3	1,285	24	0,976	2
	1,84	6	1,211	16	0,955	2
	1,71	80	1,180	2	0,920	6
	1,57	6	1,141	6	0,880	2
	1,53	16	1,114	6	0,857	5
	1,470	3	1,087	4	0,842	5
	MoO ₂	4,78	20	2,405	40	1,833
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
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	1,974	10
3,075		5	2,381	10	-	-
Вольфрам — W		2,23	100	1,000	29	0,707
	1,58	29	0,913	6	0,674	6
	1,290	71	0,846	34	0,622	6
	1,117	17	0,745	11	-	-
WO ₂	4,78	15	2,418	80	1,731	40
	3,45	100	2,393	50	1,724	65
	2,828	20	2,181	15	1,709	45
	2,446	45	2,150	10	1,698	50
	2,436	55	1,847	20	-	-
	2,428	20	1,827	20	-	-

WO ₃	3,835	100	2,684	75	2,149	60
	3,762	95	2,661	60	2,098	10
	3,642	100	2,617	90	2,038	40
	3,342	50	2,528	35	2,020	30
	3,109	50	2,509	40	2,011	25
	3,076	50	2,172	50		
W ₂ C	2,35	70	1,27	20	1,08	20
	1,77	70	1,26	20	1,00	100
	1,35	100	1,19	70	-	-
W ₂ Zr	4,40	20	1,46	80	1,07	20
	2,69	10	1,35	80	1,02	10
	2,30	100	1,28	20	0,99	100
	2,20	90	1,20	10	0,95	30
	1,90	30	1,16	50	0,93	10
	1,74	20	1,15	90	-	-
	1,55	10	1,10	10	-	-
W ₄ H ₂ O ₁₃	5,3	50	2,10	3	1,410	5
	3,48	100	1,97	8	1,305	3
	2,93	8	1,84	20	1,276	3
	2,69	5	1,73	15	1,245	3
	2,60	10	1,69	3	1,215	3
	2,55	25	1,63	13	1,189	3
	2,37	10	1,60	8	1,157	5
	2,31	8	1,50	5	-	-
	2,23	3	1,470	5	-	-
Марганец- α-Mn	2,36	2	1,258	10	0,834	2
	2,22	2	1,210	28	0,820	2
	2,09	100	1,190	2	0,813	2
	1,89	20	1,130	3	0,801	2
	1,81	10	1,048	6	0,793	2
	1,74	16	0,983	2	0,770	2
	1,340	2	0,960	2	-	-
	1,283	7	0,936	3	-	-
β-Mn	2,81	7	1,68	7	1,170	20
	2,10	100	1,485	3	1,064	3
	2,00	66	1,410	3	1,051	3
	1,90	27	1,237	30	-	-
MnO	2,56	66	1,281	17	0,906	7
	2,22	100	1,110	7	0,853	3
	1,57	66	1,019	7	-	-
	1,339	23	0,994	17	-	-

Mn ₂ O ₃	3,82	30	1,609	1	1,276	3
	2,68	100	1,520	3	1,252	1
	2,32	23	1,447	6	1,171	2
	1,991	12	1,414	60	1,155	3
	1,836	17	1,383	6	1,139	1
	1,707	1	1,353	4	1,076	8
	1,656	72	1,300	1	1,049	6
MnO ₂	3,11	100	1,98	4	1,390	4
	2,40	50	1,62	50	1,303	16
	2,21	4	1,56	12	1,050	4
	2,12	12	1,440	8	1,001	4
Mn ₃ O ₄	4,92	20	2,03	15	1,384	4
	3,08	31	1,79	18	1,340	8
	2,87	8	1,70	5	1,300	3
	2,75	63	1,64	5	1,277	13
	2,56	8	1,57	50	1,237	4
	2,48	100	1,54	50	1,192	5
	2,36	13	1,466	3	1,123	4
	2,22	31	1,438	18	-	-
MnAl ₂ O ₄	2,92	17	2,49	50	2,39	50
	-	-	-	-	1,398	100
MnCO ₃	3,65	30	2,00	12	1,452	4
	2,84	100	1,82	2	1,365	4
	2,36	14	1,76	50	1,298	2
	2,16	12	1,53	6	-	-
Иод - I ₂	3,69	100	2,11	15	1,71	20
	3,09	100	2,02	20	1,51	10
	2,52	8	1,97	30	1,460	8
	2,44	18	1,81	10	1,400	5
	2,33	15	1,76	10	-	-
I ₂ O ₅	4,03	15	2,44	13	1,79	8
	3,79	50	2,35	5	1,74	5
	3,40	75	2,28	5	1,71	13
	3,28	100	2,18	13	1,66	5
	3,18	15	2,08	10	1,62	3
	2,92	5	2,02	5	1,59	10
	2,83	3	1,96	5	1,56	13
	2,74	5	1,90	5	-	-
	2,53	13	1,83	10	-	-

HIO ₃	4,69	15	2,173	2	1,567	5
	4,51	31	2,157	11	1,563	10
	4,035	100	2,104	22	1,561	18
	3,868	9	2,017	3	1,551	4
	3,577	38	1,950	17	1,531	9
	3,233	43	1,934	3	1,490	2
	3,172	53	1,900	7	1,478	3
	2,941	7	1,888	5	1,454	5
	2,790	31	1,838	6	1,450	9
	2,768	16	1,830	30	1,444	10
	2,746	26	1,798	26	1,396	5
	2,608	19	1,788	9	1,369	6
	2,596	32	1,762	14	1,359	8
	2,506	11	1,744	14	1,3476	4
	2,462	23	1,718	9	1,3368	6
	2,385	9	1,669	5	1,3280	6
	2,362	7	1,665	7	1,3161	2
2,340	8	1,603	10	1,3037	1	
2,252	2	1,586	4	-	-	
I ₃ Y	6,92	40	2,401	10	2,002	10
	3,752	30	2,309	20	1,971	50
	3,463	50	2,224	10	1,874	10
	3,301	100	2,164	80	1,837	50
	3,095	20	2,117	10	1,809	50
	2,624	10	2,066	20	1,734	40
	2,549	60	2,021	10	1,700	10
Темир-α-Fe	2,0268	100	1,1702	30	0,9064	12
	1,4332	19	1,0134	9	0,8275	6
Темир - γ - Fe	2,07	100	1,26	32	1,018	4
	1,80	50	1,081	32	-	-
FeO	2,47	50	1,293	15	0,984	3
	2,14	100	1,238	8	0,959	5
	1,51	63	1,072	3	0,876	3
Fe ₂ O ₃	3,68	18	1,452	50	1,104	10
	2,69	100	1,351	3	1,056	8
	2,51	75	1,308	18	0,962	10
	2,20	18	1,259	13	0,954	5
	1,84	63	1,230	3	0,900	3
	1,69	63	1,190	8	0,881	5
	1,60	13	1,163	5	0,843	5
	1,485	50	1,140	13	-	-

Fe ₃ O ₄	4,85	6	1,326	6	0,940	6
	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
	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	13
	2,735	48	1,368	9	1,0523	15
	1,934	49	1,255	18	-	-
	1,649	47	1,223	15	-	-
Ураноксид - U ₃ O ₈	4,10	4	1,673	4	1,277	5
	3,38	10	1,578	4	1,238	4
	2,61	7	1,547	3	1,219	3
	2,06	3	1,501	1	1,134	1
	1,971	5	1,431	2	1,123	2
	1,943	6	1,415	3	1,100	5
	1,782	2	1,376	1	0,991	5
	1,760	8	1,314	2	-	-
1,702	5	1,297	4	-	-	
Кислород- O ₂	3,17	Кз.	2,58	Ки.	1,60	Ки.
	3,04	Ў.	1,91	Ў.	1,46	Кз.
	2,92	Кз.	1,72	Кз.	1,36	Ў.
	2,75	Ки.	1,65	Кз.	-	-
Муз - I - H ₂ O	3,92	10	2,26	10	1,368	2
	3,67	100	2,065	50	1,300	3
	3,44	20	1,920	10	1,250	3
	2,68	15	1,516	15	1,167	5
Муз - II - H ₂ O	3,8	9	1,85	6	1,34	6
	3,0	10	1,74	6	1,29	8
	2,7	8	1,70	6	1,26	6
	2,19	9	1,59	6	1,18	4
	2,10	9	1,46	6	1,14	6
	1,94	6	1,43	6	-	-
Муз - III - H ₂ O	3,60	10	1,92	8	1,46	6
	3,39	8	1,86	6	1,43	6
	2,90	8	1,79	6	1,38	4
	2,66	6	1,68	7	1,36	7
	2,55	8	1,62	4	1,32	4
	2,28	6	1,58	6	1,28	6
	2,10	8	1,53	5	1,23	6
	2,07	8	1,48	6	1,20	6

Такрорлаш учун саволлар

1. Рентген нури қачон ва ким томонидан кашф этилган?
2. Рентген нурларининг тўлқин узунлигини мкм ва Å лар ўлчовида келтиринг.
3. «Қаттиқ» ва «юмшоқ» рентген нурлари деб қандай тўлқин узунлигига эга бўлган нурларга айтилади?
4. Ота-бола Бреглар томонидан тақдим қилинган рентген нури дифракциясига оид формулани ёзиб беринг.
5. Рентген нури ёрдамида бажариладиган рентгенологик текшириш усуллари санаб беринг.
6. Фотоусул ишлари учун мўлжалланган қандай рентгенотузилма таҳлили аппаратларини биласиз?
7. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларини номи ва русумини келтиринг.
8. Рентген аппаратларининг асосий қисмларининг номлари ва тузилиши ҳақида маълумотлар беринг.
9. Рентген трубкаси рентгенографик аппаратларда қандай ролни бажаради, улар конструктив қандай деталлардан ташкил топган?
10. Кенотрон, чўгланиш реостати, юқори вольтли трансформатор каби рентген аппарати қисмларининг тузилиши ва вазифалари ҳақида маълумотлар келтиринг.
11. РКД-57 камерасининг тузилиши ва асосий қисмлари ҳақида фикрингизни билдиринг.
12. УРС-50И ионизацион рентген қурилмасининг принципал блок-чизмасини келтиринг.
13. Рентгенографик таҳлилдан фойдаланиш имкониятлари қандай?
14. Рентгенографик таҳлил афзалликларини санаб беринг.
15. Рентгенографик усул камчиликлардан холими?

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Азимов Ш.Ю., Тожиев Ф.Х. Аноорганик молдаларнинг физика - кимёвий анализи. -Тошкент: Ўқитувчи, 1977.-132 б.
2. Азимов Ш.Ю., Исматов А.А., Федоров Н.Ф. Апатиты их редкоземельные аналоги.- Ташкент: ФАН, 1990.-116 с.
3. Алексеев А.Г., Варгин В.В. Катализиrowанная регулируемая кристаллизация стекол литиевоалюмосиликатной системы.-М.-Л.: Химия, 1964.-120с.
4. Берг Л.Г. Введение в термографию. -М.: АН СССР, 1961.
5. Берг Л.Г., Бурмистров Н.П., Озерова М.И., Цуриков Г.Г. Практическое руководство по термографии. -Казан: КазанГУ, 1967.
6. Вегман Е.Ф., Руфанов Ю.Г., Федорченко И.Н. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография. - М.: Металлургия, 1990.- 262 с.
7. Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. - М.: Мир, 1967.-526 с.
8. Васильев Е.К., Кашаева Г.М., Ушаповская З.Ф. Рентгенографический определитель минералов. -М.: Наука, 1974.
9. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. - М.: Высшая школа, 1981.-281 с.
10. Драго Р. Физические методы в неорганической химии.- М.: Мир, 1967.
11. Егунов В.П. Введение в термический анализ.- Самара, Самара ГУ, 1996. -270 с.
12. Зинюк Р.Ю., Балыков А.Г., Гавриленко И.В. ИК спектроскопия в неорганической технологии. -Л.: Химия, 1983.
13. Исматов А.А., Сиражиддинов Н.А. Свойства и изоморфизм мелилитов. -Ташкент: ФАН, 1983.-152с.
14. Исматов А.А., Юнусов М.Ю., Максудов Д.И. Полевошпатовое сырье Средней Азии для производства фарфора.-М.: Легпромбытиздат, 1988.-136с.
15. Исматов А.А. Синтез и физико-химическое исследование некоторых классов неорганических соединений. - Дисс. на соис. уч. ст. доктора химических наук.- Л.: ЛТИ, 1972. - 347с.
16. Исматов А.А., Шерназарова М.Т., Якубов Т.Н. Стеновая керамика с использованием палеоглин и лессовых пород. - Ташкент: ФАН, 1993. - 118с.

17. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. — М.: Металлургия, 1982.-632с.
18. Козлова О.Г. Морфолого — генетический анализ кристаллов. — М.: МГУ, 1991. — 223 с.
19. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. — М.: МГУ, 1969-160 с.
20. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. — Л.: Наука, 1968.-347 с.
21. Леонов А.И. Высокотемпературная химия кислородных соединений церия. — Л.: Наука, 1969.-201с.
22. Липовский В.Н., Берёзкин В.Т. Автоматические газовые потоковые хроматографы. —М.: Химия, 1982.
23. Минералогическая энциклопедия. — Л.: Недра, 1985.-512с.
24. Минералогический справочник технолога — обогатителя. —Л.: Недра, 1985.-264с.
25. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. — М.: Физматгиз, 1961.-863 с.
26. Михеев В.И., Сальдау Э.П. Рентгенофический определитель минералов [Т.II]. — Л.: Недра, 1965.-364с.
27. Славин В. Атомно-абсорбционная спектрометрия.- М.: Химия, 1971.
28. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры силикатов. - М.: МГУ, 1967.-189с.
29. Плюснина И. И. Инфракрасные спектры минералов. - М.: МГУ, 1977.-174с.
30. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Кориского Ю.М., Пасынкова В.В., Тарсева Б.М. в 3-х томах. —М.: Энергоатомиздат, 1986 т. 1; 1987 т.2: 1988 т.3
31. Таблица физических величин. Справочник / Под. ред. И.К.Кикоина.- М.: Атомиздат, 1976.-106 с.
32. Горопов Н.А., Барзаковский В.П., Лапин В.В., Курцева Н.Н. Диаграмма состояния силикатных систем. Справочник. Выпуск первый. Двойные системы. — Л.: Наука, 1969. — 822с.
33. Фекличев В.Г. Диагностические спектры минералов.- М.:Недра, 1977.-228с.
34. Юнусов М.Ю., Ильганаев В.Б., Исматов А.А. Мало-и многожелезистые оксидные стекла.-Ташкент: Узбекистан, 1991.-128 с.
35. Қўшмуродов О.Қ., Зоҳидов К.С. Элементлар геокимёси.-Тошкент: ТДТУ, 1996.-72 бет.

36. Ҳамробиов И.Ҳ, Ражабов Ф.Ш. Петрография асослари.
-Тошкент: Ўқитувчи, 1984.-184 б.

37. Schaumburg H. (Hrsg.). Keramik. — Stuttgart, B.G.Teub-
ner, 1994. — 654р.

МУНДАРИЖА

СЎЗ БОШИ..... 3

КИРИШ..... 4

БИРИНЧИ БОБ. ФИЗИК-КИМЁВИЙ ТАҲЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

1-§. Физик-кимёвий таҳлил усуларини ривож- лантиришда жаҳон, Марказий Осиё ва Ўзбекистон олимларининг ҳиссаси.....	7
2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи	8
3-§. Фанда кўлланиладиган асосий тушунча- лар.....	10
4-§. Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усулла- ри.....	11
5-§. Физик-кимёвий, термик ва бошқа таҳлил усуллари ёрдамида аниқланадиган кўрсаткичлар.....	14
Такрорлаш учун саволлар.....	15

ИККИНЧИ БОБ. МИКРОСКОПИК ТАҲЛИЛ

6-§. Микроскопик текшириш усули аҳамияти ва ривожи.....	16
7-§. Кристаллооптика усули.....	18
8-§. Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар..	19
9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари.....	23
10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари.....	24
11-§. Микроскопия усули аппаратлари.....	25
12-§. Микроскоплар учун мосламалар.....	30
13-§. Препаратларни тайёрлаш усуллари.....	32
14-§. Микрофотография намуналари.....	34
15-§. Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди-кремний оксиди тизимидаги фаза- ларнинг оптик характеристикалари.....	38
16-§. Диагностика мақсадларида фойдаланилади- ган микроскопик кўрсаткичлар.....	41
Такрорлаш учун саволлар.....	73

УЧИНЧИ БОБ. ИНФРАҚИЗИЛ СПЕКТРО- СКОПИК ТАҲЛИЛ

17-§. Инфрақизил нурларнинг табиати.....	75
18-§. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари.....	77
19-§. Кальцит минералининг инфрақизил спектр- лари ҳақида.....	82
20-§. Таҳлил имкониятлари.....	85
21-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари.....	93
22-§. Инфрақизил спектроскопия усули апаратла- ри.....	94
23-§. ИҚ спектрометрларнинг соддалаштирилган схемаси.....	95
24-§. Препаратларни тайёрлаш усули.....	99
25-§. ИҚ спектрларни ёзиб олиш.....	100
26-§. Муҳим фазаларнинг ИҚ спектрлари.....	103
27-§. Инфрақизил спектроскопик таҳлилга оид диагностик маълумотлар.....	107
Такрорлаш учун саволлар.....	112

ТҶРТИНЧИ БОБ. ТЕРМИК ТАҲЛИЛ

28-§. Термография усули табиати.....	114
29-§. Термик таҳлил.....	116
30-§. Дифференциал термик таҳлил (ДТА).....	119
31-§. Комплекс термик таҳлил.....	120
32-§. Дериватографик таҳлил.....	121
33-§. Усулнинг аппаратуралари.....	122
34-§. Дериватограф.....	125
35-§. Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатомет- рия асбоблари.....	127
36-§. Препарат тайёрлаш усуллари.....	128
37-§. Усулнинг имкониятлари, афзаллиги ва кам- чиликлари.....	129
38-§. Кимёвий жараёнларда содир бўладиган тер- мик эффектларга оид маълумотлар.....	131
Такрорлаш учун саволлар.....	138

БЕШИНЧИ БОБ. РЕНТГЕНОГРАФИК ТАҲЛИЛ

39-§. Рентген нурларининг хоссалари.....	139
40-§. Рентген нурларининг дифракцияси.....	141
41-§. Рентген нурларини олиниши.....	144
42-§. Кристалл панжара текисликларидан масофа- ни ҳисоблаш.....	146
43-§. Текшириш усуллари.....	147
44-§. Рентгенографик усул аппаратлари.....	148
45-§. Аппаратларнинг асосий қисмлари.....	152
46-§. Фотоусулнинг рентген камсралари.....	157
47-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратлари.....	160
48-§. Нурланиш детекторларининг қисқача тавси- фи.....	163
49-§. Фотоусул ишлари учун мўлжалланган аппа- ратларда рентгенограмма олиш усуллари.....	165
50-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратларида дифрактограмма олиш усул- лари.....	173
51-§. Рентгенографик таҳлидан фойдаланиш им- кониятлари.....	174
52-§. Рентгенографик таҳлил афзаллиги.....	176
53-§. Усул камчиликлари.....	177
54-§. Кимёвий модда ва бирикмаларга оид рентге- нографик маълумотлар	179
Такрорлаш учун саволлар.....	261
ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ....	262

А.А.Исматов

**Силикат ва зўрғасуюлувчан
материаллар физик-кимёвий таҳлилининг
замонавий усуллари**

Тошкент-«Fan va texnologiya» -2006

Муҳаррир: М.Тожибоева
Тех.муҳаррир: А.Мойдинов
Мусаҳҳиҳ: Қ.Авезбоев

Босишга рухсат этилди 20.01.2006.
Бичими 60x84/16. Офсет қорози. Нашр табори 16,75.
Адида 1000. Буюртма №13.
«Fan va texnologiya» нашриёти, 700003, Тошкент, Олмазор, 171.
Шартнома № 01-06.

«Fan va texnologiyalar Markazining» bosma-xonasida
чоп этилди. Тошкент, Олмазор, 171.