

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

**А. А. И С М А Т О В**

**СИЛИКАТ ВА ЗЎРҒАСУЮЛУВЧАН  
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.Исмаев.** 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 металлар физик-кимёвий таҳлилининг замонавий усуллари, айниқса, микроскопия, рентгенография, ИК спектроскопия ва термография ҳақида маълумот берилади. Ҳар бир усул алоҳида ёритилиб, унга тааллуқли аппаратлар, уларнинг тузилиши, ишлаш принципи ва уларда иш олиб бориш тартиби ҳақида маълумотлар киритилган. Текширилаётган объект намуналарини тайёрлаш йўллари ҳам кўрсатилган.

"Физик-кимёвий таҳлилнинг замонавий усуллари" фани ўқув қўлланмиси 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 металлар технологияси», «Электро-кимёвий ишлаб чиқариш ва коррозиядан сақлаш технологияси» соҳалари талабалари, илмий мутахассислар, магистрантлар, ишлаб чиқаришдаги муҳандис ва техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

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

## СЎЗ БОШИ

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

Ушбу ўқув қўлланма олий техника ўқув юр்தлари “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 қўйидаги 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; атроф-муҳит ҳолатини баҳолаш услублари ва воситалари, саноат ишлаб чиқариши, энергетика ҳамда транспорт таъсиридан атроф-муҳитни ҳимоялаш.

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

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

- илмий фаолият: янги моддалар ва ашёлар синтези соҳаларида илмий-тадқиқотлар ўтказиш; керамика (нафис, қурилиш, функционал ва машинасозлик керамикаси, чинни, сопол, иссиқлик ҳимояловчи ва 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, ўтга 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 таҳлилини 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 зўрғасуюлувчан 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 усулларини 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 усулларининг асосини ташкил қилади. Физик-кимёвий таҳлил усулларини ривожлантиришда кўпгина ривожланган мамлакатларнинг олимлари катта ҳисса қўшишган. Масалан, микроскопия усули пайдо бўлишида италиялик Г.Галилей, германиялик И. Кеплар ва Лазо, голландиялик А.Левенгук, англиялик Р. Гук, франциялик Бертран, россиялик С.С. Федоров каби ўнлаб олимларнинг илмий изланишлари асос бўлди. Рентгенографик текшириш усулининг яратилишига немис физиги Рентген, инглиз физиклари ота-бола Брегглар, Лауэ, Шеррер каби олимлар асос солишди. Инфрақизил спектроскопия усули Брестер, Леон, Бер, Л.Н.Лазарев каби олимлар иши туфайли ривожланди. Термография усулининг ривож топишига Ле-Шателье, Де Кейзер, А.С. Курнаков, Л.Г. Берг каби жаҳон олимлари ҳисса қўшишди.

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

Х.Т.Шарипов, Б.И.Нудельман, А.А.Исмаев, С.С.Қосимова, М.Ю.Юнусов, А.П.Иркаходжаева, 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, қуритиш, куйдириш каби жараёнлар орқали уларнинг ҳолати, шакли ва хусусиятини ГОСТ, ТУ каби техник шароитлар талаблари бўйича ўзгартиш) мажмуини тўла таъминловчи ва шу билан бирга технологик процессларнинг турли босқичларидаги назоратни ҳам ўз ичига олган кимёвий, физик-кимёвий ва физикавий омиллар йиғиндиси.

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

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

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

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

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

Текширилаётган 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, текширилаётган объект ҳақида тўлиқ бир хулоса чиқаришга имкон беради.

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

Анъанавий 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 чиқарилаётган 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 қопламалар 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 ммк дан 760 ммк 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 аншлиф, 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, зўрғасуюлувчан 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 гурппага ажратиш мумкин:

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

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

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

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

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

13) спектрал анализ;

14) бошқа усуллар.

Биринчи - бешинчи усуллар энг кўп қўлланиладиган усуллар қаторига киради.

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

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

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

Термография усули моддаларни қиздириш жараёнида содир бўладиган процесларни ўрганади. 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 оғган 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  $\gamma$ -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 алмашиниш, потенциометрик титрлаш, полярография, аъъанавий фотометрия, люминесценция киради.

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

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

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

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

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

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

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

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

Усулнинг физик моҳияти: физик ва кимёвий 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, буни 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-

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

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

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. Умуман олганда, юз йилча давом этган бу даврда микроскопдан кенгроқ фойдаланилди.

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

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

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

## 7-§. Кристаллооптика усули

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

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

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

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

1. Нур синдирилиши ва синдирилиш кўрсаткичи- $N_g$ ,  $N_m$  ва  $N_p$ .

2. Нурнинг иккиланиб синдириш кучи —  $(N_g-N_p)$  ёки  $\Delta N$ .

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

4. Нур интерференцияси — интерференцион рангларнинг пайдо бўлиши.

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

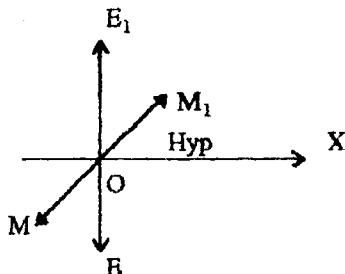
6. Кимёвий бирикма ва минераллар рельефи — Бекке чизиғи.

7. Плеохроизм — модданинг ютиш (абсорбциялаш) қобилиятлари.

8. Минерал ўқлари —  $N_g$  ва  $N_p$  ўқлари.

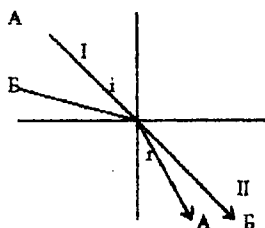
9. Моддаларнинг узайиш белгиси — мусбат ва манфий узатиш.

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

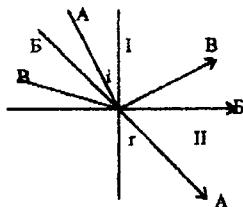


1-расм. Нур ва электромагнит тўлқинларининг йўналиши.

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



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



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

## 8-§. Таҳлилда аниқланадиган асосий хусусиятлар

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

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

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

Нисбий нур синдириш кўрсаткичи деб, икки шаффоф оптик муҳитда ёруғлик тарқалиш тезлигининг (ёки  $\lambda=583,3$  мкм,  $15^\circ\text{C}$  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,  $n_{\text{ҳаво}} = v_{\text{бўшлиқ}} / v_{\text{ҳаво}} = 1,000275 \approx 1,0003$ .

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

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

а) симметрия ўқлари

б) акс тасвир

в) марказли симметрик тасвир.

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

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

Мисол: Алмаз —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 —  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ . 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 — $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ . Сингонияси—гексагонал, фазавий группаси— $P6/mcc$ ,  $z=2$ ,  $a=9.20 \text{ \AA}$ ,  $b=9.20 \text{ \AA}$ ,  $c=9.22 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=90^\circ$  ва  $\gamma=120^\circ$ ;

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

Мисол: Геленит— $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ . Сингонияси—тетрагонал, фазавий группаси— $P4_21m$ ,  $z=2$ ,  $a=7.738 \text{ \AA}$ ,  $b=7.738 \text{ \AA}$ ,  $c=5.045 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=90^\circ$  ва  $\gamma=90^\circ$ ;

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

Фотоқайд этиш қурилмаси сифатида Курнаков пирометри ишлатилган: барабаннинг фотоқоғозида бир вақтнинг ўзида термик эффектлар, намунанинг оғирлиги ва ҳажмининг 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 ўтказди. 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.

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

### **Усулнинг аппаратуралари**

Термография усулларининг имконияти катта. Энг аввало, улар ёрдамида текширилаётган моддада содир бўладиган эндо-термик 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, тажрибаларни 1500 ва ундан юқори ҳароратда олиб борилганда намуна

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

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

## **9-§. Усулдан фойдаланишнинг имкониятлари**

Микроскопик таҳлилдан қуйидагиларни билиш мумкин:

- 1) кристалларнинг идентификацияси учун уларнинг оптик константаларини ўлчаш йўли билан ( $N_g, N_p, \Delta N$  ва бошқалар);
- 2) кристалларнинг тузилиши, кристаллокимёвий хусусиятини дастлабки босқичда аниқлаш учун;
- 3) ҳам 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 текислиги орасидаги бурчаклар қиймати билан;
- 17) минерал ёки кимёвий модданинг узайиш белгиси ёки асосий йўналишини топиш учун;
- 18) сўниш бурчаги  $C:Ng$  ни аниқлаб олиш учун;
- 19) қўшалок — полисинтетик, панжарали ва секторсимон.

### **10-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари**

Микроскопик таҳлил усулининг афзалликларига қуйидагиларни кўрсатиш мумкин:

- 1) талқин этишнинг соддалиги;
- 2) олинган натижанинг тўлаллиги;
- 3) олинган натижанинг ишончилиги;
- 4) олинган натижанинг тезкорлиги (1-10 минут);
- 5) 0,3 мкм гача (ёруғлик микроскопларида) бўлган майда заррачаларни фарқлаш имкони (ультрабинафша микроскопларида 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 назорат қилишни муҳимлиги;

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

6) юқори даражали катталаштиришда юстировка операциясининг мураккаблиги;

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

## 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 тартиб замонавий микроскопларгача киради.

Замонавий микроскоплар қаторига қуйидагилар киради:

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

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

**3. Растро нурли ва электрон микроскоплар.** Улар қаторига растро нурли микроскоп, массив объектларни тадқиқот қилишга мўлжалланган растро электрон микроскопи, кучланиши  $150 \text{ кВ}$  бўлган растро электрон микроскопи, катод-люминесцент объектларни текширувчи растро электрон микроскопи, телевизион тасвирили ультратовушли микроскоп ва бошқалар киради.

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

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

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

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

**МП-2, МП-3, МП-4, МИН-4, МИН-5 ва МИН-8 турдаги поляризацион микроскоплар.** Улар ёруғлик остида ишлаш учун мўлжалланган замонавий аппаратлар қаторига кирази. 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 ўлчашда сариқ нурлар, яъни  $D$  - натрий буғлари чизиғи (тўлқин узунлиги  $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ ) қўлланилади.

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

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

МИН- 8маркали поляризацион микроскопнинг асосий деталлари қуйидагича:

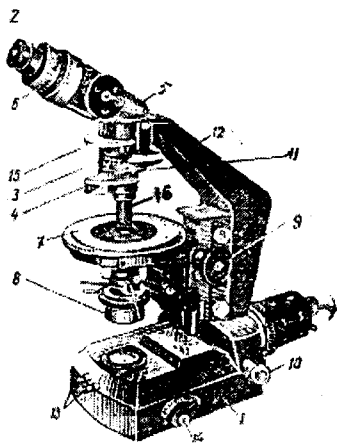
1- микроскоп асоси - массив плитка. Унинг ичига конденсор линза ва буриш призмалари жойлаштирилган;

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

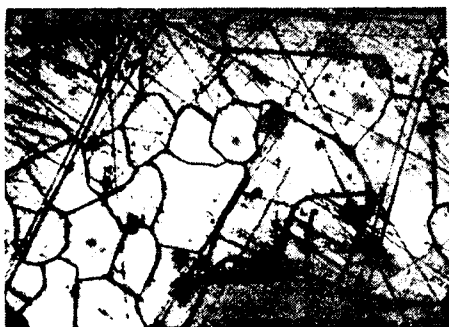
3- тубус. У тутгичнинг юқори қисмига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Тубус ўйиғига анализатор ёки бошқа компенсаторлар мосламаси ўрнатилган;

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

5- қия монокуляр мослама. Предмет столчасини доимо 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 текшириладиган 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 томонидagi механизми ҳаракатлантирадилар;

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

12- микроскоп дастаги;

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

14- линза ёритиш тизимидан ташқарига чиқарилган даста;

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

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

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

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

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

МИН-8 микроскопида монохроматик нур ҳосил қилиш мумкин.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

формулалари орқали топилади.

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

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

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

3-жадвал

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

## 12-§. Микроскоплар учун мосламалар

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

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

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

**2.Объектни кузатиш учун мосламалар.** АУ-29 типидagi бинокуляр мослама - объектни бир вақтнинг ўзида иккала кўз билан кўришга мосланган. Бунда микроскопда ишловчининг толиқиши камаяди ва шу билан бирга кузатиладиган картинани

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

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

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

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

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

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

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

4-жадвал

**Объектнинг катталаштириш даражаси**

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

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

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

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

### **13-§. Препаратларни тайёрлаш усуллари**

Материал, буюм ва тажриба намунасини микроскопик текширишга қуруқ ёки ҳўл 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 содалаштирилган 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 ҳўлланган нина, пичоқ ёки сим ёрдамида шиша бўлагидagi суюқликка ўтказиш.



1,5x1,5 см<sup>2</sup> юзали предмет столидаги иммерсион суюқлигини ингичка шишадан ясалган шаффоф материал билан қоплаш.



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



Тайёр иммерсион препаратни МИН-8 микроскопига ўрнатиш.



МИН-8 микроскопи ёрдамида турли хосса ва хусусиятларни аниқлаш, 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

Фовак ёки мўрт  
текширилувчи жисм.



Канифол, канада бальзами  
ёки олтингугурт ёрдамида  
материални қотириш



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

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



Сукно билан қопланган дисклар ёрдамида силлиқ қилиш. Дискнинг айланиш тезлиги минутига 400-500 марта. Силлиқловчи суспензия-хром оксиди  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , крокус  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , полирит ( $\text{CeO}_2$ ,  $\text{TR}_2\text{O}_3$ ) ва чанглар ёрдамида тайёрланади.



Ювиш -  $\text{H}_2\text{O}$



Кимёвий бирикмалар ёрдамида ўйиш. Масалан,  $\text{CaO}$  2-3сек дистилланган сув билан;  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  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  $\text{HF}$  буғлари билан;  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  2-3 сек  $\text{HNO}_3$  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.

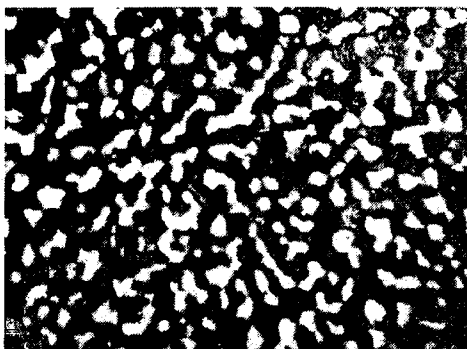
5-расмдаги фото стронций-лантан алюминати  $\text{SrLaAl}_3\text{O}_7$  га тааллуқли. Шу минералга оид шихта электр ёйли печида эритилган бўлиб, у совитилаётган пайтда кристаллизацияга учраган. Микрофото металлографик микроскоп МИМ-7 да қайтган нурлар ёрдами ва 600 марта катталаштирилган ҳолда ҳосил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

наларининг 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  $\text{SrSiO}_3$  ҳолатида  $1310^\circ\text{C}$  ли эвтектика ҳосил қилади. Расмдаги оқ майдон диопсид минералига тааллуқли бўлиб, призма шаклидаги кристаллар  $\text{SrSiO}_3$  қаттиқ қотишмасига тўғри келади. Фото олишга тайёрланган намуна  $1450^\circ\text{C}$  ли ҳароратда 5 соат ушланган. Эритувчи модда сифатида махсус аралашма (10мл  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  + 10 мл  $\text{H}_2\text{O}$  + 1 мг  $\text{CoCl}_2$ ) ишлатилган. Аралашманинг таъсир этиш вақти - 10 сек. Катталаштириш 400 марта.



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

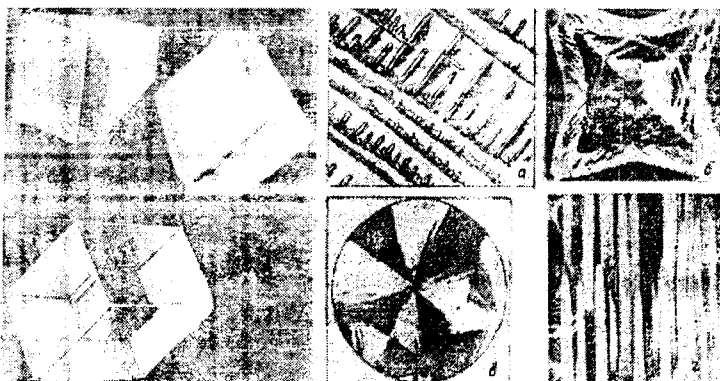


7-расм. “60  $\text{SrSiO}_3$  + 40  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ” асосида олинган шишани  $1150^\circ\text{C}$  ли ҳароратда 5 соат давомида ушлаш натижасида пайдо бўлган квазиэвтектикага оид тасвир. 600 марта катталаштирилган.

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5-жадвал

**Муҳим ва кўп тарқалган тупроқ минералларининг оптик хусусиятлари**

| №                                                                                                                                                      | Минералнинг номи                                                                                                                                              | Нур синдириш кўрсаткичи |                      |             | Габитус                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                               | Np                      | Ng                   | Ng-Np       |                                                                              |
| 1.                                                                                                                                                     | Каолинит (три-<br>клин, Z=2)<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                                         | 1.553                   | 1.560                | 0.007       | Олти бурчак шаклида-<br>ги пластинкалар                                      |
| 2.                                                                                                                                                     | Галлуазит<br>$2[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot (4\text{H}_2\text{O})$                                             | 1.526-<br>1.532         | -                    | -           | Майда доначалар                                                              |
| 3.                                                                                                                                                     | Галлуазит<br>$2[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                               | 1.548-<br>1.556         | -                    | -           | Майда доначалар                                                              |
| 4.                                                                                                                                                     | Монтморилло-<br>нит (Ca, Mg) O-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (4-5)\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$                                                  | 1.480-<br>1.590         | 1.516-1.630          | 0.036-0.040 | Жуда майда доналар<br>қирримсимон                                            |
| 5.                                                                                                                                                     | Нонтронит*<br>$\text{Fe}(\text{OH})\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 1.565-<br>1.600         | 1.600-1.640          | 0.035-0.040 | Майда доначалар,<br>чўзилган пластинка<br>майдончалари                       |
| 6.                                                                                                                                                     | Иллит                                                                                                                                                         | 1.45                    | 1.57                 | 0.12        | Слюдасимон, яхши ри-<br>вожланмаган гексаго-<br>нал шаклдаги тангалар        |
| 7.                                                                                                                                                     | Монотермит 0,2<br>(K, Na, Mg, Ca)O-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                                  |                         | $N_m =$<br>1.55-1.57 | -           | Нозик тангасимон                                                             |
| 8.                                                                                                                                                     | Пирофиллит<br>(моноклин, Z=4)<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                                         | 1.552                   | 1.600                | 0.008       | Радиал-пластинкали,<br>япроқсимон, донача-<br>ларнинг тўла агре-<br>гатлари. |
| *Нонтронит: $m[\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2]p[(\text{Fe}, \text{Al})_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2]n\text{H}_2\text{O}$ |                                                                                                                                                               |                         |                      |             |                                                                              |

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

Қуйидаги 6-жадвалда оксидлар кўрсаткичига оид маълумотлар берилган.

6-жадвал

**Баъзи оксидларининг оптик тавсифи**

| №   | Оксиднинг номи  | Таркиби                          | Нур синдириш кўрсаткичи |       | Ng-Np  | Габитус                           |
|-----|-----------------|----------------------------------|-------------------------|-------|--------|-----------------------------------|
|     |                 |                                  | Ng                      | Np    |        |                                   |
| 1.  | α-Кварц         | α-SiO <sub>2</sub>               | 1.541                   | 1.533 | 0.008  | Бипирамидали                      |
| 2.  | α-Тридимит      | α-SiO <sub>2</sub>               | -                       | -     | Кучсиз | -                                 |
| 3.  | β-Кристаллит    | β-SiO <sub>2</sub>               | 1.487                   | 1.484 | 0.003  | Октаэдрлар, доначалар, қўшалоклар |
| 4.  | α-Кристаллит    | α-SiO <sub>2</sub>               |                         | 1.466 | -      | Тангачалар, доналар               |
| 5.  | γ-Глиназём      | γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                         | 1.696 | -      | -                                 |
| 6.  | β-Глиназём      | β-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.655                   | 1.630 | 0.025  | -                                 |
| 7.  | α-Глиназём      | α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 2.95                    | 2.77  | 0.18   | -                                 |
| 11. | Литий оксиди    | Li <sub>2</sub> O                |                         | 1.644 | -      | Донача ва кублар                  |
| 12. | Мис оксиди      | Cu <sub>2</sub> 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. | Қўргошин оксиди | PbO                              | 2.665                   | 2.535 | 0.130  | Таблицалар                        |

5-жадвалдан тупроқ минералларининг оптик кўрсаткичлари бир-бирига яқинлиги кўриниб турибди. Тупроқ минералларидан оксидларга ўтадиган бўлсак, хоссаларидаги фарқ сезиларлироқ даражада бўлади. Айниқса, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ва Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> орасидаги тафоввut ўта сезилувчандир (6-жадвал).

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

Қуйидаги 7-жадвалда  $\text{CaO-SiO}_2$  тизимига оид маълумотлар берилган.

7-жадвал

**$\text{CaO-SiO}_2$  системасининг кристаллик фазалари**

| Бирикма                                                                    | Кристалл тизим                           | Габитус                                             | Ажра-<br>лиш<br>қоби-<br>ляти                                    | Ng    | Np    | 2 V <sup>o</sup> | Оптик<br>белги |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|-------|------------------|----------------|
| $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$<br>(алит)                                        | Гексагонал                               | Олтибур-<br>чакли<br>пластинка<br>ва донача-<br>лар | Аниқ<br>эмас                                                     | 1.723 | 1.717 | 0                | (-)            |
| $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$                                           | Гексагонал                               | Олтибур-<br>чакли<br>пластинка<br>ва донача-<br>лар | -                                                                | -     | -     | -                | -              |
| $\alpha^1\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$<br>(бредигит)                           | Ромбик                                   | -                                                   | -                                                                | -     | -     | -                | -              |
| $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$                                           | Ромбик<br>(оливин<br>туридаги<br>тузилма | Приз-<br>малар                                      | (010)<br>текис-<br>лиги<br>бўйича<br>аниқ                        | 1.654 | 1.642 | 60               | (+)            |
| $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$<br>(метастабил,<br>белит, фелит,<br>ларит) | Моно-<br>клин                            | -                                                   | (010) ва<br>(100)<br>бўйича<br>аниқ                              | 1.735 | 1.717 | Катта            | (+)            |
| $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ (ран-<br>кинит)                         | Моно-<br>клин                            | Приз-<br>малар                                      | -                                                                | 1.650 | 1.641 | Катта            | (+)            |
| $\alpha\text{-CaSiO}_3$                                                    | Псевдогек-<br>сагонал,<br>триклин        | Узун<br>призма,<br>доначалар                        | (001)<br>бўйича,<br>баъзан<br>(001)<br>бўйича<br>қўша-<br>лоқлар | 1.654 | 1.610 | 0-8              | (+)            |
| $\beta\text{-CaSiO}_3$<br>(воластонит)                                     | Триклин                                  | Доскаси-<br>мон инди-<br>видлар                     | (100)<br>бўйича<br>аниқ                                          | 1.631 | 1.616 | 39               | (-)            |

**16-§ Диагностика мақсадларида фойдаланиладиган  
микроскопик кўрсаткичлар**

В 5222400 — «Кимёвий технология» йўналишининг «Сили-  
кат ва зўргасуюлувчан 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  $N_g$  ва  $N_p$  кўрсаткичлари номи билан аталади. Тузилиши жиҳатидан ўта мураккаб бўлган моноклин, тригонал ва триклин тузилмали сунъий ҳамда табиий кристалл моддаларида бундай кўрсаткичлар сони учтага етади.

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

8-жадвал

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

| Нурнинг иккиланиб сениш шкаласи |                                         | Оптик ўқларнинг бурчак катталиги шкаласи |                                  |
|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
| $N_g - N_p$ ни нисбий аниқлаш   | $N_g - N_p$ нинг кўзда тутилган қиймати | $2V$ нинг нисбий қиймати                 | $2V$ нинг 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°)                    |

**Табийй ва сунъий кремнийли кимёвий бирикмаларнинг бир қисмига оид асосий микроскопик кўрсаткичлар**

| Модда                                                                                             | Нур синдириш кўрсаткичлари |                 |       | Бошқа кўрсаткичлар                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                   | Ng                         | Np              | ΔN    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| $2\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$                                                         | 1.610<br>$N_m=1.608^*$     | 1.602           | 0.008 | Ромбик (псевдогексагонал) сингонияли. Донсимон ва қўшалоқ кристаллар. Оптик белгиси (+), $2V$ кичик, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.39 \text{ г/см}^3$ . $1255^0\text{C}$ да инконгруэнт эрийди ( $\text{Li}_2\text{O}$ ва суюқликка ажралади)                                                                                                       |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 - \text{I}$                                               | 1.670<br>$N_m=1.650^*$     | 1.650           | 0.020 | Ромбик (псевдогексагонал) сингонияли, $a=9.361$ , $b=5.395$ , $c=4.675 \text{ Å}$ , $Z=4$ , $\text{Li}_{\text{к.с}}=4$ . Кристаллари нинасимон ва призмалар кўринишида. Оптик белгиси (+), $2V=0^0$ , ажралиши узун томон бўйлаб, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.524$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.535 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1200^0\text{C}$ |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 - \text{II}$                                              | 1.599                      | 1.587           | 0.012 | Тетрагонал сингонияли, $a=9.39$ , $c=5.92 \text{ Å}$ , Кристаллар габитусини-насимон. Бир ўқли, мусбат                                                                                                                                                                                                                                         |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$                                                         | 1.558<br>$N_m=1.550$       | 1.547           | 0.011 | Ромбик сингонияли, $a=5.800$ , $b=14.660$ , $c=4.806$ , $Z=4$ . Донсимон ва тўғри бурчакли жалваласимон кристаллар. Оптик белгиси (+), $2V=50-60^0$ , Ажралиши — уч йўналишда $90^0$ ли бурчак остида, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.454$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.438 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1032^0\text{C}$ .                          |
| $\alpha - \text{Эвкрипитт} - \text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ | 1.5870<br>0.002            | 1.5720<br>0.002 | 0.015 | Гексагонал сингонияли, $a=13.54$ ва $c=9.01 \text{ Å}$ . Кристалларининг габитуси — пирамидалар ҳолида. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.64 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси $1388^0\text{C}$ .                                                                                                                                          |
| $\beta - \text{Эвкрипитт} - \text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  | 1.5240<br>0.003            | 1.5200<br>0.003 | 0.004 | Гексагонал сингонияли, $a=5.27$ , $c=11.25 \text{ Å}$ , $Z=3$ . Кристаллари бипирамида кўринишида. Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.35 \text{ г/см}^3$ .                                                                                                                                                                             |

|                                                                                                      |                              |       |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ – Сподумен –<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$       | 1.750 1.720<br>$N_m=1.730$   |       | 0.030 | Моноклин сингонияли, $a=9.50$ ,<br>$b=8.30$ , $c=5.24 \text{ \AA}$ , $\beta=110^\circ 28'$ , $Z=4$<br>Нинасимон кристаллар. Икки<br>ўқли, мусбат, сўниш бурчаги $30^\circ$<br>атрофида, $\rho_{\text{тажр.}}=3.2 \text{ г/см}^3$ . Эриш<br>нуқтаси $1380^\circ\text{C}$ .               |
| $\beta$ – Сподумен –<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$        | 1.522                        | 1.516 | 0.006 | Тетрагонал сингонияли.<br>Бипирамидасимон кристаллар.<br>Бир ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр.}}=2.41$<br>$\text{г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1423^\circ\text{C}$ .                                                                                                                          |
| Петалит -<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$                   | 1.516 1.504<br>$N_m=1.510$   |       | 0.012 | Моноклин сингонияли, $a=11.77$ ,<br>$b=5.13$ , $c=15.17 \text{ \AA}$ , $\beta=112^\circ 44'$ .<br>Кристаллар габитуси-нинасимон.<br>Икки ўқли, мусбат.<br>$2V=83^\circ 34'$ , $\rho_{\text{тажр.}}=2.42 \text{ г/см}^3$ ,<br>қаттиқлиги 6.5, кислоталарда<br>(HF дан ташқари) эримайди. |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$                                   | 1.540 1.536<br>$N_m=1.538^*$ |       | 0.004 | Ромбик сингонияли, икки ўқли,<br>$2V=53^\circ$ . Эриш нуқтаси $870^\circ\text{C}$ .                                                                                                                                                                                                     |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2$                                  | 1.515 1.510<br>$N_m=1.512$   |       | 0.005 | Ромбик сингонияли, икки ўқли.<br>$2V=85-90^\circ$ . Эриш нуқтаси $815^\circ\text{C}$ .                                                                                                                                                                                                  |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$                                  | 1.520 1.515<br>$N_m=1.517^*$ |       | 0.005 | Ромбик сингонияли, икки ўқли.<br>Эриш нуқтаси $830^\circ\text{C}$ .                                                                                                                                                                                                                     |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 7\text{SiO}_2$                                  | 1.555 1.550<br>$N_m=1.552^*$ |       | 0.005 | Ромбик сингонияли, икки ўқли.<br>$2V=13^\circ$ . Эриш нуқтаси $880^\circ\text{C}$ .                                                                                                                                                                                                     |
| $2\text{Li}_2\text{O} \cdot 5\text{K}_2\text{O} \cdot 7\text{SiO}_2$<br>2                            | 1.540                        |       | -     | Кубик сингонияли.<br>Эриш нуқтаси $900^\circ\text{C}$                                                                                                                                                                                                                                   |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$                                  | 1.571 1.552<br>$N_m=1.557$   |       | 0.019 | Ромбик сингонияли. Кристаллари<br>призма кўринишида.<br>Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта.<br>Эриш нуқтаси $847^\circ\text{C}$                                                                                                                                                              |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$                                | 1.870 1.843                  |       | 0.027 | Гексагонал сингонияли,<br>бир ўқли, манфий                                                                                                                                                                                                                                              |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$<br>$2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.535 1.525<br>$N_m=1.528^*$ |       | 0.010 | Ромбик сингонияли. Кристаллари<br>столба кўринишида, икки ўқли                                                                                                                                                                                                                          |
| $2\text{LiF} \cdot \text{SiF}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                           | 1.300 1.296<br>$N_m=1.298^*$ |       | 0.004 | Моноклин сингонияли,<br>$\rho_{\text{тажр.}}=2.33 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                             |                                   |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$                                          | 1.537    1.524<br>$N_m = 1.530^*$ | 0.013   | Моноклин сингонияли. Полисинтетик қўшалоқ кристаллар ҳоли-да. Икки ўқли, сўниш бурчаги 8гҗа. 1089 <sup>0</sup> С да парчаланеди, 960 <sup>0</sup> С да бошқа формага ўтади                                                                                                                                          |
| $\beta - 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$                                           | $N_{\text{уртача}} = 1.536$       | Куч-сиз | Пластинка шакли 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<br>$N_m = 1.520$   | 0.015   | Ромбик сингонияли, $a=10.43$ , $b=6.02$ , $c=4.81 \text{ \AA}$ , $Z=4$ . Призма ва нина шакли кристаллар. 2V жуда катта, оптик белгиси (-), тўғри сўниш бурчагига эга, ажралиши—призма бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.500$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.685 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси 1089 <sup>0</sup> С      |
| $\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$                                          | 1.508    1.497<br>$N_m = 1.505$   | 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 <sup>0</sup> С |
| $\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$                                           | 1.515    1.500<br>$N_m = 1.510$   | 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 псевдогоксагональ 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<br>$N_m = 1.526^*$ | 0.005   | Ромбик сингонияли. Пластинка-симон кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{\text{тажр.}} = 2.96$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.60 \text{ г/см}^3$ , ажралиш дарзликлари-яққол. Эриш нуқтаси 1122 <sup>0</sup> С                                                                                               |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$<br>( $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 8\text{SiO}_2$ ) | 1.502    1.496<br>$N_m = 1.499^*$ | 0.006   | Моноклин сингонияли, $a=4.90 \pm 0.02$ , $b=23.40 \pm 0.1$ , $c=15.4 \text{ \AA}$ , $Z=4$ . Моноклин сингонияга хос кристаллар. Икки ўқли, фазовий группаси $C_{2h}^5 - P2_1/c$ , $\rho_{\text{тажр.}} = 2.47$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 2.50 \text{ г/см}^3$ . Инконгруэнт эриши 808 <sup>0</sup> 2 <sup>0</sup> С  |

|                                                                                         |                                |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Жадиет -<br>$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$       | 1.667 1.655<br>$N_m = 1.659$   | 0.012 | Моноклин сингонияли, $a=9.45$ , $b=8.57$ , $c=5.25 \text{ \AA}$ , $\beta=107^\circ 15.5'$ , $Z=4\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ . Призматик кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V=70^\circ$ ; $cNg=34.5^\circ$ . Ажралиши $87^\circ$ ли бурчак остида. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр}}=3.3-3.5 \text{ г/см}^3$ |
| $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{BeO} \cdot 14\text{SiO}_2$                           | 1.545 1.532<br>$N_m = 1.533$   | 0.013 | Ромбик сингонияли, икки ўқли, мусбат, $2 \text{ \AA} = 60^\circ$ , $2V=38^\circ$ , $\rho_{\text{тажр}}=2.55 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ | 1.580 1.575                    | 0.005 | Тетрагонал сингонияли, $a=8.511$ , $c=4.807 \text{ \AA}$ . Бир ўқли, манфий. $1080^\circ$ да парчаланadi                                                                                                                                                                                                   |
| Лейкофан –<br>$\text{NaF} \cdot \text{BeO} \cdot \text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$        | 1.598 1.571<br>$N_m = 1.595$   | 0.027 | Ромбик (псевдотетрагонал) сингонияли, $a=7.39$ , $b=7.39$ , $c=9.97 \text{ \AA}$ . Кристаллари базаль табиличка кўринишида. Икки ўқли, манфий. $2V=39^\circ$ . Қаттиқлиги 4, $\rho_{\text{тажр}}=2.96 \text{ г/см}^3$                                                                                      |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$                             | $N_{\text{уртача}}=1.665$      | 0.003 | Моноклин сингонияли. Кристаллари планкасимон ва қўшалоқ ҳолатда. Қийшиқ сўнади, $2V$ катта                                                                                                                                                                                                                 |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$                             | 1.654 1.641<br>$N_m = 1.646$   | 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<br>$N_m = 1.597^*$ | 0.003 | Паст категорияли сингонияга эга. Кристаллари тўғрибурчакли шаклда. Пластинкасимон ва қўшалоқ кристаллар ҳам учрайди. Эриш нуқтаси $1284^\circ\text{C}$                                                                                                                                                     |
| Девитрит –<br>$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$               | 1.579 1.564<br>$N_m = 1.570$   | 0.015 | Ромбик сингонияли. Призматик кристаллар. Икки ўқли, мусбат, $2V=75^\circ$ , $Ng$ кристалларнинг узунасига параллел. $1045^\circ\text{C}$ да $\text{CaSiO}_3$ ва суоқликка айланади                                                                                                                         |
| $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$                             | 1.571                          | -     | Куб сингонияли. Кристалларнинг шакли-октаэдр. $1141^\circ\text{C}$ 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, $1125^\circ\text{C}$ да инконгруэнт эрийди                                                                                                                                                                                                         |
| Акмит, эгирин<br>- $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$   | 1.827 1.771<br>$N_m = 1.810$ | 0.056 | Моноклин сингонияли, $a:b:c = 1.099:1:0.601$ , $\beta = 106^\circ 49'$ . Кристаллари узайтирилган призма ҳолида. Икки ўқли, манфий, $2V = 60^\circ$ . Ажралиши $- 87^\circ$ ли бурчак остида. Қаттиқлиги 6-6.5, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.584 \text{ г/см}^3$ , $cNg = 104^\circ$ . Эриш нуқтаси $= 990^\circ\text{C}$                                                           |
| $5\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$                     | 1.625 1.609                  | 0.016 | Гексагонал сингонияли, кристаллари призматик қиёфада. Бир ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси $838^\circ\text{C}$                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$                                | 1.654 1.641<br>$N_m = 1.646$ | 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<br>$N_m = 1.542$ | 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. $1248^\circ\text{C}$ дан юқорида барқарор. $687^\circ\text{C}$ да Карнегиитга айланади.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Карнегиит —<br>$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$       | 1.514 1.509<br>$N_m = 1.514$ | 0.005 | Триқлин сингонияли метастабил фаза. Полисинтетик қўшалоқлар ҳосил қилади, икки ўқли, (-), $2V = 12-15^\circ$ , $\rho_{\text{тажр.}} = 2.51 \text{ г/см}^3$ . Совитиш жараёни ( $227^\circ\text{C}$ ли ҳолати)да нефелинга айланади                                                                                                                                              |
| Нефелин —<br>$\beta - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ | 1.537 1.533                  | 0.004 | Гексагонал сингонияли, $a = 9.98$ , $c = 8.44 \text{ \AA}$ . Кристаллари базал табиличка ва калта призма ҳолида. Бир ўқли, манфий. Ажралиши (1010) ва (0001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 2.619 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1526^\circ\text{C}$                                                                                                                           |
| Альбит —<br>$\alpha - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | 1.534 1.527<br>$N_m = 1.532$ | 0.007 | Триқлин сингонияли, $a = 8.23$ , $b = 13.00$ , $c = 7.25 \text{ \AA}$ , $\alpha = 94^\circ 31'$ , $\beta = 116^\circ 20'$ , $\gamma = 88^\circ 01'$ . Кристаллари — таблетка ва призма кўринишида, икки ўқли, (-), $2V = 45-55^\circ$ . Ажралиши (001) ва (010) бўйича. Сўниш бурчаги 9-12° дан 26-37° гача. Қаттиқлиги 6-6.5. $\rho_{\text{тажр.}} = 2.61-2.62 \text{ г/см}^3$ |

|                                                                                                                                             |                              |       |                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta\text{-Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$                                                                    | 1.539 1.528<br>$N_m=1.533$   | 0.011 | Икки ўқли, мусбат, $2V=75\text{-}83^\circ$ .<br>Сўниш бурчаги $7\text{-}20^\circ$ .<br>$\rho_{\text{шиша}}=2.382 \text{ г/см}^3$                                                                                                  |
| $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$                                                                           | 1.572                        | -     | Кубик сингонияли. Эриш нуқтаси $760^\circ\text{C}$ . Изотроп хусусиятга эга                                                                                                                                                       |
| $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Ga}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$                                                                          | 1.558 1.552<br>$N_m=1.555^*$ | 0.006 | Триқлин сингонияли. Эриш нуқтаси $1015^\circ\text{C}$ . $N_{\text{шиша}}=1.519$                                                                                                                                                   |
| Лоренсцит-<br>$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{TiO}_2\cdot 2\text{SiO}_2$                                                                   | 2.02 1.91<br>$N_m=2.01$      | 0.11  | Ромбик сингонияли. $a=8.66$ ,<br>$b=14.42$ , $c=5.18 \text{ \AA}$ . Нинасимон кристаллар. Икки ўқли, манфий, $2V=38\text{-}40^\circ$ , $N_p=$ 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<br>$N_m=1.690^*$ | 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-эдриқ обликга эга, $\rho_{\text{тажр.}}=2.88 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1540^\circ\text{C}$ .                                                                                                   |
| Фтор-эдснит-<br>$\text{Na}_2\text{O}\cdot 10\text{MgO}\cdot 4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{SiO}_2\cdot\text{SiF}_4$     | 1.624 1.605<br>$N_m=1.617$   | 0.019 | Моноклин сингонияли, $a=9.85$ ,<br>$b=18.00$ , $c=5.28 \text{ \AA}$ , $\beta=104^\circ 50'$ . Кристаллар нинасимон ва призма кўринишида. (-) $2V=69^\circ$ ,<br>$\rho_{\text{тажр.}}=3.077 \text{ г/см}^3$                        |
| Фтор-бор-эдснит -<br>$\text{Na}_2\text{O}\cdot 10\text{MgO}\cdot 4\text{CaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot 13\text{SiO}_2\cdot\text{SiF}_4$ | 1.605 1.588<br>$N_m=1.598$   | 0.017 | Моноклин сингонияли. $a=9.81$ ,<br>$b=17.96$ , $c=5.27 \text{ \AA}$ , $\beta=104^\circ 27'$ . Кристаллари нина қиёфасида. (-) $2V=75^\circ$ , $N_m=b$ , $cNg=12^\circ$ ,<br>$\rho_{\text{тажр.}}=3.042 \text{ г/см}^3$            |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$                                                                                                       | 1.528 1.520<br>$N_m=1.521$   | 0.008 | Ромбик сингонияли. Донасимон кристаллар. Икки ўқли. Оптик белгиси (+), $2V=35^\circ$ . $\rho_{\text{тажр.}}=2.538$ ,<br>$\rho_{\text{шиша}}=2.474 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $976^\circ\text{C}$                              |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$                                                                                                     | 1.513 1.503<br>$N_m=1.509$   | 0.010 | Ромбик сингонияли, олти томонли пластинка, полисинтетик кўшалоклар. Оптик белгиси (-), $2V_p$ катта. Эриш нуқтаси $1045^\circ\text{C}$                                                                                            |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{SiO}_2$                                                                                                     | 1.482 1.477<br>$N_m=1.479$   | 0.005 | Моноклин сингонияли. Жадваллар ва кўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V_p$ катта, қия сўниш, $\rho_{\text{тажр.}}=2.335$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.384 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $770^\circ\text{C}$ . $N_{\text{шиша}}=1.495$ . |

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

|                                                  |                              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------|------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Микроклин —<br>$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ | 1.525 1.518<br>$N_m=1.522$   | 0.007 | Триклин сингонияли ўта паст температурали форма, $a=8.44$ , $b=13.00$ , $c=7.21 \text{ \AA}$ , $\alpha=90^{\circ}7'$ , $\beta=115^{\circ}50'$ , $\gamma=89^{\circ}55'$ , $Z=4$ $KAlSi_3O_8$ . Икки ўқли, манфий, $2V=83^{\circ}$ .<br>Қаттиқлиги 6, $\rho_{\text{тажр}}=2.55 \text{ г/см}^3$ .<br>1170 <sup>0</sup> С да лейцит ҳосил қилиш билан парчланади. Бутунлайин 1530 <sup>0</sup> С да эрийди |
| $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 6SiO_2$                | 1.609 1.601<br>$N_m=1.605^*$ | 0.008 | Моноклин сингонияли. Кристаллари қўшалоқ ҳолда учрайди. Сўниш бурчаги (010)га нисбатан $7-8^{\circ}$ , $N_m=b$ ,<br>$\rho_{\text{тажр}}=2.712 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                                                                          |
| $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$                 | 1.540                        | -     | Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдрли формага эга                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Гиератит -<br>$2KF \cdot SiF_4$                  | 1.339                        | -     | Кубик сингонияли. $a=8.18 \text{ \AA}$ , $Z=4$ .<br>Кристаллари октаэдрлик шакли,<br>$\rho_{\text{тажр}}=2.665 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $K_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$                     | 1.605 1.600                  | 0.005 | Гексагонал сингонияли. Кристаллари гексагонал бипирамида шаклида. Бир ўқли, мусбат. Эриш нуқтаси 1630 <sup>0</sup> С                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| $4K_2O \cdot CaO \cdot 10SiO_2$                  | 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<br>$N_m=1.565^*$ | 0.010 | Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ва пластинка шаклида. Икки ўқли, манфий, 960 <sup>0</sup> С да $K_2Ca_2Si_6O_{15}$ ва шишага ажралади                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $K_2O \cdot 2CaO \cdot 6SiO_2$                   | 1.590 1.575<br>$N_m=1.580^*$ | 0.015 | Кристаллари қалин призма ҳолатида. Икки ўқли, мусбат, $2V$ катта 1115 <sup>0</sup> да $CaSiO_3$ ва шишага ажралади                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $2K_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$                   | 1.543 1.535<br>$N_m=1.541$   | 0.008 | Кристаллари паст категорияли сингонияга эга, призма ва пластинка габитусли, (-), $2V=60^{\circ}5'$ . Эриш нуқтаси 959 <sup>0</sup> С                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| $2K_2O \cdot CaO \cdot 9SiO_2$                   | 1.535 1.515<br>$N_m=1.526$   | 0.020 | Паст категорияли сингонияга эга. Габитусли — призма ҳолатида. (-), $2V$ катта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                    |                              |       |                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha\text{-K}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$    | 1.590 1.575<br>$N_m=1.582$   | 0.015 | Ромбик сингонияли. Кристаллари призма ҳолатида. Сўниши-тўғри, (+), 2V катта. 1115 <sup>0</sup> С да парчаланди                                                                     |
| $2\text{K}_2\text{O}\cdot \text{CaO}\cdot 3\text{SiO}_2$           | 1.572                        | -     | Кубик сингонияли. Кристаллари октаэдр шаклида. 1005 <sup>0</sup> 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 қўшалоклар ҳолатида. Бир ўқли, мусбат                                                                                                           |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot \text{MgO}\cdot 3\text{SiO}_2$            | 1.530 1.524                  | 0.006 | Гексагонал сингонияли, бир ўқ-ли, манфий. Эриш нуқтаси 1134 <sup>0</sup> 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 <sup>0</sup> 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 $\rho_{\text{шиша}}=2.38 \text{ г/см}^3$<br>$N_{\text{шиша}}=1.498$                                                      |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot 5\text{MgO}\cdot 12\text{SiO}_2$          | 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 <sup>0</sup> С |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot \text{PbO}\cdot 4\text{SiO}_2$            | 1.650 1.590<br>$N_m=1.612$   | 0.060 | Кристаллари тўғри бурчакли пластинкалар ҳолатида. Сўниши-тўғри. Икки ўқли, мусбат, 2V=75 <sup>0</sup> . $N_{\text{шиша}}=1.606$ ва юмшаши 463 <sup>0</sup> 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 <sup>0</sup> С. $N_{\text{шиша}}=1.775$ , юмшаши – 395 <sup>0</sup> С                   |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{PbO}\cdot 8\text{SiO}_2$           | 1.790 1.690<br>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<br>$N_m=1.535^*$ | 0.006 | Моноклин сингонияли. Кристалларнинг эриш нуқтаси 1000-1020 <sup>0</sup> С. $N_{\text{шиша}}=1.513$                                                                                 |
| $\text{K}_2\text{O}\cdot \text{La}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ | 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<br>$N_m=1.510^*$ | 0.006   | Нина ва призма кристаллар. Икки ўқли, оптик белгиси (+), $\rho_{тажр.}=3.254 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1090^0\text{C}$                                        |
| $Rb_2O \cdot 4SiO_2$                                          | 1.539 1.532                  | 0.007   | Гексагонал пластинкалар. Икки ўқли, оптик белгиси (-), $\rho_{тажр.}=3.022 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $900^0\text{C}$                                           |
| Рубидиевий 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                                                                                                                            |
| Рубидиевий полевоий шпат - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ | 1.529 1.524<br>$N_m=1.526^*$ | 0.005   | Паст категорияли сингонияга эга. Икки ўқли, манфий.                                                                                                                 |
| $\alpha$ - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$      | $N_{уртача}=1.521$           | Куч-сиз | Тетрагонал сингонияли, $a=13.64$ , $c=13.33 \text{ \AA}$ .                                                                                                          |
| $\beta$ - $Rb_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$       | $N_{уртача}=1.481$           | Куч-сиз | Тетрагонал сингонияли, $a=13.20$ , $c=13.60 \text{ \AA}$ .                                                                                                          |
| $Cs_2O \cdot 2SiO_2$                                          | 1.563 1.560<br>$N_m=1.562^*$ | 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 дарзликларибазис бўйича, $\rho_{тажр.}=3,00 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $2500^0\text{C}$ |

|                                                                          |                                         |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Фенакит –<br>$2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$                            | 1.668 1.654                             | 0.014            | Тригонал сингонияли. Ромбоэдрлар, призмалар, (1010) бўйича қўшалоқлар. Оптик белгиси (+), $2V=0^\circ$ , ажралиш қобилиятлари (1120) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,00 \text{ г/см}^3$ . Инконгруэнт парчаланиши $1560^\circ\text{C}$ ( $2\text{BeO}+\text{SiO}_2$ )                                                                                                                                         |
| Берил -<br>$2\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | 1.568 1.564<br>1.602 1.594              | 0.004-<br>0.008- | Гексагонал сингонияли, $a=9.21$ ва $c=9.17 \text{ \AA}$ . Габитуси-призма ҳолида. Бир ўкли, манфий, $2E 10^\circ$ -гача боради. Қаттиқлиги 7.5-8.0, $\rho_{\text{тажр.}}=2.66-2.85 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1420^\circ\text{C}$                                                                                                                                                                       |
| Форстерит -<br>$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$                          | 1.668 1.636<br>$N_m=1.652^*$            | 0.032            | Ромбик сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$ , $2V=85^\circ 6'$ , ажралиши (001) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,216 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1890^\circ\text{C}$                                                                                                                                                                                              |
| Энстатит -<br>$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$                            | 1.658 1.650<br>$N_m=1.652$              | 0.008            | Ромбик сингонияли, фазовий группаси $R\bar{3}c$ , $a=18.230$ , $b=8.814$ ва $c=5.178 \text{ \AA}$ , волокноли агрегатлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$ , $2V=60^\circ$ , ажралиши $90^\circ$ ли (110) юзаси бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,175$ ва $\rho_{\text{шиша}}=2.758 \text{ г/см}^3$ . Инконгруэнт эриши $1557^\circ\text{C}$ ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{суюқлик}$ ) |
| Клиноэнстатит-<br>$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$                        | 1.660 1.651<br>$N_m=1.654$              | 0.009            | Моноклин сингонияли, фазовий группаси $P2_1/c$ , $a=9.618$ , $b=8.828$ ва $c=5.186 \text{ \AA}$ , $\beta=108^\circ 30'$ . Кристалл агрегатлар, (010) бўйича полисинтетик қўшалоқлар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z \wedge c=22^\circ$ , $2V=53^\circ 30'$ , ажралиши $88^\circ$ ли (110) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=3,19 \text{ г/см}^3$                                                      |
| Протоэнстатит-<br>$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$                        | Энстатитдан<br>о0.002 га фарқ<br>қилади | Куч-<br>сиз      | Ромбик сингонияли, фазовий группаси $R\bar{3}c$ , $a=9.25$ , $b=8.74$ , $c=5.32 \text{ \AA}$ . Брус шакли кристаллар. Оптик белгиси (+), оптик ориентировкаси $Z=c$ , $2V=70^\circ$ , сўниши тўғри.                                                                                                                                                                                                          |

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

|                                                                                                                  |                            |             |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сепиолит -<br>$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$                                        | 1.529 1.520<br>$N_m=1.529$ | 0.009       | Моноклин сингонияли, $a=23.2$ ,<br>$b=15.7$ , $c=5.32 \text{ \AA}$ , $\beta=90-93^\circ$ . Кри-<br>сталлари ингичка волокно шакли-<br>да. Икки ўқли, манфий, $2V=0^\circ$ ,<br>Қаттиқлиги 2-2.5,<br>$\rho_{\text{тажр.}}=2 \text{ г/см}^3$                       |
| Серпентин,<br>антигорит -<br>$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                         | 1.565 1.558<br>$N_m=1.565$ | 0.007       | Моноклин сингонияли, $a=5.3$ ,<br>$b=9.25$ , $c=13.52 \text{ \AA}$ , $\beta=91^\circ 41'$ , $Z=2$ .<br>Кристаллари пластинка ҳолида,<br>ажралиши (001) бўйича.<br>Икки ўқли, манфий, $2V$ ўртача.<br>Қаттиқлиги 2-2.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2,62 \text{ г/см}^3$ |
| Вермикулит -<br>$(\text{Mg, Fe})_3 [\text{Al, Si}_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.545 1.525<br>$N_m=1.545$ | 0.020       | Моноклин сингонияли, $a=5.33$ ,<br>$b=9.18$ , $c=28.85 \text{ \AA}$ , $\beta=93^\circ 15'$ . Кри-<br>сталлари пластинкалар ҳолатида,<br>(-), $2V=0-8^\circ$                                                                                                      |
| Тальк -<br>$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                            | 1.575 1.540<br>$N_m=1.575$ | 0.035       | Моноклин сингонияли, $a=5.27$ ,<br>$b=9.13$ , $c=18.88 \text{ \AA}$ , $\beta=100^\circ 15'$ , $Z=4$ .<br>(-), $2V=0-30^\circ$ . Қаттиқлиги 1,<br>$\rho_{\text{тажр.}}=2,82 \text{ г/см}^3$                                                                       |
| Алит -<br>$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                                       | 1.723 1.717                | 0.006       | Гексагонал сингонияли. Олтибур-<br>чакли пластинкалар ва донсимон<br>доналар. Оптик белгиси (-), $2V=0$ ,<br>ажралиши аниқ эмас, $\rho_{\text{тажр.}}=3.20 \text{ г/см}^3$                                                                                       |
| $\alpha\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                                   | $N_{\text{ўртача}}=1.707$  | Куч-<br>сиз | Гексагонал сингонияли, $a=5.45$ ва<br>$c=7.03 \text{ \AA}$ . Олтибурчакли ва тўғри<br>бўлмаган донсимон кристаллар.<br>1500 <sup>0</sup> ли ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=3.07 \text{ г/см}^3$ .<br>Конгруэнт<br>эриш нуқтаси 2130 <sup>0</sup> С               |
| Бредигит-<br>$\alpha\text{'-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                     | 1.725 1.712<br>$N_m=1.716$ | 0.013       | Ромбик сингонияли, $a=6.76$ ,<br>$b=5.45$ , $c=9.28 \text{ \AA}$ , (+), $2V=30^\circ$ .<br>700 <sup>0</sup> ли ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=3.31 \text{ г/см}^3$                                                                                               |
| Шеннонит -<br>$\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                     | 1.654 1.642<br>$N_m=1.645$ | 0.012       | Ромбик сингонияли. $a=6.78$ ,<br>$b=5.06$ , $c=11.28 \text{ \AA}$ . Призмалар.<br>Оптик белгиси (+), $2V=60^\circ$ , ажра-<br>лиши (010) бўйича, 20 <sup>0</sup> ли<br>ҳароратда $\rho_{\text{тажр.}}=2.97 \text{ г/см}^3$                                       |

|                                                                     |                            |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Белит (фелит, ларнит) - $\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$         | 1.730 1.707<br>$N_m=1.715$ | 0.023 | Моноклин сингонияли, $a=5.49$ , $b=6.77$ , $c=9.29 \text{ \AA}$ , $\beta=94^{\circ}50'$ , полисинтетик қўшалоклар, (+), $2V=$ катта, ажралиши (010) ва (100) бўйича                                                                                                                                                                                                                  |
| Ранкинит - $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$                         | 1.650 1.641                | 0.009 | Моноклин сингонияли. Призмалар. Оптик белгиси (+), $2V^0$ катта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Псевдоволластонит- $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$             | 1.654 1.610<br>$N_m=1.611$ | 0.044 | Триқлин сингонияли, $a=6.90$ , $b=11.58$ , $c=19.65 \text{ \AA}$ , $\alpha=90^{\circ}$ , $\beta=90^{\circ}48'$ , $\gamma=90^{\circ}$ , $Z=8$ . Донсимон доналар ва узайтирилган призмалар, баъзида (001) бўйича қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V=0-8^{\circ}$ , ажралиши- (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.905 \text{ г/см}^3$ , конгруэнт эриш нуқтаси $1544^{\circ}\text{C}$ |
| Волластонит- $\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$                    | 1.631 1.616<br>$N_m=1.628$ | 0.015 | Триқлин сингонияли, $a=7.88$ , $b=7.27$ , $c=7.03 \text{ \AA}$ , $\alpha=90^{\circ}$ , $\beta=95^{\circ}16'$ , $\gamma=103^{\circ}22'$ . Доскасимон индивидлар. Оптик белгиси (-), $2V=39^{\circ}$ , ажралиши-(100) ва (001) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$                                                                                                      |
| Параволластонит- $\gamma\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$               | 1.631 1.614<br>$N_m=1.629$ | 0.017 | Моноклин сингонияли, $a=15.33$ , $b=7.28$ , $c=7.07 \text{ \AA}$ , $\beta=95^{\circ}25'$ . Қаттиқлиги 4.5-5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.915 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                                                              |
| Окерманит - $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$         | 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 $1458^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                                     |
| 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 $1590^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                                       |
| 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, $\rho_{\text{тажр.}}=3.23 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                                                                                                                                                            |

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

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

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

|                                                            |                                |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{Sr}_4\text{Nd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$ | 1.843 1.829                    | 0.014 | Гексагонал сингонияли, $a=9.59$ , $c=7.07 \text{ \AA}$ , $\rho_{\text{тажр.}} = 5.26$ ва $\rho_{\text{хис.}} = 5.29$ г/см <sup>3</sup> . 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 <sup>3</sup> . 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 <sup>3</sup> . 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 <sup>3</sup> . 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 <sup>3</sup> . 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 <sup>3</sup> . Эриш нуқтаси 2048 К                                                                                                                                               |
| BaO                                                        | 1.980                          | -     | Куб сингонияли, $a=5.53 \text{ \AA}$ . Куб қурилиши кристаллар. $\rho_{\text{тажр.}} = 5.72$ г/см <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                             |
| $2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$                           | 1.830 1.810<br>$N_m = 1.820^*$ | 0.020 | Ромбик сингонияли. Донсимон доналар. $\rho_{\text{тажр.}} = 5.21$ г/см <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                        |
| $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$                            | 1.678 1.673<br>$N_m = 1.674$   | 0.005 | Ромбик сингонияли. Донсимон ва нинасимон агрегатлар. Оптик белгиси (+), $2V = 29^\circ$ , ажралиши (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 4.40$ г/см <sup>3</sup> . Эриш нуқтаси 1604 <sup>0</sup> С                                                                                                         |
| $2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$                          | 1.645 1.620<br>$N_m = 1.625$   | 0.025 | Ромбик сингонияли, $a=12.50$ , $b=4.69$ , $c=13.92 \text{ \AA}$ , $\beta=93.3^\circ$ , $Z=2$ . Донсимон доналар, пластинкасимон қўшалоклар. Оптик белгиси (+), $2V = 54^\circ$ , ажралиши (010), (100) ва (010) бўйича, $\rho_{\text{тажр.}} = 3.93$ г/см <sup>3</sup> . Эриш нуқтаси 1450 <sup>0</sup> С. |
| $\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$                           | 1.621 1.597<br>$N_m = 1.616$   | 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 <sup>3</sup> . Эриш нуқтаси 1420 <sup>0</sup> 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 $1715^\circ\text{C}$ |
| Цельзиан — $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$     | 1.600 1.587<br>$N_m=1.593$ | 0.013 | Паст ҳароратли моноклин фаза, $a=8.63$ , $b=13.10$ , $c=7.29 \text{ \AA}$ , $\beta=116^\circ$ . Қўшалок кристаллар, (+), $2V=80^\circ$ , $\rho_{\text{тажр.}}=3.57 \text{ г/см}^3$                  |
| Парацельзиан — $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ | 1.587 1.570<br>$N_m=1.582$ | 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 $1923 \text{ K}$                                     |
| $\text{Ba}_4\text{Y}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$                   | 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 $1973 \text{ K}$                                     |
| $\text{Ba}_4\text{Gd}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$                  | 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 $1963 \text{ K}$                                     |
| $\text{Ba}_4\text{Dy}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$                  | 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 $1963 \text{ K}$                                     |

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

|                                                                                      |                            |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Паст температурали<br>$\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$                                | 1.665 1.630<br>1.680 1.650 | 0.035-<br>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<br>$\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$                                           | 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 $^{\circ}\text{C}$ да эрийди.                                                                                                                   |
| Кианит –<br>$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$                                 | 1.728 1.713<br>$N_m=1.722$ | 0.015           | Триклин сингонияли, Фазовий группаси P1, $a=7.121$ , $b=7.861$ , $c=5.574 \text{ \AA}$ , $\alpha=90.03^{\circ}$ , $\beta=101.08^{\circ}$ , $\gamma=105.95^{\circ}$ , $V=294 \text{ \AA}^3$ , $Z=4$ , $2V=83^{\circ}$                                                                    |
| Силлиманит -<br>$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$                             | 1.678 1.658<br>$N_m=1.658$ | 0.020           | Ромбик сингонияли. Фазовий группаси Pbnm, $a=7.481\text{о}0.002$ , $b=7.672\text{о}0.002$ , $c=5.769\text{о}0.002 \text{ \AA}$ , $V=331 \text{ \AA}^3$ . $2V=25^{\circ}$ , $\rho_{\text{тажр.}}=3.255\text{о}0.015 \text{ г/см}^3$                                                      |
| Андалузит-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$                               | 1.641 1.630<br>$N_m=1.639$ | 0.011           | Ромбик сингонияли. Фазовий группаси Pnnm, $a=7.797\text{о}0.002$ , $b=7.898\text{о}0.002$ , $c=5.551\text{о}0.002$ , $V=341.8 \text{ \AA}^3$ . $2V=83$ дан $86^{\circ}$ гача                                                                                                            |
| Муллит-<br>$3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$                               | 1.654 1.642                | 0.012           | Ромбик сингонияли. Фазовий группаси Pmmm, $a=7.5794\text{о}0.005 \text{ \AA}$ , $b=7.6873$ , $c=2.8878\text{о}0.0004 \text{ \AA}$ , $V=168.26 \text{ \AA}^3$ . $2V=45$ дан $50^{\circ}$ гача, $\rho_{\text{тажр.}}=3.0 \text{ г/см}^3$ . Конгруэнт эриш нуқтаси 1910 $^{\circ}\text{C}$ |
| Пирофиллит –<br>$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$   | 1.601 1.552<br>$N_m=1.558$ | 0.048           | Моноклин сингонияли, $a=5.15$ , $b=8.88$ , $c=18.60 \text{ \AA}$ , $\beta=99^{\circ}55'$ , $Z=8$ . Призматик кристаллар. (-), $2V=53-60^{\circ}$ . Қаттиқлиги 1-1.15, $\rho_{\text{тажр.}}=2.84 \text{ г/см}^3$                                                                         |
| Леверрьерит -<br>$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 1.513 1.488<br>$N_m=1.513$ | 0.025           | Паст категорияли сингонияга эга бўлган монтмориллонит гуруҳи вакили, $a=5.15$ , $b=8.95$ , $c=15.25 \text{ \AA}$ , Кристаллари юпқа пластинка ҳолида. (-), $2V=0-33^{\circ}$ . Қаттиқлиги 1.5, $\rho_{\text{тажр.}}=2.84 \text{ г/см}^3$                                                |

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

|                                              |                                |       |                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$   | 1.850 1.835                    | 0.015 | Икки ўқли, оптик белгиси (+),<br>$\rho_{\text{тажр}} = 3.490 \text{ г/см}^3$ .<br>Эриш нуқтаси $1950^\circ\text{C}$                                                             |
| $\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  | 1.803 1.754<br>$N_m = 1.785$   | 0.049 | Икки ўқли, оптик белгиси (-),<br>$\rho_{\text{тажр}} = 3.390 \text{ г/см}^3$ .<br>Эриш нуқтаси $1850^\circ\text{C}$                                                             |
| $\text{Y}_2\text{O}_3$                       | 1.910                          | -     | Куб сингонияли. Кристаллари тўғри чизиқли пластинка қўринишида.                                                                                                                 |
| $\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$    | 1.825 1.807<br>$N_m = 1.815^*$ | 0.018 | Икки ўқли, мусбат.<br>Эриш нуқтаси $1980^\circ\text{C}$                                                                                                                         |
| $2\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$  | 1.780 1.765                    | 0.015 | Гексагонал сингонияли, оптик манфий. Эриш нуқтаси $1950^\circ\text{C}$                                                                                                          |
| $\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$   | 1.747 1.737<br>$N_m = 1.742^*$ | 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<br>$N_m = 1.865^*$ | 0.020 | Икки ўқли, мусбат,<br>$\rho_{\text{тажр}} = 5.72 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1930^\circ\text{C}$                                                                            |
| $2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ | 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 $1975^\circ\text{C}$ .                            |
| $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  | 1.762 1.752                    | 0.010 | Оптик мусбат,<br>$\rho_{\text{тажр}} = 4.85 \text{ г/см}^3$ . $1750^\circ\text{C}$ да инконгруэнт парчаланади ( $2\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{суюқлик}$ ) |
| $\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$   | $N_{\text{уртача}} = 1.880$    | 0.025 | -                                                                                                                                                                               |
| $2\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ | $N_{\text{уртача}} = 1.850$    | 0.020 | Гексагонал сингонияли,<br>$a = 11.36$ 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<br>$N_m = 1.883^*$ | 0.017 | Икки ўқли, мусбат,<br>$\rho_{\text{тажр}} = 4.476 \text{ г/см}^3$ .<br>Эриш нуқтаси $1980^\circ\text{C}$                                                                        |

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

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

|                                                                                  |                                         |                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Барисилит - $3\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$                                    | $N_{\text{ортача}} = 2.040$             | 0.005          | Призмалар, жадваллар. Бир ўқли, Оптик белгиси (-), $2V = 0^\circ$                                                                                                                                                                                  |
| Алаомзит - $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$                                       | 1.968 1.947<br>$N_m = 1.961$            | 0.023          | Моноклин сингонияли, $a:b:c = 1.375:1:0.924$ , $\beta = 95^\circ 50'$ . Волокноли кристаллар. (-), $2V = 65^\circ$ . Қаттиқлиги 4.5, $\rho_{\text{тажр}} = 6.49 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $764^\circ\text{C}$                                 |
| Казолит - $\text{Pb}_2(\text{UO}_2) \cdot \text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 1.967 1.890<br>$N_m = 1.900$            | 0.077          | Моноклин сингонияли, $a = 13.28$ , $b = 7.01$ , $c = 6.71 \text{ Å}$ , $\beta = 103^\circ 42'$ . Кристаллар майда призмалар ҳолида. (+), $2V = 42^\circ 58'$ . Қаттиқлиги 4-5, $\rho_{\text{тажр}} = 6.46 \text{ г/см}^3$                          |
| Бадделит - $\text{ZrO}_2$                                                        | 2.200 2.130<br>$N_m = 2.190$            | 0.070          | Моноклин сингонияли. $a = 5.22$ , $b = 7.27$ , $c = 5.59 \text{ Å}$ , $\beta = 99^\circ 7'$ . Жадвал-симон кристаллар. Ажралиши (001) бўйича. (-), $2V = 30^\circ$ . $\rho_{\text{тажр}} = 5.6 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $2715^\circ\text{C}$ |
| Циркон - $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$                                       | 1.968 1.923<br>2.015 1.960              | 0.045<br>0.055 | Квадрат сингонияли, $a = 6.61$ , $c = 5.89 \text{ Å}$ . 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 $c = 5.97 \text{ Å}$ . $\rho_{\text{тажр}} = 3.27 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                            |
| Гуттонит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$                                     | 1.930 1.900<br>0.005 0.003<br>$N_m = ?$ | 0.030          | Моноклин сингонияли стабил форма, $a = 6.80$ , $b = 6.96$ ва $c = 6.54 \text{ Å}$ , $\rho_{\text{тажр}} = 7.20$ о. 10 $\text{г/см}^3$ . $1975$ о $50^\circ\text{C}$ да $\text{ThO}_2$ ва суюқликка парчаланadi                                     |
| Торит - $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$                                        | 1.885 1.827<br>0.003 0.003              | 0.058          | Тетрагонал сингонияли метастабил форма, $a = 7.03$ , $c = 6.25 \text{ Å}$ . $\rho_{\text{тажр}} = 6.63$ о. 10 $\text{г/см}^3$                                                                                                                      |
| $\alpha - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                               | - -                                     | -              | -                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $\beta - \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                                | - -                                     | -              | $1030^\circ\text{C}$ да $\beta$ -формадан $\alpha$ -формага ўтади.                                                                                                                                                                                 |
| $2\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                                       | - -                                     | -              | $1120^\circ\text{C}$ да $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ва суюқликка айланади.                                                                                                                                                           |
| $3\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                                       | - -                                     | -              | -                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                            |                              |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ - SiC                             | 2.689- 2.647-<br>2.693 2.649 | 0.042-<br>0.043 | Гексагонал сингонияли. Ингичка базал пластинкалар. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 9.5, $\rho_{\text{тажр}}=3.2 \text{ г/см}^3$ . 3400 $^{\circ}\text{C}$ да эримай диссоциацияга учрайди.                                                                                         |
| $\beta$ - SiC                              | 2.63                         | -               | Куб сингонияли, $a=4.349 \text{ \AA}$ , $Z=4$ , $\rho_{\text{тажр}}=3.216 \text{ г/см}^3$ .                                                                                                                                                                                     |
| Кремний моно-<br>оксиди —<br>SiO           | 2.00                         | -               | Куб сингонияли, $a=7.135 \text{ \AA}$ . Кристаллари бир турли пластинкалар ҳолида учрайди, $\rho_{\text{тажр}}=2.146 \text{ г/см}^3$                                                                                                                                            |
| $\alpha$ -кристобалит-<br>SiO <sub>2</sub> | 1.486                        | -               | Куб сингонияли юқори температурали фаза. Кристалларининг формаси-октаэдр ва куб. Қаттиқлиги 6-7, $\rho_{\text{тажр}}=2.27\text{-}2.35 \text{ г/см}^3$ . 1710 $^{\circ}\text{C}$ да эрийди                                                                                       |
| $\beta$ -кристобалит-<br>SiO <sub>2</sub>  | 1.487 1.484                  | 0.003           | Тетрагонал сингонияли, паст температурали. Полисинтетик қўшалоқлар. Бир ўқли, манфий                                                                                                                                                                                            |
| $\alpha$ -Тридимит-<br>SiO <sub>2</sub>    | - -                          | -               | Гексагонал сингонияли, 1170 $^{\circ}\text{C}$ дан юқорида барқарор, $c : a = 1.653$                                                                                                                                                                                            |
| $\beta$ -Тридимит-<br>SiO <sub>2</sub>     | 1.473 1.469<br>$N_m=1.469$   | 0.004           | Ромбик сингонияли, 1170 $^{\circ}\text{C}$ дан пастда барқарор, $a=9.88$ , $b=17.1$ , $c=16.3 \text{ \AA}$ , $Z=64$ . 870-1470 $^{\circ}\text{C}$ ли оралиқдан ташқарида полиморфизмга учрайди. (+), $2V=35^{\circ}$ . Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тажр}}=2.27 \text{ г/см}^3$ . |
| $\alpha$ -Кварц-<br>SiO <sub>2</sub>       | 1.540 1.533                  | 0.007           | Гексагонал сингонияли, $a=5.01$ , $c=5.47 \text{ \AA}$ , $Z=3$ . 870-573 $^{\circ}\text{C}$ оралигида барқарор.                                                                                                                                                                 |
| $\beta$ -Кварц-<br>SiO <sub>2</sub>        | 1.553 1.544                  | 0.009           | Тригонал сингонияли, $a=4.903$ , $c=5.393 \text{ \AA}$ , $Z=3$ . Қисқа призматик кристаллар, 573-20 $^{\circ}\text{C}$ да оралигида барқарор. Бир ўқли, мусбат. Қаттиқлиги 7, $\rho_{\text{тажр}}=2.65 \text{ г/см}^3$                                                          |
| Китит-SiO <sub>2</sub>                     | 1.522 1.513                  | 0.009           | Тетрагонал сингонияли, $a=7.46$ , $c=8.59 \text{ \AA}$ , $Z=12$ . Бир ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}}=2.50 \text{ г/см}^3$ . 1100 $^{\circ}\text{C}$ гача барқарор                                                                                                            |

|                                                   |                                      |        |                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Коусит-SiO <sub>2</sub>                           | 1.604 1.599<br>N <sub>m</sub> =1.593 | 0.014  | Моноклин сингонияли, a =7.23, b=12.52, c = 7.23 Å, β=120°, Z=17. Қаттиқлиги 8, ρ <sub>тажр.</sub> = 3.01 г/см <sup>3</sup> , (+), 2V = 54°     |
| Лешательерит-SiO <sub>2</sub>                     | 1.459                                | -      | Аморф шаффоф модда                                                                                                                             |
| Халцедон-SiO <sub>2</sub>                         | 1.537 1.530                          | 0.007  | Кварц структурасига ўхшаш, қаттиқлиги 6, ρ <sub>тажр.</sub> =2.55-2.63 г/см <sup>3</sup>                                                       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - I                 | 1.624 1.599                          | 0.025  | Тетрагонал сингонияли стабил фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ <sub>тажр.</sub> =2.89 г/см <sup>3</sup>                                                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - I I               | 1.589 1.545<br>N <sub>m</sub> =1.578 | 0.044  | Ромбик сингонияли метастабил фаза. Икки ўқли, манфий, 2V = 65°                                                                                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - I I I             | 1.471 1.469                          | 0.002  | Гексагонал сингонияли метастабил фаза. Бир ўқли, мусбат, ρ <sub>тажр.</sub> =2.28-2.32 г/см <sup>3</sup>                                       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                    | N <sub>уртача</sub> =2.5             |        | Гексагонал сингонияли, a =4.95, c=13.57 Å, Кристаллари призма ва табличка ҳолида. Бир ўқли, мусбат, ρ <sub>тажр.</sub> = 5.2 г/см <sup>3</sup> |
| 2CrO·SiO <sub>2</sub>                             | 2.03 1.93<br>N <sub>m</sub> =1.94    | 0.10   | Паст категорияли сингонияга мансуб, икки ўқли, ρ <sub>тажр.</sub> =4.0 г/см <sup>3</sup>                                                       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3SiO <sub>2</sub> | 1.905±0.1790±0.05 0.05               | 0.115  | Ромбик сингонияли, икки ўқли, тўғри сўнади. Эриш нуқтаси 1995°C                                                                                |
| Коффинит – UO <sub>2</sub> ·SiO <sub>2</sub>      | N <sub>уртача</sub> = ~1.83) 1.88    | Уртача | Тетрагональ сингонияли, a=6.981±0.004, c=6.250±0.005 Å. Иссиқликдан кенгайиш коэффициенти 80·10 <sup>-7</sup> га тенг                          |
| Тедфронит – 2MnO·SiO <sub>2</sub>                 | 1.820 1.780<br>N <sub>m</sub> =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°                     |
| Родонит – MnO·SiO <sub>2</sub>                    | - -                                  | -      | 1291°C да инконгруэнт эриш туфайли тридимит ва суюқликка айланади                                                                              |

|                                                  |                              |       |                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------|------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Манганозит - $MnO$                               | 2.230                        | -     | Куб сингонияли, $a = 4.45 \text{ \AA}$ , $Z=4$ . Кристаллари октаэдрик қиёфада, ажралиши куб бўйича. Қаттиқлиги 5.5, $\rho_{тажр.} = 5.36 \text{ г/см}^3$                                                                                  |
| Mn-кордирит - $2MnO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ | 1.558 1.537<br>$N_m = 1.558$ | 0.021 | Кристаллари нинасимон. Икки ўқли, манфий, $2V$ кичик. Эриш температураси $1200^\circ C$                                                                                                                                                    |
| Спессартин - $2MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$   | 1.800                        | -     | Куб сингонияли, $a = 11.59 \text{ \AA}$ . Додскаэдрик кристаллар. Қаттиқлиги 7-7.5, $\rho_{тажр.} = 4.18 \text{ г/см}^3$ . Эриш нуқтаси $1200^\circ C$ . $N_{шиши} = 1.655$                                                                |
| Пикротейроит - $2(Mn, Mg)O \cdot SiO_2$          | 1.740 1.710<br>$N_m = 1.727$ | 0.030 | Ромбик сингонияли, икки ўқли, манфий, $2V = 85^\circ$                                                                                                                                                                                      |
| $MnO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$                 | 1.626 1.605<br>$N_m = ?$     | 0.021 | Триклин сингонияли, икки ўқли, манфий, сўниш бурчаги $43^\circ$                                                                                                                                                                            |
| $MnF_2 \cdot SiF_4 \cdot 6H_2O$                  | 1.374 1.357                  | 0.017 | Тригонал сингонияли, $c/a = 0.504$ . Призматик кристаллар. Ажралиши (1120) бўйича. Бир ўқли, мусбат, $\rho_{тажр.} = 1.86 \text{ г/см}^3$                                                                                                  |
| Фаялит - $2FeO \cdot SiO_2$                      | 1.875 1.824<br>$N_m = 1.864$ | 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 ориентир $x=b$ , $\rho_{тажр.} = 4.32 \text{ г/см}^3$ |
| Вюстит - $FeO$                                   | 2.32                         | -     | Куб сингонияли, $a = 4.30 \text{ \AA}$ . $Z=4$ . $\rho_{тажр.} = 5.5 \text{ г/см}^3$ Эриш нуқтаси $1380^\circ C$                                                                                                                           |
| Гематит - $\alpha - Fe_2O_3$                     | 3.010 2.780                  | 0.230 | Гексагонал сингонияли, $a = 5.04$ , $c = 13.75 \text{ \AA}$ . Габитуси-ромбоэдр ва пластинка. Бир ўқли, манфий, $\rho_{тажр.} = 5.2 \text{ г/см}^3$ . $1350^\circ C$ да эрийди                                                             |
| Клиноферросилит - $FeO \cdot SiO_2 - I$          | - -                          | -     | Фазавий группаси $P2_1/c$ , $a = 9.7085 \pm 0.0008$ , $b = 9.0872 \pm 0.0011$ , $c = 5.2284 \pm 0.0006 \text{ \AA}$ , $\beta = 108.432 \pm 0.004^\circ$ , $V = 437.6 \pm 0.1 \text{ \AA}^3$ , $Z=8$                                        |
| Ортоферросилит - $FeO \cdot SiO_2 - II$          | - -                          | -     | Фазавий группаси $Pbca$ . $a = 18.431 \pm 0.004$ , $b = 9.080 \pm 0.002$ , $c = 5.238 \pm 0.001 \text{ \AA}$ , $V = 876.6 \pm 0.5 \text{ \AA}^3$ , $Z=16$                                                                                  |

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

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

|                                              |             |       |                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|-------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Стронцийли<br>повеллит —<br>$\text{SrMoO}_4$ | 1.926 1.921 | 0.005 | Тетрагонал сингонияли,<br>$c=a=1.574 \text{ \AA}$ , $Z=4$ , Кристаллари<br>пирамида кўринишида. Бир<br>ўқли, мусбат, $\rho_{\text{тажр}} = 4.15 \text{ г/см}^3$                                                              |
| Вульфенит —<br>$\text{PbMoO}_4$              | 2.405 2.283 | 0.122 | Тетрагонал сингонияли, $a=5.41$ ,<br>$c=12.1 \text{ \AA}$ , $Z=4$ , Кристаллари пира-<br>мида ва жадвал кўринишида. Бир<br>ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 6.75 \text{ г/см}^3$<br>Эриш нуқтаси - $1065^\circ\text{C}$ . |
| Штольцит —<br>$\text{PbWO}_4$                | 2.27 2.19   | 0.08  | Тетрагонал сингонияли, $a=5.46$ ,<br>$c=12.05 \text{ \AA}$ , $Z=4$ , Кристаллари<br>пирамида кўринишида. Бир<br>ўқли, манфий, $\rho_{\text{тажр}} = 7.9\text{-}8\text{-}3 \text{ г/см}^3$                                    |
| Гюбнерит —<br>$\text{MnWO}_4$                | 2.283 2.150 | 0.133 | Моноклин сингонияли, $a=4.85$ ,<br>$b=5.77$ , $c=4.98 \text{ \AA}$ , $\beta=90^\circ 53'$ , Кри-<br>сталлари призма кўринишида.<br>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 синуш кучи, чўзиқ кристалларнинг сўниши, узайиш белгиси, кристалларнинг оптик белгиси ва бурчак катталиги, габитус, кристалл ўлчами, ажралиш қобилиятлари, қўшалоқликлари, ранг ва плеохроизм ҳақида тушунча беринг.
5. Минераллар, хом ашёлар, ярим маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотларнинг оптик хусусиятлари қандай асбоблар ёрдамида аниқланади?
6. Кристаллооптика усулида табиий ва сунъий кимёвий бирикмалар, хом ашё, материал ва буюмлар, минерал ва композицияларнинг оптик кўрсаткичлари қандай қонунларга бўйсунди ва аниқланади?
7. Микроскопнинг қандай турларини санаб бера оласиз?
8. Микроскоплар учун қандай мосламалар мавжуд?
9. МИН-8 маркали поляризацион микроскопининг асосий деталлари номини айтиб беринг.

10.Микроскопларнинг катталаштириш даражаси қандай аниқланади?

11.Шлифларнинг қандай турлари бор?

12.Микроскопия препаратларини тайёрлаш усулини келтиринг.

13.Тупроқ минераллари, баъзи бир оксидлар ва кальций оксиди — кремний оксиди тизимидаги фазаларнинг оптик 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 юқорида 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 биров кейинроқ Ампер ва Кноблаух томонидан янги кашф этилган нурларининг тарқалиши, қайтарилиши, поляризация ҳамда интерференцияси худди ёруғлик нурларидек кечиши, аммо улардан тўлқин узунлигининг катталиги билан фарқланиши исботланди.

Инфрақизил нурланиш спектрининг юқори чегарасига етиб бориш узоқ давом этган тадқиқотлар натижасида рўй берди. Бунинг учун жуда кўп нурланиш манбаалари текширилди, турли материаллардан ясалган призмалар 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 борилади.

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

мураккаб тузилмали энергия даражаси мос келади. Энергия квантлар ҳолатида ютилади ва нурланади. Бу ҳолат  $h\nu$  га тенг. Бу формуладаги  $h$  - универсал константа, яъни Планк доимийлиги бўлиб, у  $6,6 \cdot 10^{-27}$  эрг. сек га тенг.  $\nu$  эса нурланиш майдонини 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  $\nu$  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  $\gamma$ -нурланиш- катта сингиш (кириб кетиш) хусусиятига эга. ИҚ нурланиш фақат молекула ёки молекуладаги атомларнинг алоҳида гуруҳлари билан мулоқотда бўлади, ҳамда моддадаги кучсиз боғланган ёки “озод” ташувчи зарядлар билан ўзаро таъсирлашади.

Юқоридагиларга асосланган ҳолда ИҚС усули асосида турли органик ва ноорганик гуруҳларнинг (қаттиқ бўлак ёки жисм) хоссаларини аниқлаш, нур ютилиши ёки қайтиши полосаларининг аниқ хусусиятини бериш устида ишлар 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 боришган.

ИҚ нурланиш табиати кўринадиган ва радио нурланишлар табиатига ўхшашдир.

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

Нормал ИҚ нур оқими силлиқланган, ясси модда юзасига тушганда:

- а) ундан қайтади;
- б) модда заррачаларида ютилади ва ёйилади;
- в) нур ўтказди.

ИҚ нурларини қайтариш спектрлари қуйидаги формула орқали топилади:

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

бу ерда,  $I_p$  - қайтган нурлар оқими;

$\rho$  - модданинг нур қайтариш коэффиценти;

$I_o$ - модда юзасига тушаётган нормал нур оқими.

ИҚ нурларнинг ўтқизиш спектрлари қуйидагича топилади:

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

бу ерда,  $k$  - модданинг нур ютиш коэффиценти;

$t$  - нур ютаётган қаватнинг қалинлиги.

Нур қайтиш ва ўтқизиш спектрларининг қиймати қуйидагиларга боғлиқ:

1) нур ютиш коэффиценти  $k$ , нур қайтариш коэффиценти  $\rho$  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 поласалари шунча кўп узун тўлқинли макон тарафига силжийди;

4) панжарадаги изоморф қўшилмалар ва бошқа факторларга.

## 18-§. Моддаларнинг инфрақизил спектрлари

ИҚ маконида нур ютилиши, асосан ИҚ нурланиши таъсирида модда молекулалари ёки ионларининг айланма ва тебранма ҳаракат ўзгариши, баъзан уларнинг электрон қобиглари деформацияга учраши билан изоҳланади. Энг кўп ИҚ нурунинг 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:

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

бу ерда,  $\nu$  - тебраниш частотаси;

$k$  - келтирилган мураккаб анионнинг атом массаси;

$\gamma$  - кучланиш доимийлиги.  $\text{XO}_4$  тетраэдр учун  $1,86 \times 10^5 / R \cdot d_i$  га тенг бунда,  $R$  - ион радиуси;

$d_i$  -  $\text{XO}_4$  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 усулларида келиб чиққан ҳолда (препарат тайёрлаш, текшириш учун аппарат танлаш) қаттиқ моддалар икки синфга бўлинади:

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

Кристалл модда умумий равишда бир молекулани намоён этади. Бундай моддаларда фақат оддий панжараларнинг бошқаларга нисбатан тебраниши базис ячейкаларининг айланиши панжаранинг бузилишига олиб келади. Бундай панжара тебранишларини ҳисоблаш мураккаб, бунда кўп сонли ионларнинг боғлиқлигини ҳисобга олиш лозим. Бир қанча соддалаштиришлардан мумкин бўлган тебранишлар сони ёки нур ютиш полосаларини аниқлаш мумкин. Бундай кристалллар таркибига нисбатан оғир ионлар киради, шунинг учун уларнинг тебраниш частоталари узун 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 кристалллар (Шефер, Матосси, 1935 й.) ўзининг биттадан тебраниш частотасига эга. Улар массасининг тебранувчи атомлари массаси қанча кўп бўлса, бу полоса шунча узун тўлқинли маконда сурилган бўлади:

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

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

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

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

2) Ички кучларининг боғланиши 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,

[SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup>) 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.

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

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

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.

$\text{ХУ}_4$  гуруҳ ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ва бошқалар) тўғри тетраэдрда намоён бўлса, иккита тебраниш частотасига эга ва агар тетраэдр қайишганроқ бўлса, тўртта тебранишга эга. Чунки мос келувчи нур ютиш полосалари бу ҳолда 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 маротаба 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  $\text{SiO}_4$  га- 1100-900, 830-740 ва 500-400  $\text{см}^{-1}$ ; боратлар,  $\text{BO}_3$  ва  $\text{BO}_4$  ларига- 1300-1150, 1050-900 ва 780-660  $\text{см}^{-1}$ ; фосфатлар ва

$\text{PO}_4$  га—1100-1000, 830-780 ва 650-500  $\text{см}^{-1}$ ; арсенатлар ва  $\text{AsO}_4$  га — 900-780, 550-400 ва 350  $\text{см}^{-1}$ ; сульфатлар ва  $\text{SO}_4$  га—1250-1000, 650-610 ва 450  $\text{см}^{-1}$ ; карбонатлар ва  $\text{CO}_3$  га—1450-1410, 880-860 ва 740-680  $\text{см}^{-1}$ ; нитратлар ва  $\text{NO}_3$  га—1380-1350 ва 840-815  $\text{см}^{-1}$ ; вольфраматлар ва  $\text{WO}_4$  га— 930-810, 450-400 ва 320  $\text{см}^{-1}$ ; молибдатлар ва  $\text{MoO}_4$  га — 950-810, 450-400 ва 320  $\text{см}^{-1}$ ; ванадатлар ва  $\text{VO}_4$  га — 1150-730, 480-450 ва 350  $\text{см}^{-1}$ .

### 19-§. Кальцит минералининг инфрақизил спектрлари ҳақида

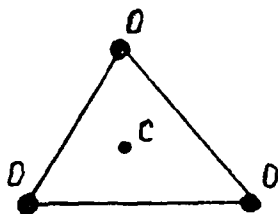
Кальцит минерали  $\text{CaCO}_3$  табиатда кўп тарқалган табиий минераллар туркумига киради. У боғловчи ва шиша маҳсулотлари ишлаб чиқаришда кенг қўлланиладиган хом ашё бўлиб хизмат қилади.

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.

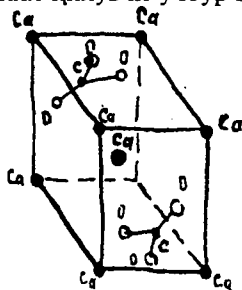
Табиий ва синтетик карбонатлар ИҚ спектрини текшириш 1952-1971 йиллар ичида Миллер, Вайт, Анжино, Ле Наво, Харитонов ва бошқалар томонидан систематик равишда олиб борилди. Натижада карбонат минераллари спектрларининг асосий частоталари аниқланди:

| Модда                                    | $\nu_1$ | $\nu_2$ | $\nu_3$   | $\nu_4$ |
|------------------------------------------|---------|---------|-----------|---------|
| Кальцит- $\text{CaCO}_3$                 | -       | 879     | 1429-1492 | 706     |
| Арагонит- $\text{CaCO}_3$                | 1080    | 866-852 | 1492-1504 | 706     |
| Магнезит- $\text{MgCO}_3$                | 1096    | 886-851 | 1460      | 735     |
| Доломит-<br>$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ | -       | 880-857 | 1460      | 727-697 |
| Стронцианит-<br>$\text{SrCO}_3$          | 1070    | 841-871 | 1461      | 702     |
| Родохрозит-<br>$\text{MnCO}_3$           | -       | 848-871 | 1430      | 727     |
| Смитсонит-<br>$\text{ZnCO}_3$            | -       | 859-858 | 1428      | 743     |
| Ватерит- $\text{BaCO}_3$                 | 1060    | 837-840 | 1435      | 687     |
| Церусит- $\text{PbCO}_3$                 | 1051    | 839     | 1397      | 678-668 |

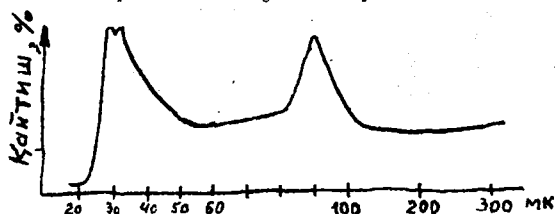
Қуйида  $\text{CaCO}_3$  минералининг ИҚ спектрлари батафсилроқ кўриб чиқилади.  $\text{CaCO}_3$  - кальцит: У  $\text{CO}_3^{2-}$  группасидан ташкил топган ва С атомлари ясси бир хил томонли учбурчак марказини ҳосил қилади. Бу ерда тўртта шахсий тебраниш, ҳар бирига мос келувчи ўзининг нур ютиш полосаси бўлиши мумкин. Углероднинг координацион сони 6 га тенг. Қуйида учбурчак ёки пирамида (11-расм), кальцит тузилиши (12-расм), унинг ИҚ нурларини қайтариш (13-расм) ва ютиш (14-расм) спектрлари берилган.



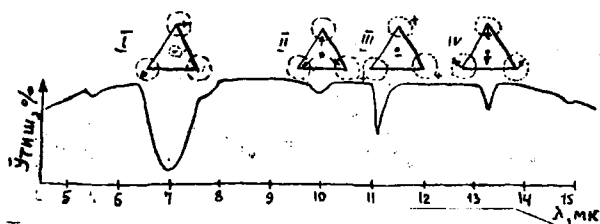
11-расм. Кальцитни ташкил қилувчи учбурчак ёки пирамида.



12-расм.  $\text{CaCO}_3$  нинг тузилиши.



13-расм. Кальцитнинг нур қайтариш спектри.



14-расм. Кальцит минералининг ИҚ нурларини ютиш спектрлари.

Кальцитининг ИҚ нур ютиши спектрларида ва  $\text{CO}_3^{2-}$  мураккаб анионида атомларининг ҳар бир нур ютишга мос келувчи шахсий тебранишлари шартли кўрсатилган (14-расм). Юқори нур ютилиш максимумлари ички тебраниш  $\text{CO}_3^{2-}$  комплекс анион атомларининг тебраниши билан аниқланади. 14-расмда келтирилган ИҚ нурларини ютиш спектрида 4 та полоса мавжуд бўлиб, қуйидаги тебранишларни англатади: 1-тебраниш (7 мк области)- икки атом О бир-бирдан узоқлашади, учинчи атом О ва марказий С ҳаракатини олдинги икки атомга нисбатан перпендикуляр йўналиши бўйича бажаради.

Агар  $\text{CO}_3^{2-}$  учбурчаги ясси бўлса, унга фақат битта нур ютиш полосаси мос келади. Нотўғри пирамида ёки ҳар хил томонли учбурчақда бу полоса ўрнига қиймати яқин бўлган (шахсий частотанинг парчаланиши содир бўлади) иккита полоса пайдо бўлади.

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

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

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

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

4-тебраниш (13,5 мк макон)- иккита  $O^-$  атомлари бир-биридан узоклашади, 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) керамик хом ашёлар ва бошқалар.

Текширишдан кузатилган мақсад:

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

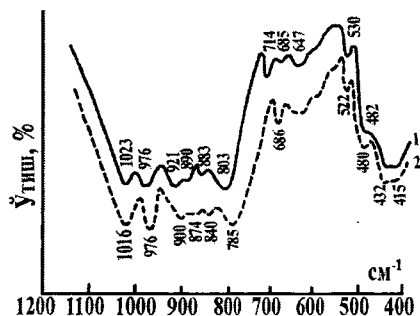
Бу ҳолатни расшифровка қилишнинг икки моменти бор: а) иккинчи минерал номаълум, спектрлар бўйича биз уни геленитларга хослигини ва унинг  $Me_2^{2+}$   $Me_2^{3+}$   $Me^{4+}O_7$  кўринишидаги формулага эга дейишимиз мумкин; б)синтетик  $Sr_2Al_2SiO_7$  оксидларидан синтез қилинган ва хоссалари бўйича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

2) Ярим миқдорий кимёвий таркибни аниқлаш учун: Масалан, айтийлик 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.

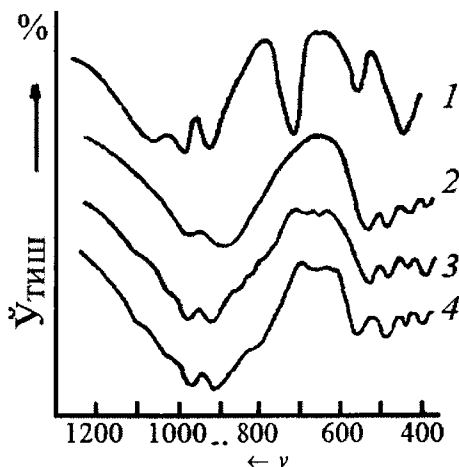
4) Моддадаги мураккаб гуруҳларнинг таҳлили (18 ва 19-расмлар), масалан,  $SiO_4$ ,  $AlO_4$ ,  $AlO_6$ ,  $MgO_4$ ,  $MgO_6$  ва бошқа анионлар (нур ютиш полосаси ҳолати ва миқдори бўйича аниқланади).

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



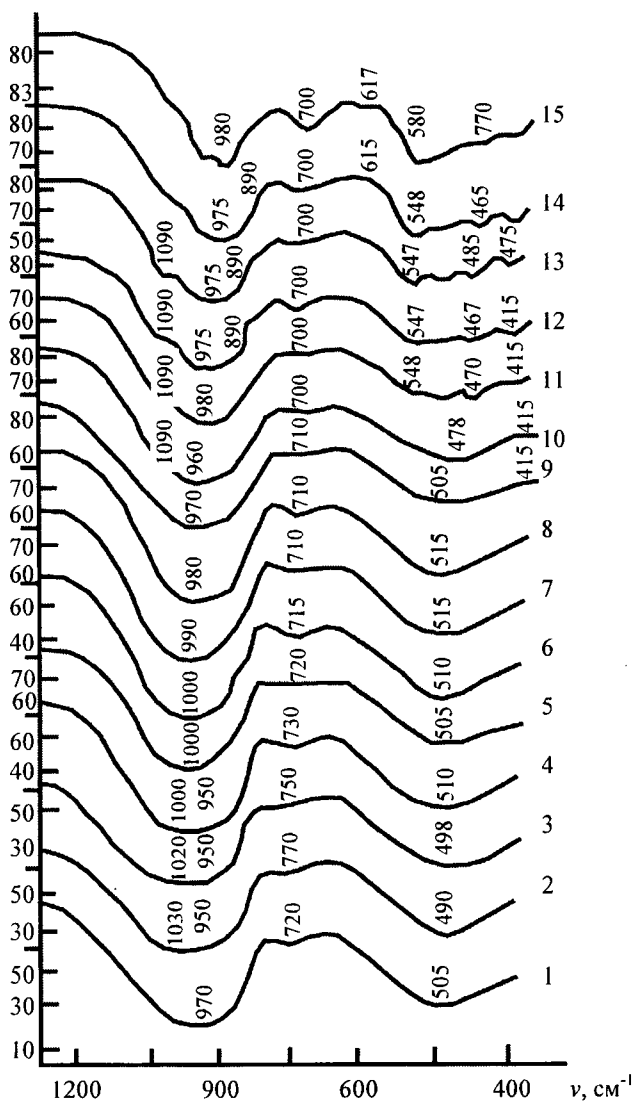
15-расм. Синтетик мелилитларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

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

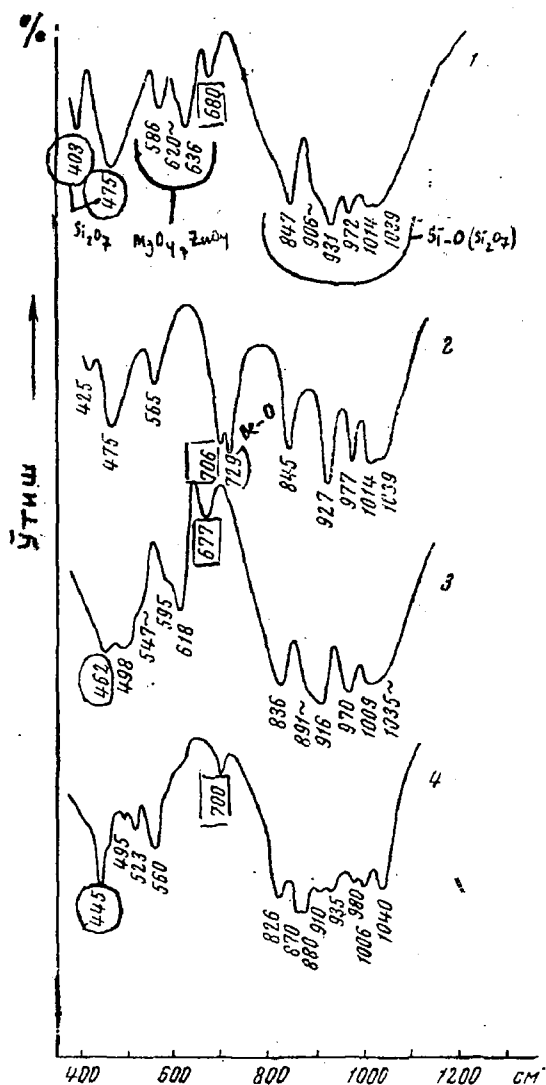


16-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиш спектрлари:

1- $\text{CaSiO}_3$ ; 2- $\text{La}_{9,34}(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$ ; 3- $\text{Ca}_{16}\text{La}_8\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{72}$ ;  
4- $\text{Ca}_{16}\text{Nd}_8\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{72}$ .



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



18-расм. Кристалларнинг ИҚ нур ютиши спектрлари:

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

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

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

8) Тузилманинг тартиблилиги ва тартибсизлиги (тартибсизлик ҳолатида полосалар 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-  $\text{BaTiO}_3$  ) аниқлаш учун.

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

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

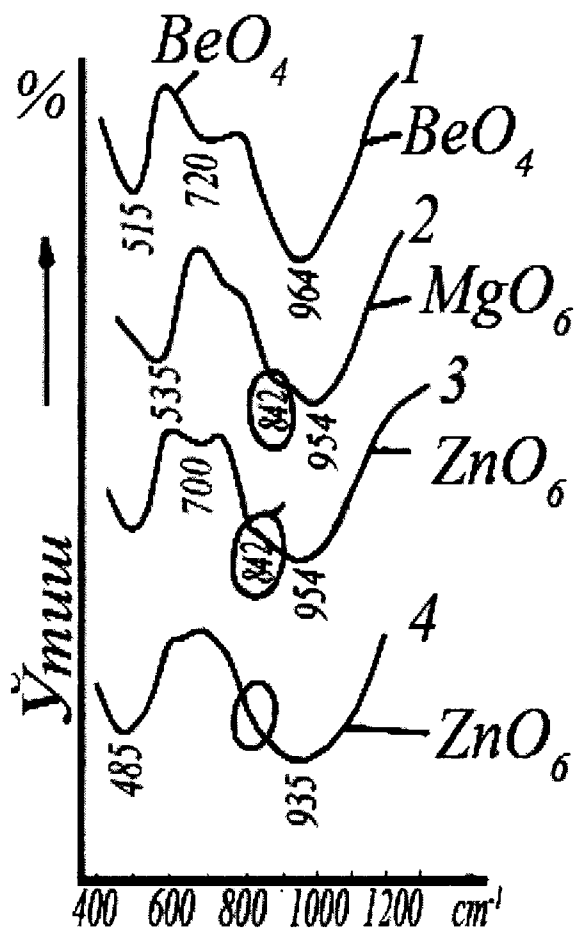
$$n_1^2 - 1 / n_1^2 + 2 = (n_2^2 - 1) \lambda_1^2 / (n_2^2 + 2) \lambda_2^2 / \ln J_1 / J_0 / \ln J_2 / J_0,$$

бу ерда  $n_1$  - модданинг  $\lambda_1$  тўлқин узунлигига мос келувчи қидириляётган нур синдириш кўрсаткичи;

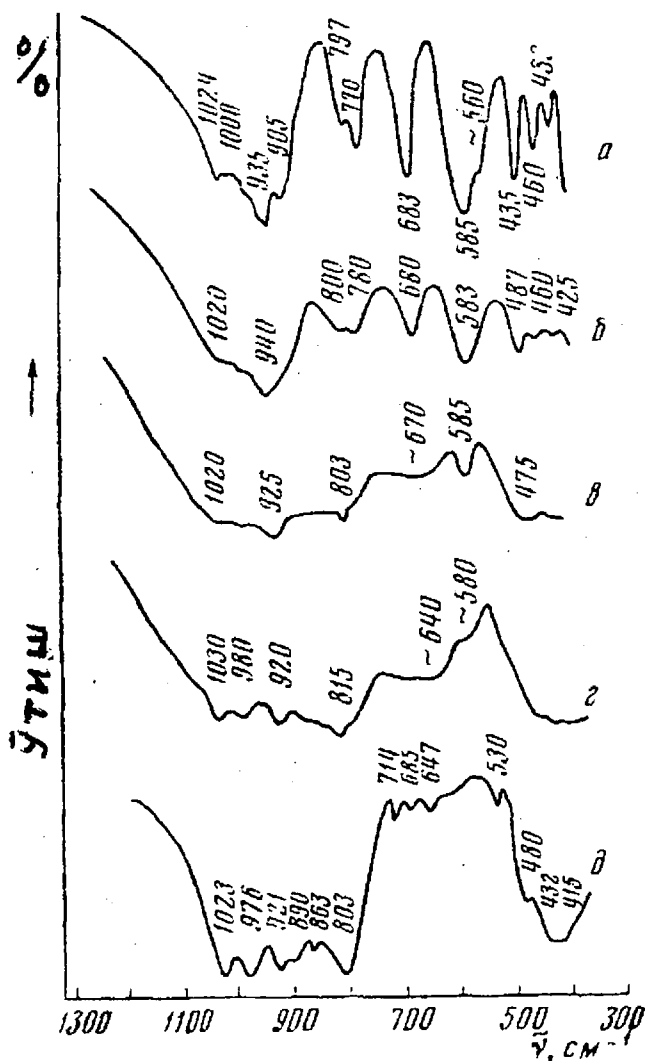
$n_2 - \lambda_2$  - тўлқин узунлиги учун маълум нур синдириш кўрсаткичи;

$J_1$  ва  $J_2$  - моддадан  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  тўлқин узунлигида ўтаётган нур- ланиш интенсивлиги.

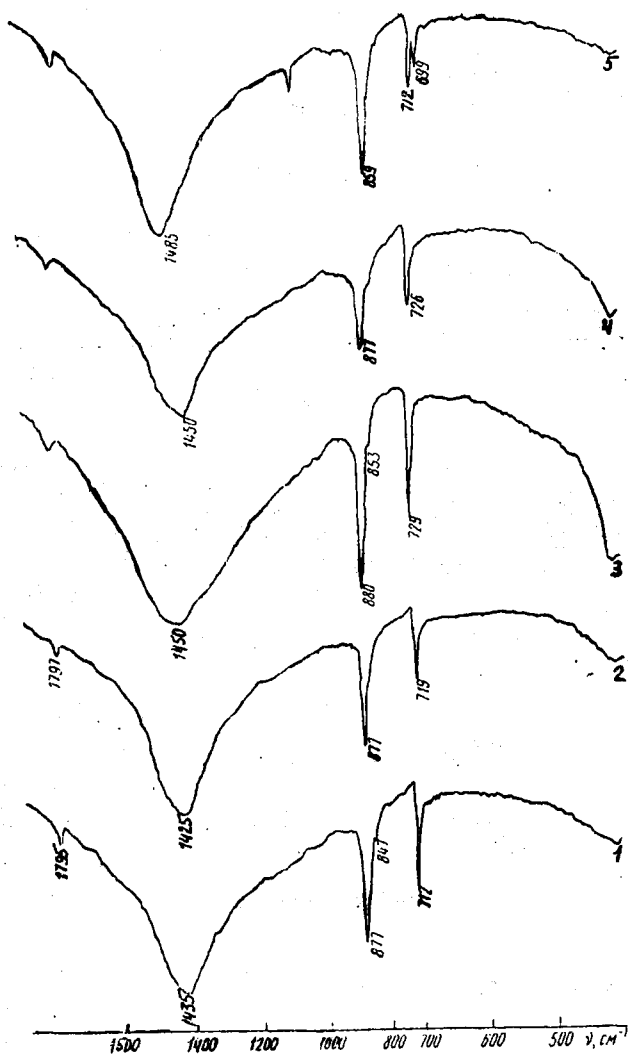
13) Ионлар, атомларнинг ўлчамлари ва ионлар орасидаги бурчакларни аниқлаш учун, %SiOSi.



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 КВг аралашмаси билан пресс-лаб тайёрланган).



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

## 21-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари

Афзаллиги:

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

Усулнинг камчиликлари:

1. Жуда оз миқдордаги қўшимча (1-5 % дан кам) ва баъзи жуда ҳам кам группировкаларни намоён этмайди;
2. Миқдорий анализ натижаларининг юқори даражада эмаслиги.
3. ИҚ нурларини қайтариш спектрларини олишни бироз 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 аралашиб кетиши.
8. Кукуннинг баъзи қисмларида нурланишнинг ҳар хил ўтириши натижасида нур қайтариш ва ютилишида ноаниқ эффектларнинг пайдо бўлиши.

## 22-§. Инфрақизил спектроскопия усули аппаратлари

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

Бу усулда қўлланадиган жиҳозлар спектрометр ёки спектрофотометр деб аталади. Ушбу приборлар ёрдамида нур чиқиш интенсивлиги ўлчанади ва улар детекторли қурилмага фокусировка қилинади. Диспергирлашган элементнинг турига қараб улар уч асосий синфларга ажралади: призмали, дифракционли ва комбинировкалашган призма-дифракционли. Приборлар тузилишида фарқлар бўлишига қарамасдан, уларнинг ҳаммаси автоколлимацион типга таъбуқли. 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 текширилаётган модда билан эталон инфрақизил спектрларини солиштириш ва бошқа усуллар орқали амалга ошади.

Агар ИҚ спектрларини ўрганиш нур қайтариш спектрларидан бошланган бўлса, 1933 йилларда Пфунд ва Барнес ишларидан кейин кристалл моддаларнинг нур ютишини кукунларнинг юпқа қаватларини қўллаб ИҚ спектрларини олиш бошланган. Бу янгилик ўрганилаётган 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 инфракизил спектроскопия усулининг амалий асосларини ишлаб чиқишга ҳам катта ҳисса қўшган. Янги силикат ва зўргасуюлувчан материалларни бу усул билан тадқиқот қилишда Ўзбекистонлик олимлар - Н.А.Сирожиддинов, Б.И.Нудельман, Т.А.Отақўзиев, С.С. Қосимова, А.А.Исмамов ва бошқаларнинг ҳам хизматлари жуда катта.

**Текшириш учун ускуналар.** ИҚ нурларини ўтказиш, нур қайтарилиши ва нур ютиши спектрлари 0,76) 25 мк тўлқинлари оралигида 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 ( $200\text{ см}^{-1}$  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 инфракизил спектрометрининг соддалаштирилган схемаси келтирилган (22-расм).

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

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

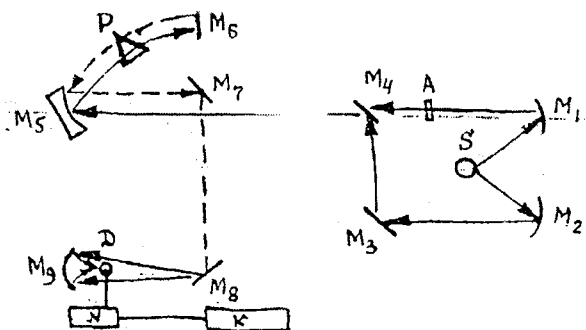
орқали нур ҳосил қилинади ва у фокусловчи кўзгу орқали узатилади.

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

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

4) Қабул қилувчидан келатган электрик сигнални кучай-тиргич.

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.

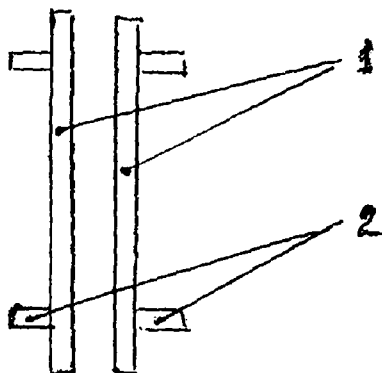
Қуйида биз юқорида номи қайд этилган деталларнинг баъзи бирлари устида батафсилроқ тўхтаймиз.

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

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

$KBr = 9-26$  мк гача;  $CsI = 10-50$  мк гача. Улар ИҚ нурланиш учун 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. Микрокуветнинг 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 инфрақизил спектрометрларни частота ва тўлқин узунлиги бўйича градуировка қилиш ўта муҳим масала. У бир қанча усуллар орқали амалга оширилиши мумкин. Энг қулайи спектрометрни дифракцион спектрометр орқали аниқланган эталон спектрлар ёрдамида текшириш.

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

2000-660  $\text{см}^{-1}$  оралиғида градуировка қилиш учун сув буғ, аммиак ва  $\text{CO}_2$  лардан фойдаланилади.

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

10-жадвал

| Спектр макони, $\text{см}^{-1}$ | Модда                                                  | Призма материали      |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| 4500-4120                       | $\text{CH}_4$                                          | шиша, LiF             |
| 3900-3560                       | $\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{CO}_2$<br>(атмосферали) | шиша, LiF             |
| 3510-3170                       | $\text{NH}_3$                                          | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 3170-2880                       | $\text{CH}_4$                                          | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 3060-2725                       | HCl                                                    | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 2675-2410                       | HBr                                                    | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 2400-2220                       | Интерполяция                                           | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 2220-2040                       | $\text{CO}_2$                                          | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 1990-1360                       | $\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{CO}_2$ (атмосферали)    | LiF ва $\text{CaF}_2$ |
| 1385-1250                       | Интерполяция                                           | NaCl                  |
| 1360-1250                       | $\text{CH}_4$                                          | $\text{CaF}_2$        |
| 1230-720                        | $\text{NH}_3$                                          | NaCl                  |
| 740-420                         | $\text{CH}_3\text{OH}$                                 | NaCl, KBr             |
| 720-650                         | $\text{CO}_2$ (атмосферали)                            | KBr                   |
| 720-280                         | $\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{CO}_2$<br>(атмосферали) | KBr, CsJ              |

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

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

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

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

**Аппарат мосламалари.** ИҚ спектрометрлар мосламаларига қуйидагилар киради:

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

2. Катта босим учун кюветлар.

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

## **24-§. Препаратларни тайёрлаш усули**

Монокристалл ва поликристалл (кукун) лардан намуналар турлича тайёрланади.

**1. Монокристалл моддасидан кесилган пластинка шаклидаги препарат.** Ясси, параллел силлиқланган, ИҚ нур ютиш спектрлари учун мўлжалланган намунанинг қалинлиги 2 мм дан то бир неча микронгача, 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 дипол ётган бўлса, нур ютилиш катта бўлади. Шундай қилиб у ёки бу функционал группаларнинг мавжудлиги аниқланади.

**2. Кукундан тайёрланадиган препаратлар.** Тайёрлашнинг икки усули мавжуд: Биринчи усул - 1см<sup>2</sup> юзада 0,1-2 мг миқдорда NaCl, KCl, KBr каби ИҚ маконларида шаффоф бўлган подложкага намуна кукуни қотирилади ёки чўкмага тушурилади. Масалан, ҳаволи 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,  $\text{см}^2$ ;  
 $\rho$  - модданинг зичлиги,  $\text{г/см}^3$ .

Иккинчи усул - суяқ 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 ўтқазиш, сўнгра қуруқ кукунли плёнка ҳосил бўлгунча буғлатиш йўли билан қуриштиш. Одатда, 2 г кукунга 100 мл спирт қўшилади. Жараён охирида ҳосил бўлган плёнка қалинлиги 0,2-0,3  $\text{мг/см}^2$  бўлади.

қ) намунани вазелин ёки ишқор-галлоид бирикмалар ( $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KBr}$ ) 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  $\text{KBr}$  + 2 мг модда  
 $\downarrow$   
 4500-7000  $\text{кг/см}^2$  босим + 70) 80 °C ли  
 $10^{-1}$  -  $10^{-2}$  атм. вакуумда пресслаш  
 $\downarrow$   
 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 мastaҳкамланган, 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 расшировка 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  $\text{Na}_2\text{O}+50\%$   $\text{SiO}_2$  дан ташкил топган ва  $620^\circ\text{C}$  да кристалланган шишада:

1) 13,2 мк да

ўтказади - 70 %,

қайтаради - 7 %,

ютилади ~ 23%.

2) 11,2 мк да

ўтказади - 55%,

қайтаради - 25%,

ютилади ~ 20%.

3) 10,2 мк да

ўтказади - 33 %,

қайтаради - 42 %.

**Кремнеземнинг ИҚ спектрларидаги полоса экстремумларининг ҳолати**

11-жадвал

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

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

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

12-жадвал

| Текширилаётган<br>намуна | Тўлқин узунлиги, мк                                                                                                  |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Қайтиш спектрлари</b> |                                                                                                                      |
| Яшма                     | 8,50; 8,77; 9,12; 9,60; 12,55; 12,85; 14,5; 15,55;<br>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                                                                                 |
| <b>Ўтиш спектрлари</b>   |                                                                                                                      |
| Яшма                     | 8,65; 9,1; 12,55; 12,85; 13,1; 13,25; 13,45;<br>13,8; 14,40-14,45; 15,1; 15,45; 16,45; 16,8-17,0; 19,3;<br>21,4-21,7 |
| Қора кристалл<br>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                                                                                               |

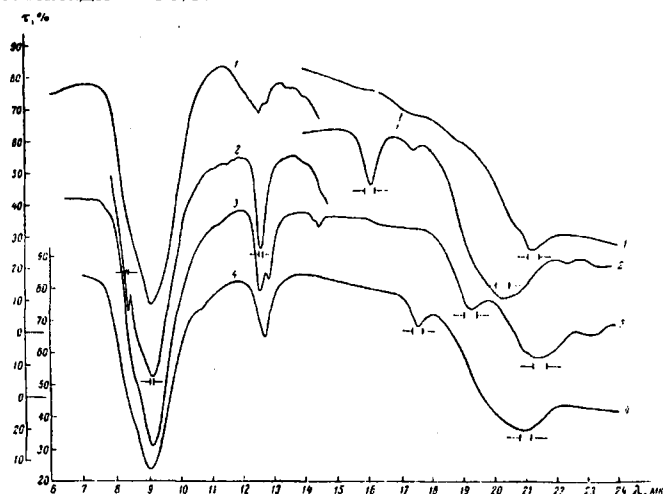
ютилади ~ 25%.

4) 7,8 мк да

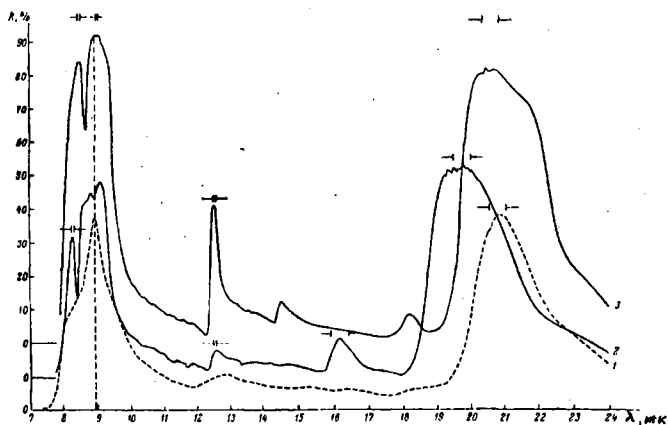
ўтказилади - 70 % ,

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-  $\alpha$ -кристобалит; 3 -  $\alpha$ -кварц (оптик ўқиға перпендикуляр кесилган).

## 26-§. Муҳим фазаларнинг ИҚ спектрлари

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

I. Кремний-Si асосидаги группалар учун:

- 1)  $\text{SiO}_4$  - тарқоқ тетраэдрлари учун - 10) 12,5 мк;
- 2)  $\text{SiO}_3$  - занжирли боғланганлар учун - 9) 11,5 мк;
- 3)  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$  -ҳалқасимон группалар учун -8,5) 11 мк;
- 4)  $\text{SiO}_2$  - лентали группалар учун - 9,5) 10,5 мк;
- 5)  $\text{SiO}_2$  - қатлами учун - 9) 10,5 мк;
- 6)  $\text{SiO}_2$  -тетраэдрлар сеткаси учун - 9,6) 10 мк.

II. Алюминий - Al асосидаги группалар учун:

- 1)  $\text{AlO}_6$  - октаэдри полосалари - 16-20 мк;
- 2)  $\text{AlO}_4$  - тетраэдрлари полосалари - 11-13 мк.

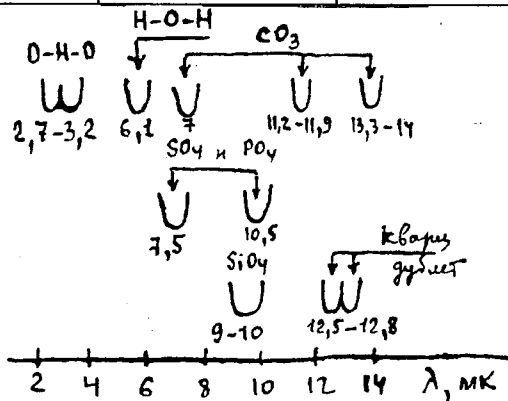
Шундай қилиб, амалий жиҳатдан олинган спектрларни маълум модданинг одатий полосаларига таққослаш бўйича тадқиқ қилинади. Полосаларнинг ҳолати атом гуруҳлари, ионлари ва гуруҳларидаги боғланишларга боғлиқ ҳолда ўзгаради.

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

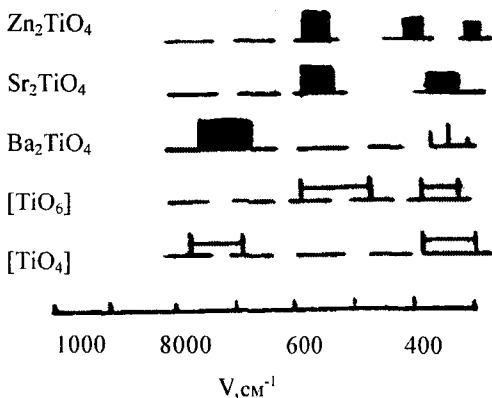
# **ОН-ионининг рентгенография ва ИҚ спектроскопия бўйича ўлчами**

13-жадвал

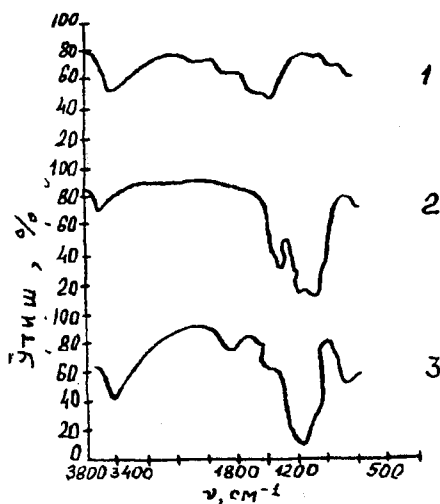
| Бирикма           | Гидрооксиднинг ион радиуси, А |               |
|-------------------|-------------------------------|---------------|
|                   | рентгенографик                | Спектроскопик |
| $B(OH)_3$         | 1,15                          | 1,12          |
| $\gamma-Al(OH)_3$ |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



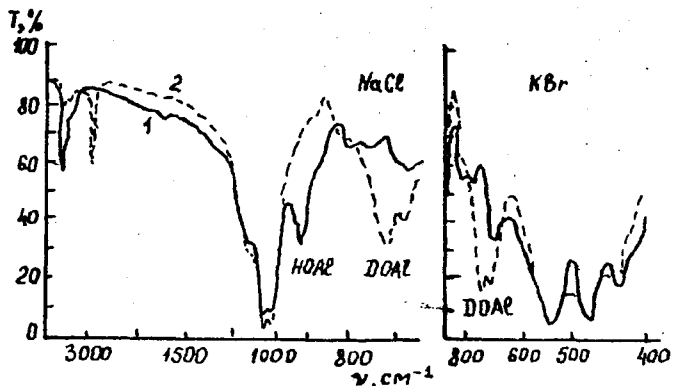
26-расм. Баъзи бир группаларга хос ИҚ-полосалари.



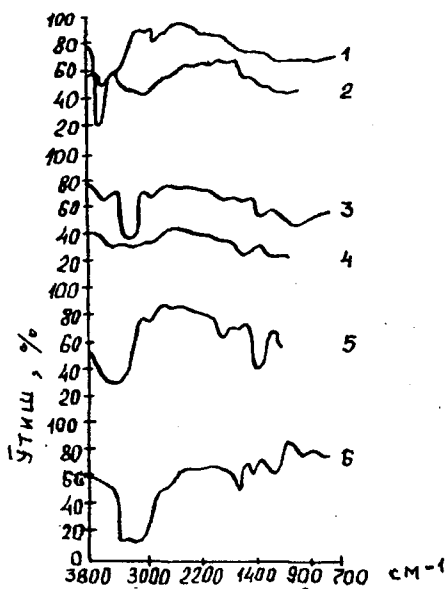
27-расм. Ортитанатлар ИҚ спектрлари ( $Zn$  - ва  $Sr$  ли бирикмаларда — титан октаэдрик координацияда) ва ( $Ba$ -ли бирикмада титан тетраэдрик координацияда).



28-рasm. Кальций гидросиликатиинг ИҚ нур ютиш спектрлари.  
1) гидролит; 2) ксонотлит; 3) тоберморит.



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



30-расм. Кальций гидроалюминати ва гидросульфалюминатларининг ИҚ нурларини ўтиш спектрлари:

1-2 – кальций гидроалюминати  $C_3AH$ ;

3-4 – кальций гидроалюминати  $C_4A_3H_3$ ;

5 – кальцийнинг бир сульфатли гидросульфалминати;

6 – кальцийнинг уч сульфатли гидросульфалюминати.

|                    |      |      |
|--------------------|------|------|
| $\alpha$ - $AlOOH$ | 1,45 | 1,47 |
|                    | 1,55 | 1,57 |
| $\alpha$ - $FeOOH$ | 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 <sup>-1</sup>   |                                |                                |                                | Симметриянинг тебраниш типи |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Экспериментал                  |                                | Ҳисоб бўйича                   |                                |                             |
| Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | Ge <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | Ge <sub>2</sub> O <sub>7</sub> |                             |
| 1015                           | 905                            | 1010                           | 900                            | A <sub>2и</sub>             |
| 915                            | 745                            | 925                            | 740                            | E <sub>и</sub>              |
| 770                            | 715                            | 760                            | 710                            | A <sub>2и</sub>             |
| 570                            | 475                            | 540                            | 480                            | E <sub>и</sub>              |
| 480                            | 395                            | 420                            | 360                            | A <sub>2и</sub>             |
| 425                            | 320                            | 380                            | 320                            | E <sub>и</sub>              |

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 қўплаб ишлатилади. Юқоридаги 29-расмда уларга оид ИҚ спектрлар келтирилган.

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

### 27-§. Инфрақизил спектроскопик 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 |                     |          |                     |             |
|----------------------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|----------|---------------------|-------------|
|                                              | θ, см <sup>-1</sup> | I            | θ, см <sup>-1</sup> | I        | θ, см <sup>-1</sup> | I           |
| Аморф кварц — SiO <sub>2</sub> [18]          | 468<br>-            | Ки.<br>-     | 700<br>-            | Кз.<br>- | 804<br>1098         | Ў.<br>Ж.ки. |

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

|                                                                                                                                                                   |      |       |      |       |     |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------|-------|-----|-------|
| β-Волластонит –<br>CaO·SiO <sub>2</sub> [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 –<br>CaO·MnO·2SiO <sub>2</sub><br>[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. |
|                                                                                                                                                                   | 911  | Ж.кз. | 619  | Ү.    | 450 | Ж.кз. |
| Родонит –<br>CaO·4MnO·5SiO <sub>2</sub><br>[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 –<br>2CaO·5MgO·<br>8SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O<br>[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.   | -   | -     |
| Актинолит –<br>2CaO·5(Mg,Fe)O·<br>8SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O<br>[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. | -    | -     | -   | -     |
| Антофиллит –<br>7(Mg,Fe)O·8SiO <sub>2</sub> ·<br>H <sub>2</sub> 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 –<br>3MgO·4SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O<br>[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 –<br>Mg <sub>3</sub> (Al <sub>0,33</sub> ,Si <sub>3,66</sub> )·<br>O <sub>10</sub> ·(OH) <sub>2</sub> ·<br>Na <sub>0,33</sub> ·H <sub>2</sub> O<br>[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 –<br>(Mg,Li) <sub>3</sub> (Al <sub>0,33</sub> ,<br>Si <sub>3,66</sub> )O <sub>10</sub> ·(OH) <sub>2</sub> ·<br>Na <sub>0,33</sub> ·H <sub>2</sub> 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. | -    | -     | -   | -     |

|                                                                                                                                     |     |       |     |     |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-----|-----|------|-------|
| Окорманит –<br>$2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[29]                                                           | 380 | Кз.   | 675 | Кз. | 920  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 460 | Ў.    | 830 | Ки. | 950  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 560 | Кз.   | 880 | Ки. | 1000 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 600 | Ў.    | -   | -   | -    | -     |
| Бериллийли<br>окорманит –<br>$2\text{CaO} \cdot \text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[29]                                             | 390 | Кз.   | 675 | Ў.  | 950  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 460 | Ў.    | 840 | Ки. | 975  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 550 | Кз.   | 900 | Ки. | 1000 | Ки.   |
|                                                                                                                                     |     |       |     |     |      |       |
| Гардистонит –<br>$2\text{CaO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[29]                                                         | 430 | Ў.    | 640 | Кз. | 940  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 475 | Кз.   | 830 | Ки. | 1000 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 560 | Кз.   | 900 | Ки. | -    | -     |
|                                                                                                                                     | 600 | Ў.    | -   | -   | -    | -     |
| Кўргошинли<br>гординит –<br>$2\text{PbO} \cdot \text{ZnO} \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[29]                                              | 440 | Ў.    | 800 | Ки. | 930  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 480 | Кз.   | 860 | Ки. | 975  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 575 | Ў.    | 900 | Ки. | 1040 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 700 | Кз.   | -   | -   | -    | -     |
| Синтетик<br>$\beta$ - Эвкрипит –<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[16]                   | 480 | Кз.   | 665 | Кз. | 1003 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 520 | Ж.кз. | 754 | Ў.  | 1040 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 540 | Кз.   | 805 | Кз. | 1150 | Кз.   |
|                                                                                                                                     |     |       |     |     |      |       |
| Синтетик<br>$\alpha$ - Эвкрипит –<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[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.   |
| Табиий Эвкрипит –<br>$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$<br>[16]                                  | -   | -     | -   | -   | 1052 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 480 | Ки.   | 708 | Ки. | 967  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 514 | Ў.    | 768 | Кз. | 985  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 560 | Ў.    | 796 | Кз. | 1013 | Ки.   |
| Кордиерит –<br>$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot$<br>$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$<br>[18]                      | 614 | Ў.    | 916 | Ки. | 1028 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 686 | Ў.    | 999 | Ки. | 1053 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 420 | Ки.   | 620 | Ў.  | 960  | Ж.ки. |
|                                                                                                                                     | 450 | Ки.   | 675 | Кз. | 1027 | Ў.    |
| Миларит –<br>$\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{CaO} \cdot 4\text{BeO} \cdot$<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2$<br>[18] | 485 | Ки.   | 760 | Ки. | 1100 | Кз.   |
|                                                                                                                                     | 570 | Кз.   | 773 | Ки. | 1148 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 580 | Ў.    | 912 | Ки. | 1181 | Ж.ки. |
|                                                                                                                                     |     |       |     |     |      |       |
| Калийтитанли<br>силикат –<br>$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot$<br>$\text{H}_2\text{O}$ [18]         | 420 | Ки.   | 630 | Кз. | 970  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 480 | Ў.    | 740 | Кз. | 1020 | Ж.ки. |
|                                                                                                                                     | 510 | Кз.   | 755 | Ў.  | 1130 | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 610 | Кз.   | 780 | Ў.  | -    | -     |
| Калиймарганец<br>цинкли силикат –<br>$\text{KMn}_2\text{Zn}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$<br>[18]                                   | 475 | Ў.    | 753 | Ки. | 975  | Ки.   |
|                                                                                                                                     | 525 | Ж.кз. | 865 | Кз. | 1027 | Ж.ки. |
|                                                                                                                                     | 590 | Ж.кз. | -   | -   | -    | -     |
|                                                                                                                                     |     |       |     |     |      |       |
| Калиймарганец<br>цинкли силикат –<br>$\text{KMn}_2\text{Zn}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$<br>[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 –<br>$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{OH})_4\cdot$<br>$(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ [18] | 726 | Ў.    | 1000 | Ки.   | 1306 | Ки. |
|                                                                                                              | 760 | Кз.   | 1030 | Ки.   | 1347 | Ў.  |
|                                                                                                              | 790 | Ў.    | 1058 | Ки.   | -    | -   |
|                                                                                                              | 857 | Кз.   | 1107 | Ки.   | -    | -   |
| Хирмонтёпа<br>кони лёсси<br>[35]                                                                             | 480 | Ки.   | 670  | Кз.   | 800  | Ў.  |
|                                                                                                              | 520 | Ж.кз. | 700  | Кз.   | 1000 | Ки. |
|                                                                                                              | 560 | Ж.кз. | 710  | Кз.   | 1400 | Ў.  |
| Ангрен кони<br>иккиламчи као-<br>лини [35]                                                                   | 475 | Ки.   | 810  | Ў.    | 1400 | Кз. |
|                                                                                                              | 625 | Кз.   | 950  | Кз.   | -    | -   |
|                                                                                                              | 700 | Кз.   | 1100 | Ки.   | -    | -   |
| Қамишбоши –<br>Чимион кони<br>гилс [35]                                                                      | 480 | Ки.   | 710  | Кз.   | 850  | Ў.  |
|                                                                                                              | 510 | Ў.    | 750  | Кз.   | 1050 | Ки. |
|                                                                                                              | 530 | Ў.    | 810  | Ў.    | 1410 | Кз. |
| Бандихон кони<br>гилтупроғи<br>[35]                                                                          | 840 | Ки.   | 675  | Кз.   | 810  | Ў.  |
|                                                                                                              | 545 | Ки.   | 690  | Кз.   | 1050 | Ки. |
|                                                                                                              | 650 | Кз.   | 710  | Кз.   | 1460 | Кз. |
| Сардара кони<br>фосфорити<br>[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<br>фосфорити –<br>1350 <sup>0</sup> С да куйди-<br>рилган [30]                                  | 410 | Кз.   | 610  | Ў.    | 1105 | Ки. |
|                                                                                                              | 475 | Кз.   | 655  | Кз.   | 1160 | Ки. |
|                                                                                                              | 525 | Кз.   | 975  | Кз.   | -    | -   |
|                                                                                                              | 580 | Ў.    | 1050 | Ки.   | -    | -   |
| Кермана кони<br>кварц – дала<br>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<br>– дала шпати<br>[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-<br>форити – 1350 <sup>0</sup> С<br>да куйдирилган<br>[30]                                    | 420 | Ў.    | 570  | Кз.   | 766  | Кз. |
|                                                                                                              | 460 | Ў.    | 730  | Кз.   | 1060 | Ки. |
| Султонуздаг<br>кони дала шпати<br>[30]                                                                       | 430 | Ў.    | 615  | Кз.   | 1020 | Ки. |
|                                                                                                              | 465 | Кз.   | 650  | Ў.    | 1050 | Ки. |
|                                                                                                              | 535 | Кз.   | 730  | Ў.    | 1145 | Ки. |
|                                                                                                              | 518 | Ў.    | 770  | Ў.    | -    | -   |
| Султонуздаг<br>кони фосфорити<br>– 1350 <sup>0</sup> С да куй-<br>дирилган [30]                              | 420 | Ў.    | 575  | Кз.   | 775  | Ў.  |
|                                                                                                              | 460 | Ки.   | 730  | Ў.    | 1060 | Ки. |
| Ангрен кони<br>риолити<br>[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<br>корхонаси масса-<br>си — 1350 <sup>0</sup> С да<br>қуйдирилган [30]                             | 465<br>560<br>615 | Ки.<br>Ў.<br>Кз.   | 650<br>695<br>720  | Кз.<br>Кз.<br>Кз.    | 800<br>1085<br>1160 | Ў.<br>Ки.<br>Ки. |
| Битаб кони дала<br>шпати киритил-<br>ган чинни масса-<br>си — 1350 <sup>0</sup> С да<br>қуйдирилган [30]         | 470<br>515<br>575 | Ў.<br>Кз.<br>Ж.кз. | 615<br>700<br>780  | Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ў. | 800<br>1090<br>1160 | Ў.<br>Ки.<br>Ки. |
| Султонгуздаг<br>кони дала шпати<br>киритилган чин-<br>ни массаси—<br>1350 <sup>0</sup> Сда қуйди-<br>рилган [30] | 465<br>555<br>615 | Ки.<br>Ў.<br>Кз.   | 700<br>800<br>1090 | Кз.<br>Ў.<br>Ки.     | 1150<br>-<br>-      | Ки.<br>-<br>-    |
| Чияли кони дала<br>шпати киритил-<br>ган чинни масса-<br>си — 1350 <sup>0</sup> С да<br>қуйдирилган [30]         | 470<br>555        | Ки.<br>Ў.          | 615<br>700         | Кз.<br>Кз.           | 790<br>1090         | Кз.<br>Ки.       |

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

### Такрорлаш учун саволлар

1. ИҚ нури ким томонидан ва қачон кашф этилган?
2. Инфрақизил нурларининг тўлқин узунлигини  $\lambda$ , мкм ва см<sup>-1</sup> 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 беринг.
8. ИҚ нурларининг қайтарилиш спектрлари ҳақида гапириб беринг.
9. Инфрақизил спектроскопия аппаратларидан қайсиларини биласиз?

10. ИҚ спектрометрларнинг соддалаштирилган схемасини келтиринг.

11. ИҚ спектрометрларининг шаффоф призмалари сифатида қандай моддалар ишлатилади?

12. ИҚ нурланиш манбаи ҳақида маълумот беринг.

13. Препаратлар қандай усулларда тайёрланади.

14. ИҚ спектрларини ёзиб олиш мосламаси ҳақида нималарни биласиз?

16. Кремнезем ИҚ спектрлари полосаларининг экстремумлари ҳолати қандай?

17. Кремний тетраэдрларига қандай полосалар хос?

18. Алюминий гуруҳлар учун қандай полосалар хусусиятли ҳисобланади?



## ТЎРТИНЧИ БОБ ТЕРМОГРАФИК ТАҲЛИЛ

### 28-§. Термография усули табиати

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

Термография усулининг турлари жуда кўп. Энг асосийлари қаторига киради:

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

Биринчи марта қиздириш эгриликлари француз олими Ле-Шателье томонидан 1887 йилда олинган, у ҳароратни платина - платина-родийли термопараларда ўлчаш орқали термографик эгри чизиқларни 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 қўллади, бу термопаралар кичик миқдордаги иссиқликни сезувчандир.

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

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

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

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

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

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

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

Усулнинг физик моҳияти: физик ва кимёвий 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, буни 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-

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

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

## 29-§. Термик анализ

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

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

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

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

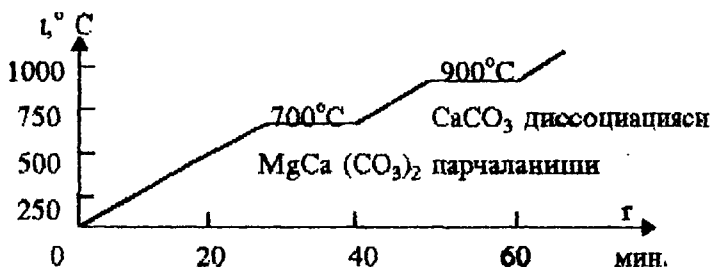
Ҳароратнинг ўзгариши эгриликларнинг горизонтал участкаларида кўринади (31-расм).

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

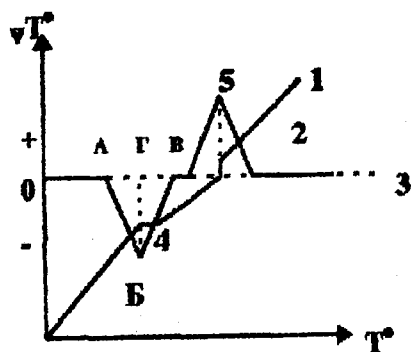
Қиздирилаётган ёки совитилаётган модда ҳароратни гальванометрнинг кўрсаткичида ёки автоматик тарзда ёзиш мумкин. Қиздириш ёки совитиш эгриликларини автоматик тарзда ёзишда автоматик ўзи қайд этувчи акад. Н.С. Курнаков тизимидаги пирометрлар қўлланилади.

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

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

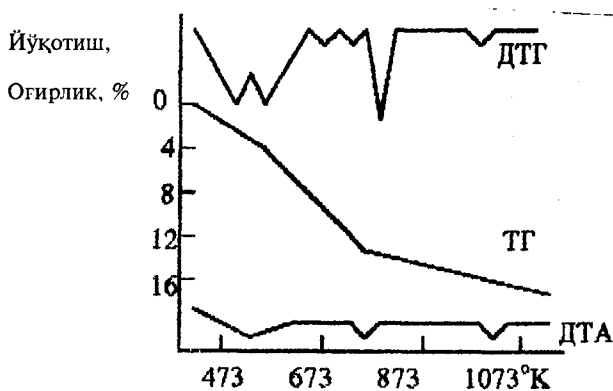


31-расм. Доломит минералининг термик анализига оид вақт-ҳарорат диаграммаси.



32-рasm.

32-рasm. 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-рasm. 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).

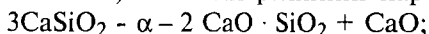
Берилган ушбу ҳолатда дифференциал термопара бир вақтнинг ўзида иккита ҳароратни ўлчайди: 1) текшириляётган модданинг температураси; 2) ҳарорат фарқи ёки қиздириляётган модданинг текшириляётган ҳарорат интервалида термик ўрганишга йўл қўймайдиган инерт моддага нисбатан ўзгариши.

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); оҳақтош  $\text{CaCO}_3 - \text{CaO} + \text{CO}_2$  (декарбонизация) ;

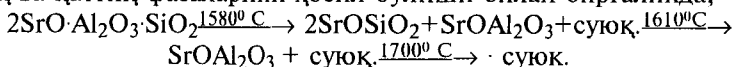
2) Термик парчаланиш, яъни газсимон фаза ажралмасдан модданинг парчаланиши билан.

Масалан, алит минералининг парчаланиши:

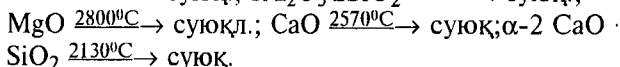
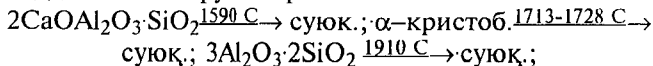


3) Энантиотрон характерли полиморф ўзгариш билан. Масалан,  $\alpha$ -кварц  $\rightarrow$   $\alpha$ -тридимит (кенгайиш 16%);  $\beta$ - $\text{CaSiO}_3$  (2,91-г/см<sup>3</sup>)  $\rightarrow$   $\alpha$ - $\text{CaSiO}_3$  (2,90-г/см<sup>3</sup>).

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



5) Модданинг конгруэнт эриши билан:



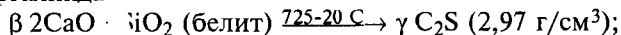
6) Қайнаш — бўғланиш ва возгонка;

7) Қайтар реакциялар.

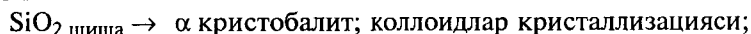
Моддаларнинг дифференциал термик анализ шаклларида экзотермик эффект қуйидаги сабаблар туфайли содир бўлади:

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

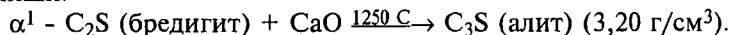
2) Моҳ троп характерли полиморф ўзгариш, берилган ҳаёт шартларида нобарқарор модификациядан барқарорга ўтиш билан биргаликда



3) Нобарқарор аморф ҳолатидан кристалл ҳолатига ўтиш билан



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



5) Абсорбция жараёни рўй берганида;

6) Адсорбция жараёнида;

7) Кристалларнинг йириклашиш жараёнида;

8) Хемосорбция жараёни юз берганида;

9) Изомеризация жараёнида.

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

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

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

### 31-§. Комплекс термик анализ

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

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

Фотоқайд этиш қурилмаси сифатида Курнаков пирометри ишлатилган: барабаннинг фотоқоғозида бир вақтнинг ўзида термик эффектлар, намунанинг оғирлиги ва ҳажмининг 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 ўтказди. 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. Ўтган 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 хаамири (юза кўрсаткичи  $4000 \text{ см}^2/\text{г}$  га, сувцемент нисбати 0.25, қолиплаш ҳарорати 293 К га ва ёши 28 суткага тенг)ни қиздиришда ҳосил бўладиган дериватограмма берилган (33-расм).

### 33-§. Усулнинг аппаратуралари

Термография усулларининг имконияти катта. Энг аввало, улар ёрдамида текширилаётган моддада содир бўладиган эндо-термик 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, тажрибаларни 1500 ва ундан юқори ҳароратда олиб борилганда намуна

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

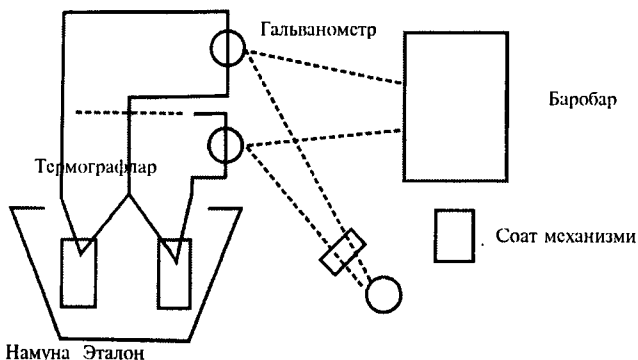
Агар тадқиқотларда термик таҳлил усули қўлланмаса, у ҳолда жуда кўп марта намуналарни куйдириш, жуда кўп рентгенограммалар олиш ва уларни расшифровка қилиш, кўп сонли шлифлар ясаш ва тадқиқотлар ўтказиш керак бўлар эди. Термография эса олимлар ишини тизимга солди ва тадқиқотлар сонининг максимал камайтириш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

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

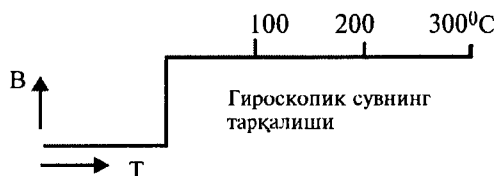
1) Вольфрам ( $2800^{\circ}\text{C}$  гача), электрографит ( $2000^{\circ}\text{C}$  гача), родий ( $1800^{\circ}\text{C}$  гача), силит ( $1500^{\circ}\text{C}$  гача), 10-20% родийли платина ( $1500^{\circ}\text{C}$  гача), глобар ( $1500^{\circ}\text{C}$  гача), платина ( $1400^{\circ}\text{C}$  гача),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

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

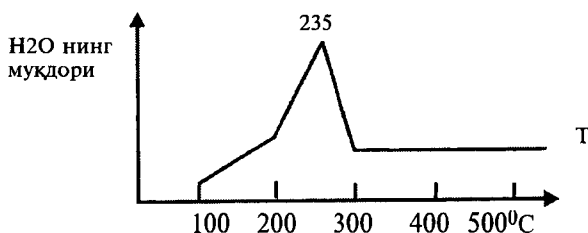
3) Эталон ва намуна солинадиган тигеллар (платинали, корундли, графитли ва бошқалар).



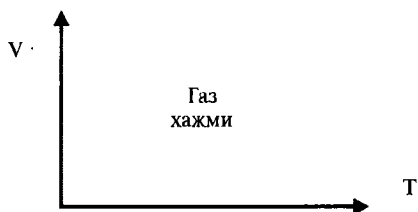
34-расм. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг чизмаси.



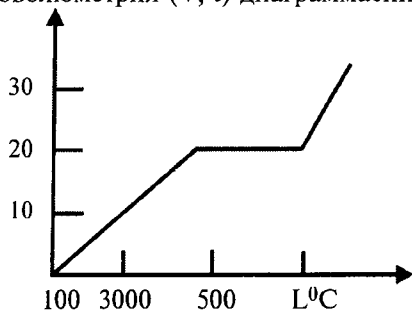
35-расм. Гипстош  $2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  нинг тензиметрик (P, t) чизиғи.



36-расм. Табиий гиббсит минералининг дифференциал тензиметрия чизиғи.



37-расм. Газоволюметрия (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 тushунтириш 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 текшириладиган 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, демак модданинг ҳарорат таъсирида ўзгариши юқори аниқликда ўлчанади.

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

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

МДХ мамлакатларида мавжуд бўлган жиҳозлар қаторига қуйдагилар кириди:

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

Қиздириш тезлиги минутига  $70^{\circ}\text{C}$ , модда миқдори 0,05 дан 0,1 г. гача;

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

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

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

### **35-§. Тензиметрия, газоволюметрия ва дилатометрия асбоблари**

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

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

**Газоволюметрия** - аниқ ҳароратда минераллардан  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  ва бошқа газсимон фазаларни ажралишига асосланган (37-расм). Л.Г. Берг томонидан 1952 й. ажралаётган газ ҳажми ўзгаришини ўлчаш газли бюреткада амалга оширилган.

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

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

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

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

Чизиқли кенгайиш коэффициенти  $\alpha$  деб текшириладиган модда ҳарорати  $1^{\circ}\text{C}$  га қўтарилганда намуна ўлчамининг 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;

$\Delta l$  — ҳарорати  $\Delta t$  ° га оширилганда намуна узунлигининг ортиши;

$\Delta t$  — 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 катталиги 0,0043 мм). Таркибида конституцион  $\text{H}_2\text{O}$  ва осон оксидланувчи элементлар бўлмаслиги керак;

- вақт бўйича қисқа муддатли эзиш - агар таркибида конституцион  $\text{H}_2\text{O}$  бўлса;

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

Термография усуллари билан тадқиқотлар ўтказиш чоғида текширилаётган модда намунасидан 0,05-0,3г дан 10-12г 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 олинадиган 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 текширилаётган 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 гурпуага тааллуқлисини таҳлил қилишга имконият беради. Айниқса, карбонатлар, сувли бирикмаларда уларнинг парчаланиши, сувни учиб чиқиб кетишини меъёрий аниқлашга муваффақ бўлинди;

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

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

6) Иссиқлик эффекти содир бўладиган ҳарорат оралигини 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)  $-190^{\circ}$  дан то  $+3000^{\circ}$  гача ҳароратларда ДТА эгрилигини олиш имкони.

**Усулнинг камчиликлари.** Маълум даражада камчиликлар ҳам мавжуд:

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

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

|                                                                      |        |     |        |     |        |    |
|----------------------------------------------------------------------|--------|-----|--------|-----|--------|----|
| Eu <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                                       | 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) <sub>3</sub>                                                 | 5,52   | 70  | 1,733  | 6   | 1,194  | 10 |
|                                                                      | 3,18   | 55  | 1,589  | 2   | 1,189  | 2  |
|                                                                      | 3,05   | 100 | 1,585  | 14  | 1,171  | 2  |
|                                                                      | 2,757  | 20  | 1,527  | 4   | 1,114  | 4  |
|                                                                      | 2,399  | 6   | 1,524  | 4   | 1,099  | 2  |
|                                                                      | 2,202  | 50  | 1,410  | 8   | 1,051  | 8  |
|                                                                      | 2,083  | 6   | 1,374  | 6   | 1,039  | 2  |
|                                                                      | 1,837  | 16  | 1,295  | 8   | 1,004  | 8  |
|                                                                      | 1,828  | 20  | 1,262  | 2   | 1,002  | 10 |
|                                                                      | 1,810  | 35  | 1,201  | 10  | -      | -  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | -      | -  |
| 3Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>5Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,063  | 14  | 1,6874 | 4   | 1,1323 | 8  |
|                                                                      | 4,384  | 6   | 1,6573 | 35  | 1,1049 | 4  |
|                                                                      | 3,314  | 8   | 1,5749 | 6   | 1,0962 | 6  |
|                                                                      | 3,099  | 30  | 1,5504 | 14  | 1,0713 | 2  |
|                                                                      | 2,773  | 100 | 1,3866 | 10  | 1,0336 | 4  |
|                                                                      | 2,531  | 45  | 1,3534 | 18  | 1,0196 | 6  |
|                                                                      | 2,432  | 4   | 1,3374 | 4   | 1,0128 | 4  |
|                                                                      | 2,264  | 10  | 1,3224 | 8   | 1,0060 | 8  |
|                                                                      | 2,192  | 4   | 1,2796 | 2   | 0,9867 | 4  |
|                                                                      | 2,012  | 12  | 1,2531 | 2   | 0,9627 | 1  |
|                                                                      | 1,829  | 2   | 1,2162 | 2   | 0,9349 | 6  |
|                                                                      | 1,790  | 14  | 1,1827 | 2   | 0,9244 | 10 |
|                                                                      | 1,7196 | 30  | 1,1517 | 18  | 0,9194 | 1  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | 0,9142 | 6  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | -      | -  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | -      | -  |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>11Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                                | 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 |
|                                                                      | -     | -   | -      | -   | -      | -  |
| Гадалиний<br>(III)—Оксид<br>Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 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 <sub>3</sub> Ga <sub>2</sub><br>(GaO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>  | 5,05  | 16  | 2,77   | 100 | 1,53   | 40 |
|                                                                      | -     | -   | -      | -   | 1,65   | 3  |

|                                                                                                                                                                                                      |            |            |                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------------------------------------------|
| Нонтронит –<br>$m[3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] \cdot p[(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | Эндоэффект | 100 – 200  | Адсорбиланган ва цеолитли сувларнинг буғланиши |
|                                                                                                                                                                                                      | Эндоэффект | 400 – 625  | Конституцион сувнинг чиқиши                    |
|                                                                                                                                                                                                      | Экзоэффект | 810 – 920  | Янги кристалл модда пайдо бўлиши               |
|                                                                                                                                                                                                      | Экзоэффект | 925 – 1180 | Кристалланишнинг охирига етиши                 |
| Монотермит-<br>$0.2\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O} (+0.5\text{H}_2\text{O})$                                                                   | Экзоэффект | 50 – 100   | Кристалланишнинг охирига етиши                 |
|                                                                                                                                                                                                      | Экзоэффект | 450 – 550  | Конституцион сувнинг чиқиши                    |
|                                                                                                                                                                                                      | Экзоэффект | 955 – 975  | Кристалл модданинг ҳосил бўлиши                |
| Галлуазит-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$                                                                                                                  | Эндоэффект | 50 – 140   | Адсорбиланган сувнинг ажралиши                 |
|                                                                                                                                                                                                      | Эндоэффект | 405 – 555  | Конституцион сувнинг ажралиб чиқиши            |
|                                                                                                                                                                                                      | Экзоэффект | 970 – 1060 | Кристалл ва янги модданинг ҳосил бўлиши        |
| Пирофиллит-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                                                                                                  | Экзоэффект | 500 – 800  | Сувнинг ажралиб чиқиши                         |
|                                                                                                                                                                                                      | Эндоэффект | 950 – 1100 | Янги кристалл модданинг ҳосил бўлиши           |

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

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

|                                                                                                                         |            |           |                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Икки кальцийли силикат - $\gamma\text{-2CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                        | 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- $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{11}) \cdot (\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$                  | Эндоэффект | 100       | Адсорбиланган сувнинг йўқолиши                                              |
| Кальций гидросульфоалюминат<br>$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ | 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- $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6 \cdot \text{H}_2\text{O}$                          | Эндоэффект | 95        | Босқичли дегидратланиш                                                      |
|                                                                                                                         | Эндоэффект | 1083      | Сувсиз тузнинг суяқланиши                                                   |
| Гидрагиллит- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$                                                          | Эндоэффект | 250 - 300 | Қисман дегидратланиш, бемит ҳосил бўлиши                                    |
|                                                                                                                         | Эндоэффект | 500 – 550 | Бемитнинг дегидратланиши                                                    |
|                                                                                                                         | Экзоэффект | 800       | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ нинг $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ га ўтиши |
| Байерит (метастабил форма) – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$                                          |            | 310 – 315 | Қисман дегидратланиш, бемитга ўтиши                                         |
|                                                                                                                         |            | 500 – 550 | Бемитнинг бутунлайин дегидратланиш                                          |
|                                                                                                                         |            | 800       | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ нинг $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ га ўтиши |

|                                                                                                                    |            |             |                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бемит<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                                          | Эндоэффект | 460 – 580   | Дегидратланиш.<br>Конституцион<br>сувнинг чиқиши<br>ва кристалл<br>панжаранинг<br>бузилиши                     |
|                                                                                                                    | Экзоэффект | 850 - 950   | $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ нинг<br>$\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ га ўтиши                         |
| Гетит<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                                          | Эндоэффект | 300 – 420   | Дегидратланиш,<br>$\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиш                                                   |
|                                                                                                                    | Эндоэффект | 680         | Полиморф ўзга-<br>риш, $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>дан $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ га<br>ўтиш |
| Магнетит-<br>$\text{FeFe}_2\text{O}_4$                                                                             | Экзоэффект | 250 – 375   | Магнетитнинг<br>маггемит — $\gamma$ -<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиши                                      |
|                                                                                                                    | Экзоэффект | 590 – 650   | Маггемитнинг<br>гематит — $\gamma$ -<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиши                                       |
| Гематит-<br>$\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                                                     | Эндоэффект | 658         | Маггемит — $\gamma$ -<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3$ га ўтиш                                                       |
|                                                                                                                    | Эндоэффект | 1370 - 1400 | Магнетит —<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4$ га ўтиши                                                                 |
| Натрийли дала<br>шпати- $\beta$ - $\text{Na}_2\text{O} \cdot$<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$      | Эндоэффект | 1118        | Эриш                                                                                                           |
| Мусковит -<br>$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$<br>$6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Эндоэффект | 750 - 850   | Дегидратланиш                                                                                                  |
|                                                                                                                    | Эндоэффект | 1020 – 1090 | Кристалл пан-<br>жара парчала-<br>ниши                                                                         |
| Биотит -<br>$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}$<br>$3\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH}, \text{F})_2$      | Эндоэффект | 1160        | Кристалл пан-<br>жара парчала-<br>ниши                                                                         |
|                                                                                                                    | Экзоэффект | 1200        | Янги кристалл<br>модда ҳосил<br>бўлиши                                                                         |
| Брусит -<br>$\text{Mg}(\text{OH})_2$                                                                               | Эндоэффект | 400-550     | Дегидратланиш                                                                                                  |
| Ксонотлит -<br>$6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot$<br>$\text{H}_2\text{O}$                                     | Эндоэффект | 775-800     | Дегидратланиш                                                                                                  |

## Такрорлаш учун саволлар

1. Термография усулининг назарий асослари ким томонидан ишланган?
2. Термография усулига оид термик анализ усулларини санаб беринг.
3. Термик анализ деб қандай таҳлил турига айтилади?
4. Доломит минералининг термик таҳлиliga 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 зўргасуюлувчан материалларни таҳлил қилишда термография қандай вазифани ўтайди?
11. Термография усулларининг қандай амалий имкониятлари мавжуд?
12. Дифференциал термопарали Курнаков пирометрининг схемасини беринг?
13. Дериватограф қаерда ва қачон яратилган?
14. Тензиметр орқали қандай параметр аниқланади?
15. Газоволюметрия таҳлили орқали қандай параметр ўлчанади?
16. Дилатометр деганда қандай термик асбоб-ускуна тушунилади?
17. Термография усули препаратлари қандай қилиб тайёрланади?
18. Усул имкониятларини санаб беринг.
19. Термография усули қандай афзалликка эга?
20. Термография усулининг камчиликларини кўрсатинг.

## БЕШИНЧИ БОБ

### РЕНТГЕНОГРАФИК ТАҲЛИЛ

#### 39-§. Рентген нурларининг хоссалари

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

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

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

Рентген нурларини регистрация қилувчи ионизацион ва сцинтиляцион счётчикларнинг пайдо бўлиши ва такомиллаштирилиши, фотография усули яратилиши ва унда фокусловчи камера-монокроматорларнинг 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 осциллировкаланувчи 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 пан-жараларидан ёйилган кўпгина тўлқинлар ичида фақат кузгудан қайтарилиш қонунига бўйсинувчиларигина сақланиб қолади. Айнан қайтган нур ва атомли занжир ўртасидаги бурчак худди занжир ва тушаётган нур орасидаги бурчак сингари бўлиши керак. Ҳажмий кристаллар учун бу таъсир мураккаблашади.

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

Рентген нурлари квант нурлари қаторига киради, таъсири гамма нурлари кабидир. 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, солиштирма 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 ўзидан 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 ашёларни тадқиқот қилиш фани. У юқорида санаб ўтилган моддаларнинг атом, суб-, микро- ва макротузилмалари ҳамда кимёвий таркибини аниқ билишга хизмат қилади. Кимёвий модда ёки минерал атом даражасидаги тузилиши текширилади-ганда кристалл пан-жараларининг тури ва параметрларини аниқлаш имконини беради. Унинг асосий ютуқлари кристаллар, кристалл сингониялари, кристалл панжаралари каби терминларга келиб тақалади.

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

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

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

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

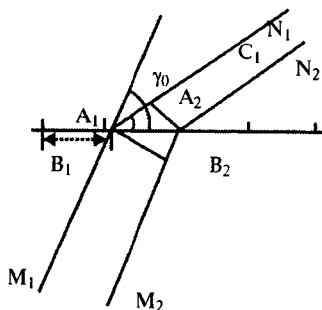
$\lambda$ -рентген нурлари тўлқин узунлиги,  $\overset{0}{A}$ ;

$d$ -кристалл панжарадаги атомлар юзаси орасидаги масофа;

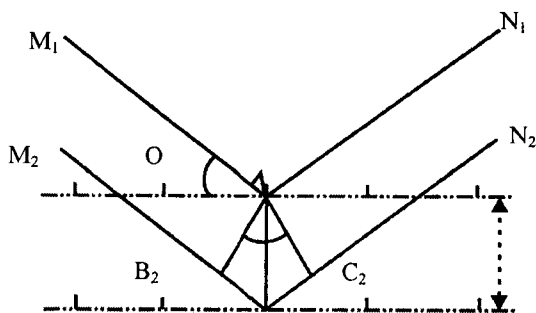
$\theta$ - атом юзасига тушаётган рентген нурлари тушиш бурчаги.

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.

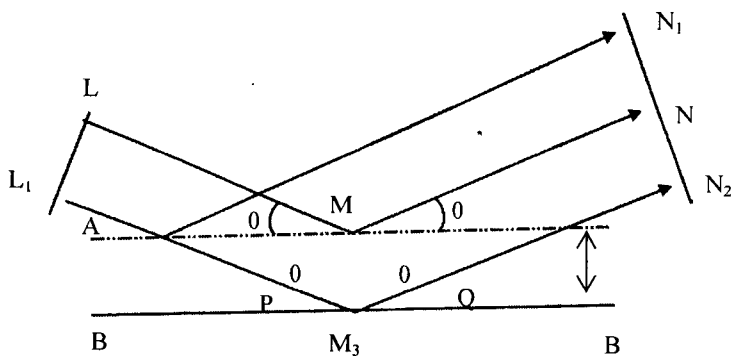
Рентген нурларининг синдириш қўрсаткичи бирга тенг деб қабул қилинган. Бу рақам рентген нурининг кристалл ташқарисидаги ва унинг ичидаги йўналишлари бир хил бўлади деган хулосани келтириб чиқаради.



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



40-расм. Вульф-Брегглар тенгламаси ечимига оид.



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

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

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

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

Ўз навбатида:

$$A_1 C_1 = b \cos \varphi_n \text{ ва } A_2 B_2 = b \cos \varphi_0, \\ n\lambda = b(\cos \varphi_n - \cos \varphi_0), \text{ бу ерада } n = 0, 1, 2, \dots$$

Уч координатали решеткада дифракция амалга ошиши учун бундай тенгликлар 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;

$\alpha_0$ ,  $\beta_0$ , ва  $\gamma_0$  -  $x$ ,  $y$  ва  $z$  оралиғидаги бурчаклар;

$\alpha_n, \beta_m$  ва  $\gamma_p$  - 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 шартни қуйидагича бўлади:

$$\cos \alpha_n = \cos \alpha_0, \\ \cos \beta_m = \cos \beta_0.$$

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

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

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

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

намоён этади. Нурнинг бир бўлаги юқоридаги юзадан қайтгач, пастроқда жойлашган юзалардан қайтган нурнинг бошқа 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 фотоплёнкада) 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 металллар юзасини бомбардимон қилишда рентген нурлари ҳосил бўлади. Электрон боғлари манбаи бўлиб трубадаги вольфрамдан қилинган спирал хизмат қилади, у 8-12 вольт қувватда ишлайди. Рентген нурлари манбаи эса антикатод. Электронларнинг тўсиқларсиз

ҳаракатини таъминлаш учун  $1,33 \cdot 10^{-4}$  -  $1,33 \cdot 10^{-6}$  нм<sup>-2</sup> ( $10^{-5}$ )  $10^{-7}$  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 А° ни, қаттиқ нурларда 0,6-0,06 А° ни ташкил этади. Аноддан келаётган рентген нурларнинг оқими (“оқ” рентген ёруғлиги) нурларнинг турли тўлқин узунликларида ташкил топган. “Оқ” рентген нурлари турли антикатодда ташкил топишидан қатъи назар ва пленкани тўла қоралашишини таъминлайди, яъни нурнинг тўла спектрларни ҳосил қилади. Одатий нурланишда эса алоҳида чизиқли спектрини беради ва у материал - антикатоднинг кристалл панжараси тузилишига боғлиқ. Катод электрони ўзининг бир қисм энергиясини антикатод материали атомларига беради, бунда атом ядросидан узоқроқдаги орбиталарга электронларнинг сакраши кузатилади. Олдин ютилган энергия эса монохроматик нурланиш шаклида орбитадан орбитага ўтиш жараёнида ажралиб чиқади.

Бир неча линиялардан ташкил топган нурланиш электронларни бир орбитадан бошқага ўтишидан юзага келувчи рентген нурларини ифодалайди. Улар берилган элемент - антикатод учун аниқ бўлади ва уни одатий спектрларини пайдо этади. Одатий линиялар сериялар ташкил этади ва К, L, М ва бошқа ҳарфлар билан белгиланади. Линия ичидаги сериялар  $K_{\alpha_2}$ ,  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$  лар билан белгиланади. Одатда,  $K_{\alpha}$ - 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: Си - 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<br>8 | 2 6 10<br>18 | 1        |            |

Рентген нурлари текшириляётган моддадан ўтаётганда унинг атомларини ионизациялашга сабабчи бўлади. Ионизация ходисасидан ионизацион счётчиклар 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 счётчиклар томонидан сиқиб чиқариляётган Гейгер – Мюллер счётчикларида топган.

Ёруғлик нурларига ўхшаш рентген нурлари фотопенкага 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 текисликлариаро масофани ҳисоблаш

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

Бунда модданинг ҳамма атомлари кристалл юза бўйлаб бир-биридан паралелл ва тенг узоқликда жойлашганлигини 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 шартин  $n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$ ,

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

Умуман олганда, рентгенография усулларида кристалл панжара текисликлариаро 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 пайдо бўлиши параллель сеткали юзалардан қайтаётган тўлқинларнинг бир-бирини интерференция ходисаси орқали кучайтиришига боғлиқ. Бу талаб дифракцияланувчи тўлқин узунлиги ( $\lambda$ ) ва сеткали юзага тушаётган нур бурчаги ( $\varphi$ ) нинг орасидаги маълум даражада боғланишга боғлиқ.

### 43-§. Текшириш усуллари

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

1. Жойидан қўзғалмайдиган монокристалларни текшириш усули - бунда тасвир 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 счётчик тешиги бажаради. Дифракцион шакл секин — аста, счётчик 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 кирази:

1. Рентгеноскопия - бемор экран билан рентген трубкиси 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 пленка автоматик ҳолатда сурилади.

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

#### **44-§. Рентгенографияда қўлланиладиган асосий ускуналар**

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

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

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

Ўзбекистонлик олимлар — проф. И.С.Канцепольский, Н.А. Сирожиддинов, 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 аппарatlари.** Уларга биринчи навбатда, УРС-60 ва УРС-55 аппарatlари киради:

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

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

УРС-55 аппарати БСВ-2 типдаги 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 курилмаси.** Универсал рентгентузилмавий курилма. 50 гц частота, 127 ёки 220 в кучланишда, ўзгарувчан ток манбаида ишлашга мосланган.

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

Курилма 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 чўглаш иплари ҳимояланган ва қаршиликлар ёрдамида бириктирилган. Бунда анод токи ўтишида керакли кучланиш ҳосил бўлади.

Аппарат 50 гц частотада ва 127 ёки 220 в кучланишда бир фазали манбага улашга мослаштирилган. Трубкаидаги қувват амплитудаси 45 кв; 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 шакллари 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°С 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°С гача ўтказиш мумкин. Намуналар бу жиҳозда вакуумда иссиқлик контакти ҳисобига совийди.

ДРОН-серияли аппаратлар: ДРОН-1, ДРОН-1,5, ДРОН-2, ДРОН-4, ДРОН-УМ1-0,1 ва 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 фокусли рентген аппарати ва бошқалар борлиги ҳамда уларнинг ишлаш асослари ёритилган. ДРОН ва УРС ларга УРНТ-180, КРН-190 ўрнатилса, паст ҳароратда иш олиб бориш мумкин. Юқори ҳароратда УРВТ-1300 ва УРВТ-1500 лар қўлланилади.

Тиббиётда қўлланиладиган рентген ускуналари. Улар уч синфга ажралган:

1. Россияда чиқарилган Рум-20 ва Рентген-50, Германияда чиқарилган Тур-Д-701 ва Тур-Д-1001, Чехия ва Словакияда яратилган Дуролюкс ва Венгрияда чиқарилган ЕДР-750 аппаратлари. Улар уч фазали олти ярим ўтказгич тўғриловчиларга эга бўлиб, максимал юқори 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 Неодиagnoмакс-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 реостати, юқори вольтли трансформатор, чўғланиш трансформатори, бошқарув пульти ва унинг зинапо्याли автотрансформатори ва бошқалар. Қуйида уларнинг тузилишига оид маълумотлар берилади.

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

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

Рентген трубкаларида рентген нурларини юзага келиш учун қуйидагилар таъминланиши керак:

- а) Озод электронларни ҳосил қилиш;
- б) Озод электронларни катта кинетик энергия билан таъминлаш (бир неча мингдан то 1-2 млн. электронвольтгача);
- в) Анод атомлари билан тез учувчан электронларнинг ўзаро таъсири.

Рентген трубкалари белгиларига қараб қуйидагича таснифланади:

1) Озод электронлар олиш усули бўйича. Бунда трубка ионли ва электронли тарзда фарқланади. Ион трубкаларда озод электронлар совуқ: катодни мусбат ионлар билан бомбордировка қилиш натижасида олинади. Бу вақтда ионли трубка ичида  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  мм қўрғошин столбчасига тенг бўшлиқ ҳосил этилиши ва катодга юқори кучланиш бериб юборилиши шарт. 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 сақлайди. Вакуумнинг ўзгариши трубкини ишдан чиққанлигини билдиради.

Йиғма трубкаларда бўшлиқ вакуум насос ёрдамида яратилади ва ушлаб турилади.

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

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

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

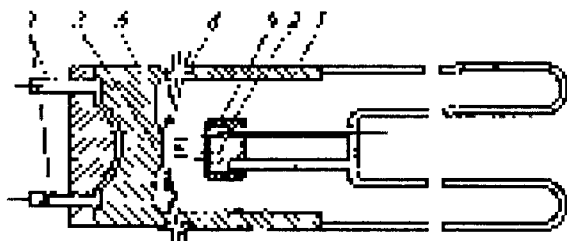
У шиша баллондан ташкил топган, унга иккита электрод киритилган: катод - қиздириладиган вольфрам симли спирал шаклида ва анод- тўла мисли трубка шаклида.

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

Вольфрам спирал 2100-2200pC 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 ажраётган иссиқликка сарфланади.

Тузилма таҳлили учун трубкадан чиқарилаётган нисбатан юмшоқ нур ( $1\text{ Å}$  ва кўпроқ тўлқин узунлигида) шишада жуда кучли ютилади. Шунинг учун трубка баллонига рентген нурларини чиқаришни таъминлаш учун енгил элементлар (берил-

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



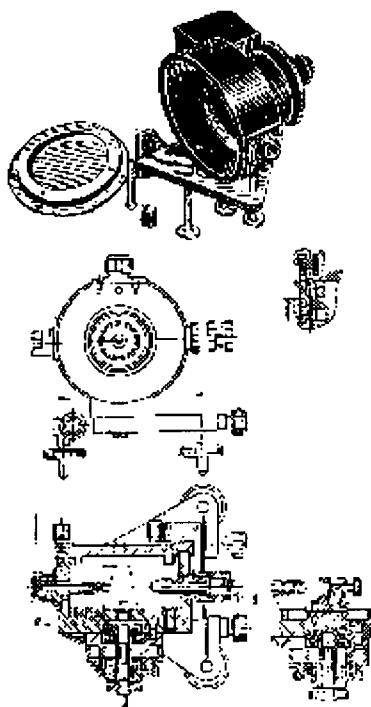
42-расм. Тузилма таҳлили учун ишлатиладиган БСВ-2-электрон рентген трубкаси: 1-балон; 2-катод; 3-анод; 4-йўналтирувчи қалпоқ; 5-мухофаза воситаси; 6-йўналтириш тешиклари; 7-совитиш тизими.

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

Спирал фокус қалпоқчасига жойлаштирилади. Қалпоқчанинг вазифаси трубка фокусини камайтириш ва катоддан анодга учаётган электрон пучок-арини торлантиришдан иборат. Трубка фокуси деб рентген нурлари ҳосил қилувчи электронлар тушадиган анод 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 ўқига нисбатан кесилган.



43-расм. РКД-57 камерасининг асосий қисмлари.

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

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

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

Қувват чегарасини ошириш мумкин эмас, сабаби анод қизиб кетади.

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

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

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

Тузилма қўрсаткичлари қуйидаги 18 - жадвалда кетирилади.

**2. Кенотрон (К).** У - тўғирловчи сифатида хизмат қилади ва кучлиниш ўзгаришида рентген трубкани ўчириб қўяди. Кенотрон ион трубкалари билан ишлашда 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<br>типи | Мак-<br>си-<br>мал<br>қув-<br>ват, вт | Нур-<br>те-<br>шик-<br>лари<br>сони | Фо-<br>кус<br>фор-<br>маси | Фо-<br>кус<br>ўлча-<br>ми,<br>мм | Фокус<br>проск-<br>цияси<br>ўлча-<br>ми, мм | Фокус<br>майдонига<br>солиш-<br>тирма<br>таъсир | Инте-<br>грал<br>интен-<br>син-<br>лик,<br>х10 <sup>3</sup> | Мисли<br>анод<br>кучла-<br>ниши,<br>кв | Мак-<br>симал<br>анод<br>токи,<br>та |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| БСВ-2          | 700                                   | 2                                   | тўғри                      | 1,2х<br>12                       | 1,2х1,2                                     | 48                                              | 327                                                         |                                        |                                      |
| БСВ-3          | 450                                   | 2                                   | - "                        | 1х2,5                            | -                                           | 22                                              |                                                             | 45                                     | 14                                   |
| БСВ-4          | 120                                   | 4                                   | ай-<br>ланма               | 3                                | 3х0,3                                       | 17                                              | 88                                                          |                                        |                                      |
| БСВ-5          | 20                                    | 2                                   | - "                        | 0,040                            | 0,04х<br>0,04                               | 4000                                            |                                                             |                                        |                                      |
| БСВ-6          | 450                                   | 2                                   | тўғри                      | 25х5                             | 2,5х0,5                                     | 36                                              | 304                                                         | 45                                     | 14                                   |
| БСВ-8          | 1000                                  | 2<br>1                              | - "                        | 1х12                             | 1х1,2<br>0,1х12                             | 83                                              | 454                                                         | 50                                     | 40                                   |
| БСВ-9          | 1500                                  | 2<br>1                              | - "                        | 2х12                             | 2х1,2<br>0,2х12                             | 63                                              | 170                                                         | 50                                     | 60                                   |
| БСВ-10         | 600                                   | 2<br>1                              | - "                        | 0,4х8                            | 0,4х0,8<br>0,04х8                           | 1900                                            |                                                             | 45                                     | 24                                   |

**3. Чўғлаш реостатлари (R<sub>нк</sub>, R<sub>нр</sub>).** Улар - кенотрон ва трубка катоди ток кучини бошқариш учун хизмат қилади. Шаҳар тармоғидаги катта бўлмаган тебраниш чўғлаш токини

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

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

**5.Чўғлаш трансформаторлари ( $T_{HP}$  и  $T_{HK}$ ).** Кенотрон ва рентген трубка симларини чўғлантириш учун ишлатилади. Вольфрамли катодли иплар  $2100^{\circ}\text{C}$  гача ва ундан юқорида қиздириш учун улардан 3-6 а ток ўтказилади. Бу ток чўғлаш трансформаторидан кенотронни 10-15 в ли ва рентген трубкасини 6-8 в ли қилиб пасайтириш учун берилади.

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

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

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

Рентген аппарати трубкасидан ўтаётган токни ўлчаш учун миллиамперметрдан фойдаланилади.

#### **46-§. Фотоусулнинг рентген камералари**

Текшириладиган 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 киради:

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

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

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

РКД-57 камерасининг асосий қисмларини қуйидагилар ташкил этади:

а) коллиматор—битта ёки бир нечта диафрагмадан ташкил топган бўлади. Улар тушаётган нурлар оқимининг 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. Дебаграмм съёмкаси учун мўлжалланган. Фокусловчи, поликристалларни прицизион решетки даврини аниқлаш учун.  $D=85,95$  мм,  $\theta$  расмга олиш  $=60-88^\circ$ ,  $16 \times 16$  мм ўлчамдаги картонга ёпиштирилган кукун ва камеранинг цилиндри юзаси бўйича айланмайди, цилиндр юзаси бўйича пленка ёйилади.

КРОС - дебаграмм олиш учун. Қарши съёмка учун. Поликристалл панжараси ўлчамларини прецизион аниқлаш, тузилмасининг мукамаллик даражаси, кассета юзаси оралиғидан  $25-100$  мм ли намуна юзасигача,  $\theta=54-85^\circ$ . Намуна ясси  $50 \times 60 \times 25$  мм гача ўлчамда, айланиши мумкин,  $150$  мм диаметри боғда перпиндикуляр ҳолатда кассета юзасига съёмка қилинади.

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

РКСО - монокристаллар лауэграммасини олиш учун, айланиш йўқ, кристалларнинг симметриясини полихроматик нурланишда съёмка қилиш ва уларни 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  $120 \times 100$  мм да тўғри ва  $100 \times 80$  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 дебаграмм олиш учун, фазовий таҳлил, монокристаллар занжири 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.  $D=171,9$  мм ёки  $57,3$  мм;  $\theta=12-89^\circ$  катта камерада;  $\theta=3-30^\circ$  ва  $60-87^\circ$  кичик камерада. Кукун картонга ёпиштирилган, 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. Қопқоғ 3 корпусга маҳкамланган ва 4 қопқоғ эса олиниши мумкин.

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

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

4) Намунани ушлаб турувчи 7 ва марказлаштирувчи мослама 8.

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

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

#### **47-§. Нурланишни ионизацион қайд этиш таҳлили аппаратлари**

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

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

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

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

Шундай қилиб, рентген дифрактограммаси бошқа рентгенограммалардан фарқ қилади;

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

Шунинг учун рентген дифрактограммаларини олиш ҳозирги кунда кенг тарқалган.

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

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

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

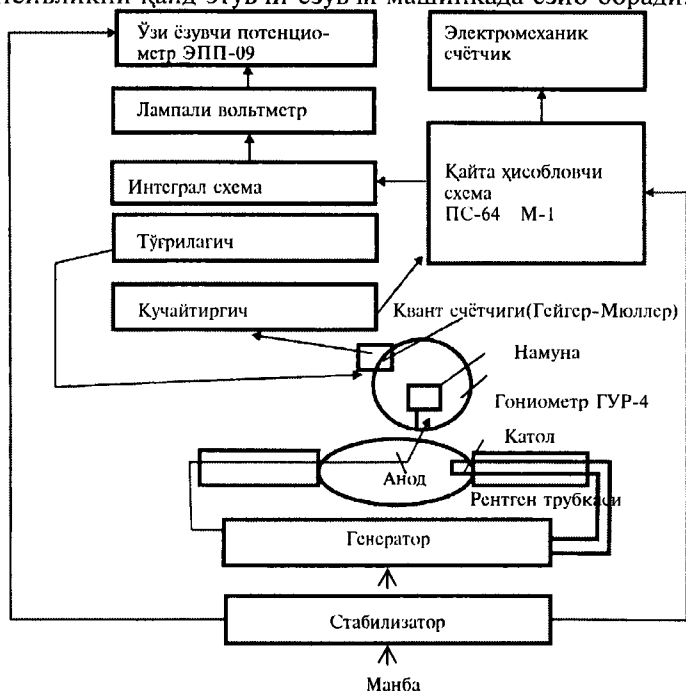
Дифрактометрларнинг техник кўрсаткичлари:

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

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

Аппаратларнинг техник маълумотлари:

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



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

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

3.Счѣтчикнинг 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 труblers ишлатилади. Уларнинг қувватлари БСВ-6 трубканинг қувватидан 2-3 марта юқори.

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

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

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

**АРС-4М дифрактометри** — рентген нурларини микрофокус-ли боғлари билан ва бошқалар.

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

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

## **48-§. Нурланиш детекторларининг қисқача тавсифи**

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

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

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

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

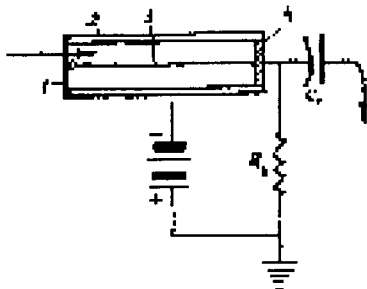
**Пропорционал счётчиклар.** 600-900 в ( $V_1-V_2$ ) потенциаллар фарқида электронлар тезлиги шунчалик ошадики, унда ток импульси кучаяди, иккинчи ионизацион эффект чарақлайди; бироқ бу ҳодиса кичик оралиқларда счётчик иплари билан чегараланган ва шунинг учун тез кучини йўқотади. Счётчикнинг кичик “ўлик 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 режимида ишловчи ионизацион счётчиклар пропорционалли деб аталади.

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

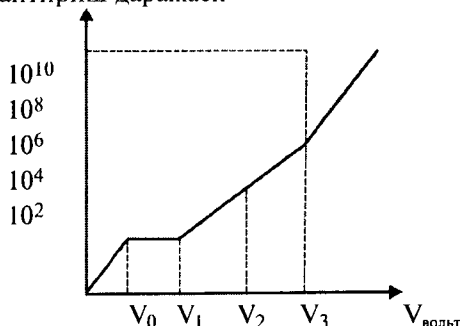
Бу нарса счётчикнинг “ўлик вақти” ни катталаштиради ва натижада ҳисобнинг максимал тезлиги  $5 \cdot 10^3$  импульс / секунд га камаяди.

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



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

Кучайтириш даражаси



46-расм. Газ ионизациясининг счётчикка йўналтирилган потенциаллар фарқига боғлиқлиги (Cu-K $_{\alpha}$  учун).

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

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

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

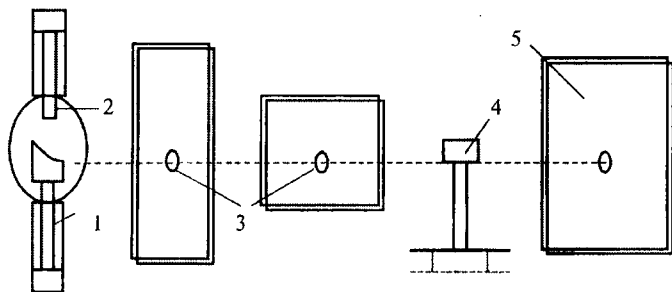
**1) Қўзғалмас монокристалл объектда лауэграмм олиш усули.** Лауэграмм монокристаллнинг сифати, унинг кристалл тузилмасининг такомиллиги, унда иккиёқлама ёки қонуниятсиз ўсишлар борлиги, рентген нурлари йўналишида кристалл симметрияларини баҳолашга имкон беради, лекин бу усул бўйича элементар ячейка ўлчамларини аниқлаш қийин. Бу мақсад учун аниқ кристаллографик йўналиш атрофида монокристаллни айлантириш ва тебраниш усуллари ишлатилади. Бунда монокромотик нурланишга тасвир қилишдаги такрорий давр аниқланади (47-расм).

**2) Монокристалл рентгенограммасини айланма ёки тебраниш орқали олиш усули.** Бу усулда 0,2-0,4 мм дан катта бўлмаган ўлчамдаги майда монокристаллар ишлатилади (48 ва 49-расмлар).

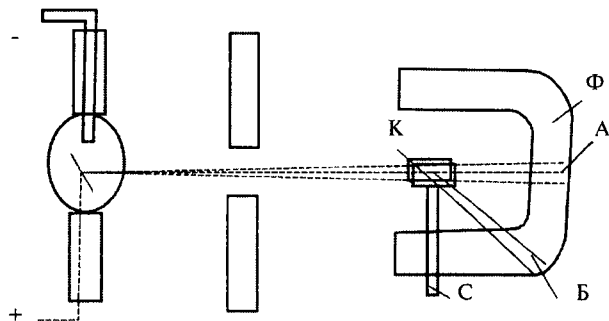
Усул панжара ёки кристаллар симметрияси даврини аниқлашда қўлланилади. Плёнка ёки пластинкадаги ёритилган нуқталарнинг интенсивлиги бўйича, бирикмаларнинг атомларининг жойлашиши, элементар ячейкаси ва ўлчамлари ҳақида хулоса қилинади.

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.

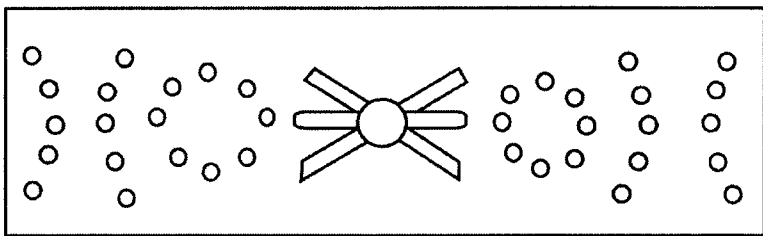
Нурланишни монохроматлаштириш учун дифференциал филътр ёки Росс филътри ишлатилади.



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



48-расм. Айланаётган монокристалл тасвирини олиш схемаси: Ф-плёнка; К — айланаётган кристалл; С — айланиш 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 кукунни билан ишлаш мумкин;
- б) текширишга мўлжалланган материални тайёрлаш оддийлиги;

в) тажриба ўтказишни оддийлиги.

Камчиликлари:

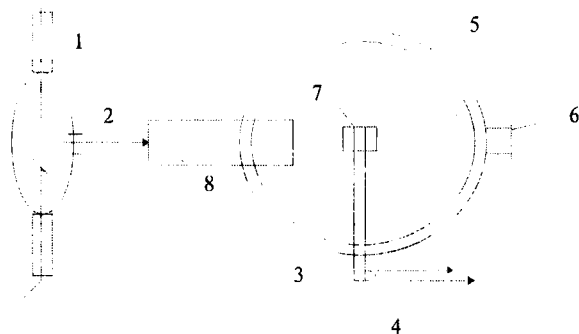
- а) бирмунча кичик аниқлик билан изоҳланади;
- б) тузилма ҳисобининг мураккаблиги;
- в) рентгенограммада линияларнинг тарқоқлиги.

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.

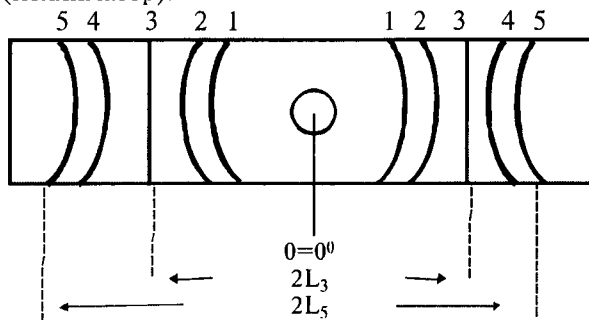
Текширилаётган моддада баъзи кристаллар мутлақо тартибсиз жойлашган, улар орасида ҳар доим Брэгг-Вульф шартига жавоб берувчи нур қайтариш юзасида жойлашган кристаллар бор. Шунинг учун намунали столни айлантириш шарт эмас ва фотографик пленкада марказий доғлар билан полоса қатори ҳосил бўлади. Бундай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

Бу усул намуналарини текширишга тайёрлаш. Улар қуйидагича амалга оширилади:

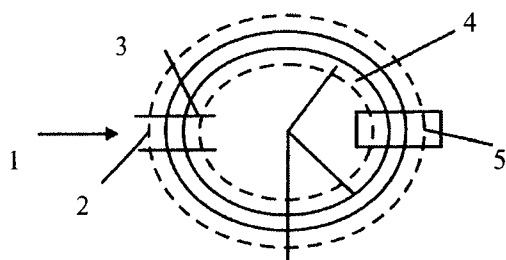
1) **Ҳавода ўзгарувчан намуналарни тайёрлаш.** Агар модда гигроскопик бўлса ва ҳаво кислороди билан реакцияга киришса, “Пирекс” ёки “гетан” шишалари (улар рентген нурларини кам ютади)дан нозик капилляр олинади, у олдиндан кукун ҳолатигача майдаланган бўлади.



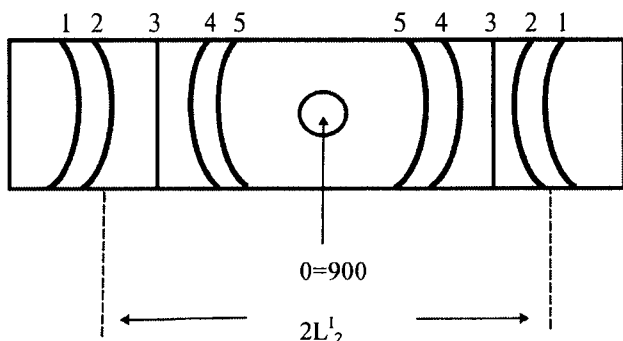
50-расм. Кукун усулида дебаеграмма олишнинг схематик қўриниши: 1-рентген трубкаси; 2-дарча; 3-намунани сақловчи қурилма, 4-намунани айлантириш механизми; 5-фотоплёнка; 6-ёритувчи экран тубуси билан; 7-намуна; 8-қўрғошинли диафрагма (коллиматор).



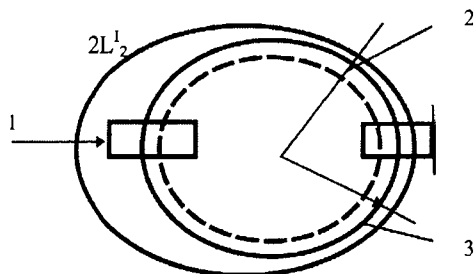
51-расм. Тўғридан-тўғри тасвир олиш усули плёнкасининг қўриниши.



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



53-расм. Цилиндрик камерада қайта тасвир туширишнинг кўриниши.



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

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

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

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

Кукун усулида 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  $4\theta$  орқали аниқланади (51-расм).

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

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

бу ердан,  $Q=2L_i \cdot 57,3 / 2D$ ;

$R$ -камера радиуси ва  $D$ -камера диаметри.

**б) Цилиндрик камерадаги қайта тасвир.** Пленканинг тугаган қисми камера диаметрига мос келади. У рентген нурларига перпендикуляр бўлади (53- ва 54-расм).

Линиялар бурчак  $\theta$  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) цилиндрик камерада шлиф тасвирини ҳосил қилиш.** Бунда қуйидагиларга қатъий риоя қилиш зарур:

а) намуна қия жойлашган:  $\theta = L_i \cdot 57,3 / D$ ;

б) намуна рентген боғига перпендикуляр жойлашган:

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

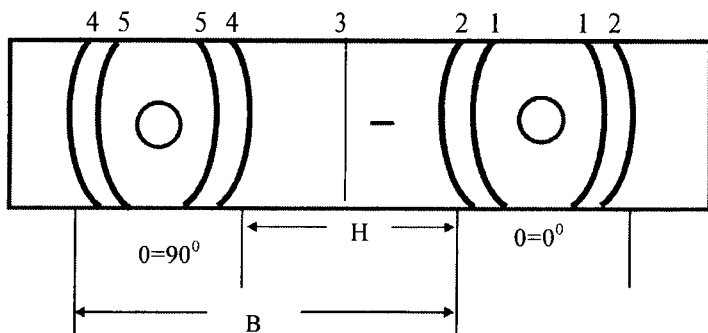
**в) Аксиал цилиндр камерада тасвир олиш.** Бу усулда камера ва намуна жойлашиши ҳамда рентген нури йўналиши қуйидагича бўлади (57-расм):

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

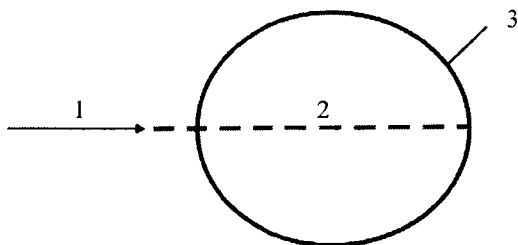
**г) Ясси плёнкага тасвир тушириш.** У ўз навбатида икки хил бўлади (58- расм):

1) нур ўтишида тўғридан-тўғри тасвир ҳосил қилиш;

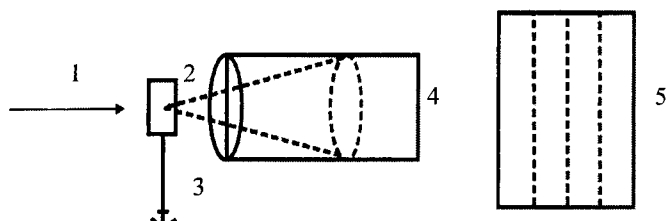
2) нур қайтишида тасвир тушириш.



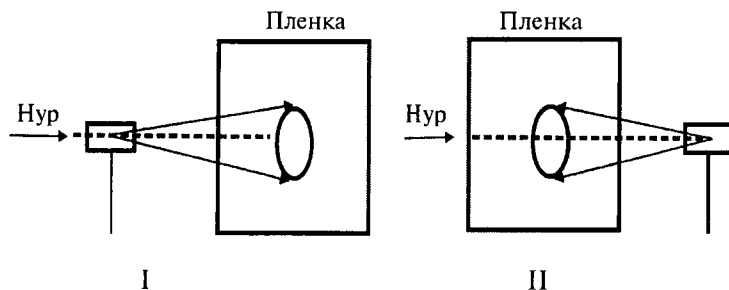
55-расм. Плёнкадаги асимметрик тасвир.



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 давом этди. Бу усул юқори аниқликка эга, аммо уни ишлатаётган илмий ходимдан ҳам рентгенография, ҳам фотографиядан юқори малака талаб қилади.

Кейинги 25-30 йил ичида фотоусулларда лауэграмма ва дебае-грамма олиш ўрнига нурланишни ионизацион қайд этишга асосланган дифрактограмма усуллари жорий этила бошланди. Бу усулларда иш олиб бориш махсус сўтчикларга 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 сўтчиги ёрдамида.
2. Сцинтилляцион сўтчиги ёрдамида.

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

Кристалл-фосфор (таллий билан активлаштирилган йодли натрий кристалли) ва фотоқўпайтиргичдан ташкил топган сцинтилляцион сўтчикларда Гейгер-Мюллер газли сўтчикларига нисбатан фон анча кичик бўлади. Шунинг учун уларнинг эффективлиги анча юқоридир.

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

1. Текширилаётган намунадан 5-10 г ажратиб олинади.
2. Агатли майдалагичда спирт ёрдамида майдаланади.
3. Ҳўл модда майдалагичда ёқиб юборилади ва қуруқ кукун олинади.
4. ДРОН маркали аппаратларига намуна - кукун жойланади.
5. Дифрактограмма олинади.
6. Дифрактограмма пиклари номерланади.
7. Пиклар ўлчами ва интенсивлиги аниқланади.
8. Топилган қийматлар махсус жадваллар ёрдамида d-га айлантирилади.

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

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

1. Инсон қонининг таркиби ўзгаради.

2. Ички органлар шикастланади.

3. Тери қавати қуяди.

Рентген нурлари билан ишлашда маъсул органлар томонидан белгиланган шарт-шароитларга қатъий амал қилиш талаб этилади:

1. Рентген аппаратларида ишлаш учун ёши 18 га кирмаганларга рухсат берилмайди.

2. Рентген аппаратларини созлаш ва тузатишга фақат махсус маълумоти бор кишиларгагина рухсат этилади.

3. Рентген аппарати жойлашган хоналарга бегона шахсларнинг киришига йўл қўйилмайди.

4. Рентген аппарати ишлаб турган вақтда унинг бўлакларига 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 қўллашни амалий имкониятлари жуда катта. Қуйида улардан асосийлари келтирилади:

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

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

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

б) бир турли минералларни турли типларини аниқлаш (биотит, 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 группаларини-элементар ячейкада молекула, ион, атомларнинг симметрик жойлашиши;

в) элементар ячейка ўлчамлари — параметралар: а, б ва с; бурчаклар:  $\alpha$ ,  $\beta$  ва  $\gamma$  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 ноаниқликлари 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  $1500^{\circ}\text{C}$  ли ҳарорат таъсирида рўй берувчи физик-кимёвий ўзгаришларни аниқлаш.

13. Минус  $190^{\circ}\text{C}$  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 %, электрик 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. Кристаллларнинг ўлчамларини аниқлаш имконияти. Поликристалл ўлчами ( $10^{-3}$ - $10^{-5}$  см оралиғида ётган бўлса рентгенограммада узлуксиз ва нозик чизиқлари қайд этилади.  $10^{-5}$  см дан кичик ўлчамли кристаллларнинг мавжудлиги чизиқларнинг “дифракцион кенгайиш”га олиб келади. Агар кристалллар йи-

рик донали ва  $10^{-3}$  дан катта бўлса, рентгенограмма донатор, яъни алоҳида нуқталардан ташкил топади. Чизикларда кузатилаётган иккала ўзгаришни ҳам кристаллларнинг 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. Текстуранинг аниқлаш имконияти (майда кристалл - агрегатларнинг йўналтириш қонуниятлари).

7. Усулнинг юқори даражада унумдорлиги (дифрактометрия);

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

9. Рентгенография усулининг таъсирида электронография ва нейтронография усуллариининг 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 микроноаниқликларни 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 тафаввут 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 таркибига аниқланган микрооаниқликлар

19-жадвал

| Тартиб | Шиша таркиби, мол. фоиз ҳисобида |                       |                     | Микрооаниқликлар радиуси, $\text{\AA}$ |
|--------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------------|
|        | $\text{SiO}_2$                   | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{MeO}$        |                                        |
| 1.     | 80                               | 10                    | 10 ( $\text{BaO}$ ) | 160                                    |
| 2.     | 80                               | 10                    | 10 ( $\text{CaO}$ ) | 195                                    |
| 3.     | 88,5                             | 11,5                  | -                   | 125                                    |

3. Фотоусулни қўллашда: фотографик операциялар ҳақида маълумотга эга бўлишлик ҳамда рентгенограммаларни фотометр усулида қайд этишнинг кераклилиги.

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

5. Чизиқларнинг ҳолатини аниқ ўлчашда юқори аниқликка эга бўлган гониометрни қўллашнинг зарурлиги ва муҳимлиги. Бу ҳолатда асбоб мураккаблашади ва қимматлашади.

6. Паст сингония (ромбик, моноклин ва триклин)ли моддалар — гидрагилит, байерит, диаспор, бемит, каолинит, диксит, накрит, монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, монотермит, галлуазит, пирофиллит, кальцит, доломит, гипс, ангидрит ва бошқаларни тузилмаларини расшифровка қилишнинг мураккаблиги.

7. Бир сингония ёки тузилмали ўхшаш бирикмаларни расшифровкаси қийинлиги. Масалан, флюорит ва сфалерит каби минераллар нафақат бир хил кубик сингонияга эга, балки уларнинг элементар ячейка ўлчамлари ҳам бир-бирига тенг:

$5,42 \text{ \AA}$ . Фақат юзаларора масофа  $d$  ва нур қайтариш интенсивлигини қийматларини нисбий баҳолаш билан минерални аниқ таҳлил этиш мумкин. Олинган натижа дебаеграмм стандартлари картотекаси ёки махсус чоп этилган китоблар (Михеев-1957 ва 1965 йиллар; Минераллар- 1965-1967 йиллар; Семенов- 1963 йил; Сидеренко- 1957 йил; Миркин- 1961 йил ва бошқалар) га солиштириш йўли билан олиб борилади.

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

рини аниқлашда уч диаграмма “a-N-d” бўйича ташхис қўйиш мумкин. Бу ерда, а - элементар ячейка ўлчами, N- нур синдириш кўрсаткичи ва d- гранитнинг солиштирма 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 ( $d_A$ ) ва чуққилар интенсивлиги ( $J_{100,10}$  ёки солиштирма таққослаш) га оид маълумотнома Л.И.Миркин [23], В.Н.Михеев [24], В.В.Тимашев [6], А.И.Китайгородский, Н.А.Торопов [36], И.И.Горбунов ва бошқа манбалар [5,29-35] келтирилган маълумотлардан фойдаланилган ҳолда қуйидаги 20- жадвалда келтирилади.

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

Текисликлараро масофа жадвалда ангстремда берилган. Агар фойдаланилган адабиётда у килоиксда берилган бўлса, у ҳолда  $1d_A^0 = 1,00202 \text{ кХ}$  тенгламаси ёрдамида килоикс ангстрем ўлчовига ўтказилган.

Чуққилар интенсивлиги жадвалда 3 кўринишда ўз ифодасини топган: бирдан юзгача ҳисобида; Иккинчи кўринишда интенсивлилик нолдан ўнгача ҳисобида ўтказилган. Учинчи кўринишда эса интенсивлилик нисбий бирликларда берилган: Кз — кучсиз, Ж.кз. — жуда кучсиз, Ж.ж.кз. — жуда-жуда кучсиз, 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                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                               | 2                                                            | 3                                           | 4                                                            | 5                                      | 6                                                               | 7                                    |
| Литий-Li                        | 2,48<br>1,75                                                 | 100<br>17                                   | 1,430<br>1,240                                               | 20<br>3                                | -<br>-                                                          | -<br>-                               |
| Li OH                           | 4,35<br>2,98<br>2,75<br>2,67<br>2,51                         | 33<br>20<br>100<br>23<br>13                 | 2,42<br>2,08<br>1,97<br>1,85<br>1,77                         | 17<br>3<br>3<br>5<br>7                 | 1,74<br>1,65<br>1,490<br>1,280<br>1,257                         | 3<br>7<br>7<br>3<br>3                |
| LiF                             | 2,32<br>2,00                                                 | 67<br>100                                   | 1,419<br>1,211                                               | 23<br>3                                | 1,160<br>-                                                      | 3<br>-                               |
| LiH                             | 2,357<br>2,041<br>1,444<br>-                                 | 54<br>100<br>40<br>-                        | 1,231<br>1,178<br>1,0204<br>-                                | 23<br>11<br>3<br>-                     | 0,9374<br>0,9130<br>0,8335<br>0,7859                            | 8<br>9<br>7<br>5                     |
| LiCl                            | 2,96<br>2,56<br>1,81<br>1,55<br>1,482                        | 100<br>100<br>60<br>32<br>12                | 1,283<br>1,178<br>1,148<br>1,048<br>0,989                    | 5<br>12<br>14<br>6<br>5                | 0,909<br>0,869<br>0,857<br>-<br>-                               | 2<br>3<br>2<br>-<br>-                |
| Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 4,16<br>3,80<br>3,02<br>2,91<br>2,80<br>2,62<br>2,47<br>2,42 | 63<br>5<br>5<br>50<br>100<br>25<br>10<br>38 | 2,26<br>2,07<br>1,86<br>1,81<br>1,61<br>1,59<br>1,57<br>1,54 | 18<br>3<br>13<br>3<br>3<br>5<br>5<br>5 | 1,51<br>1,460<br>1,422<br>1,389<br>1,350<br>1,311<br>1,280<br>- | 5<br>5<br>3<br>3<br>3<br>3<br>3<br>- |
| LiNO <sub>3</sub>               | 3,58<br>2,78<br>2,53<br>2,13                                 | 67<br>53<br>20<br>100                       | 1,371<br>1,355<br>1,255<br>1,194                             | 20<br>13<br>4<br>4                     | 1,008<br>0,982<br>0,932<br>0,927                                | 3<br>3<br>1<br>1                     |

|                                                   |                                                                                                |                                                              |                                                                                                 |                                                          |                                                                                         |                                                         |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                   | 1,95<br>1,72<br>1,53<br>1,420                                                                  | 1<br>11<br>27<br>1                                           | 1,140<br>1,117<br>1,082<br>1,025                                                                | 1<br>3<br>4<br>1                                         | 0,895<br>0,890<br>-<br>-                                                                | 1<br>1<br>-<br>-                                        |
| $\text{Li}_2\text{SO}_4$                          | 4,01<br>3,49<br>3,16<br>2,78<br>2,68<br>2,62<br>2,47<br>2,40<br>2,31                           | 100<br>11<br>40<br>6<br>3<br>5<br>13<br>6<br>6               | 2,20<br>2,09<br>2,01<br>1,95<br>1,88<br>1,81<br>1,77<br>1,67<br>1,60                            | 3<br>5<br>2<br>13<br>5<br>3<br>2<br>2<br>3               | 1,56<br>1,53<br>1,487<br>1,424<br>1,400<br>1,340<br>1,279<br>1,215<br>1,185             | 2<br>3<br>6<br>2<br>3<br>3<br>3<br>2<br>3               |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | 4,54<br>3,506<br>3,210<br>2,790<br>2,660<br>2,545<br>2,372<br>2,280<br>2,078<br>1,969<br>1,905 | 6<br>19<br>13<br>41<br>3<br>3<br>84<br>25<br>13<br>59<br>3   | 1,849<br>1,799<br>1,741<br>2,721<br>1,675<br>1,608<br>1,559<br>1,518<br>1,467<br>1,439<br>1,393 | 3<br>3<br>3<br>13<br>3<br>31<br>6<br>72<br>3<br>6<br>100 | 1,296<br>1,278<br>1,249<br>1,202<br>1,177<br>1,139<br>1,107<br>1,077<br>1,054<br>-<br>- | 3<br>6<br>13<br>25<br>3<br>19<br>3<br>6<br>13<br>-<br>- |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | 2,39<br>2,07<br>1,461<br>1,247<br>1,195<br>1,035                                               | 40<br>100<br>90<br>30<br>40<br>20                            | 0,949<br>0,925<br>0,845<br>0,798<br>0,732<br>0,690                                              | 10<br>50<br>40<br>10<br>10<br>20                         | 0,657<br>0,624<br>0,575<br>0,553<br>-<br>-                                              | 20<br>10<br>10<br>10<br>-<br>-                          |
| $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{CrO}_3$          | 7,0<br>5,3<br>4,39<br>4,10<br>3,70<br>3,50<br>3,27<br>3,15<br>2,85<br>2,64<br>2,54             | 16<br>5<br>32<br>100<br>5<br>32<br>20<br>13<br>32<br>24<br>8 | 2,47<br>2,32<br>2,22<br>2,14<br>2,08<br>2,01<br>1,94<br>1,84<br>1,80<br>1,73<br>1,69            | 10<br>8<br>3<br>5<br>2<br>3<br>8<br>11<br>2<br>3<br>6    | 1,64<br>1,60<br>1,56<br>1,52<br>1,57<br>1,420<br>1,367<br>1,343<br>1,215<br>1,113<br>-  | 2<br>3<br>3<br>2<br>2<br>13<br>5<br>3<br>2<br>2<br>-    |

|                                                              |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\text{Li}_2\text{CrO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$          | 6,6   | 40    | 2,76  | 100   | 1,70  | 7     |
|                                                              | 5,3   | 27    | 2,65  | 27    | 1,66  | 40    |
|                                                              | 4,78  | 83    | 2,55  | 27    | 1,63  | 40    |
|                                                              | 4,50  | 67    | 2,49  | 53    | 1,59  | 13    |
|                                                              | 4,25  | 83    | 2,37  | 53    | 1,53  | 7     |
|                                                              | 4,08  | 83    | 2,18  | 40    | 1,50  | 27    |
|                                                              | 3,70  | 67    | 2,10  | 27    | 1,452 | 40    |
|                                                              | 3,57  | 67    | 2,03  | 40    | 1,400 | 13    |
|                                                              | 3,38  | 40    | 1,92  | 13    | 1,370 | 7     |
|                                                              | 3,18  | 53    | 1,87  | 7     | 1,340 | 13    |
|                                                              | 3,07  | 100   | 1,81  | 27    | -     | -     |
|                                                              | 3,00  | 100   | 1,75  | 13    | -     | -     |
| $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 6,4   | 4     | 3,08  | 20    | 2,01  | 8     |
|                                                              | 5,4   | 60    | 2,86  | 20    | 1,76  | 8     |
|                                                              | 5,1   | 60    | 2,69  | 28    | 1,70  | 8     |
|                                                              | 4,31  | 50    | 2,58  | 12    | 1,65  | 12    |
|                                                              | 3,92  | 4     | 2,42  | 8     | 1,485 | 4     |
|                                                              | 3,72  | 60    | 2,36  | 8     | 1,350 | 4     |
|                                                              | 3,42  | 32    | 2,19  | 16    | -     | -     |
|                                                              | 3,19  | 100   | 2,12  | 12    | -     | -     |
| $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$            | 7,8   | 7     | 2,65  | 3     | 1,72  | 7     |
|                                                              | 5,1   | 67    | 2,48  | 3     | 1,70  | 7     |
|                                                              | 4,12  | 100   | 2,41  | 27    | 1,63  | 3     |
|                                                              | 3,84  | 58    | 2,33  | 3     | 1,59  | 7     |
|                                                              | 3,68  | 7     | 2,28  | 3     | 1,55  | 7     |
|                                                              | 3,54  | 67    | 2,18  | 7     | 1,490 | 7     |
|                                                              | 3,02  | 50    | 2,04  | 7     | 1,378 | 7     |
|                                                              | 2,93  | 33    | 1,91  | 7     | -     | -     |
|                                                              | 2,72  | 33    | 1,81  | 7     | -     | -     |
|                                                              |       |       |       |       |       |       |
| $\text{LiKSO}_4$                                             | 3,94  | Ж.ку. | 1,912 | Ж.кз. | 1,324 | Ж.кз. |
|                                                              | 3,09  | Ж.ку. | 1,642 | Ку.   | 1,286 | Ж.кз. |
|                                                              | 2,556 | Ж.ку. | 1,595 | Ж.кз. | 1,253 | У.    |
|                                                              | 2,423 | Кз.   | 1,560 | Ку.   | 1,223 | Ж.кз. |
|                                                              | 2,186 | Ж.ку. | 1,481 | Ку.   | 1,201 | Ж.кз. |
|                                                              | 1,970 | Ж.кз. | 1,369 | Кз.   | 1,187 | У.    |
| $\text{LiCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$                       | 3,82  | 10    | 1,94  | 3     | 1,275 | 1     |
|                                                              | 2,70  | 100   | 1,91  | 13    | 1,210 | 4     |
|                                                              | 2,58  | 3     | 1,86  | 1     | 1,155 | 1     |
|                                                              | 2,43  | 3     | 1,71  | 3     | 1,105 | 1     |
|                                                              | 2,21  | 5     | 1,57  | 20    | 1,025 | 2     |
|                                                              | 2,04  | 1     | 1,358 | 5     | -     | -     |

|                                                                                                                                          |                                                                                                                |                                                                     |                                                                                                                        |                                                                    |                                                                                                                        |                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $\beta$ - $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$                                                                                                    | 4,5904<br>3,9094<br>3,4884<br>3,1554<br>2,2938<br>2,2605                                                       | 5<br>25<br>100<br>11<br>8<br>9                                      | 2,1040<br>1,9293<br>1,8825<br>1,7404<br>1,6938<br>1,6438                                                               | 7<br>13<br>37<br>3<br>3<br>14                                      | 1,5406<br>1,4775<br>1,4502<br>1,4291<br>1,3208<br>1,2384                                                               | 7<br>3<br>10<br>6<br>12<br>11                                      |
| $\text{LiGaSi}_2\text{O}_6$                                                                                                              | 4,6333<br>3,9472<br>3,5074<br>3,1819<br>2,3130<br>2,2792                                                       | 8<br>30<br>100<br>12<br>24<br>12                                    | 2,1257<br>2,0955<br>1,9497<br>1,8899<br>1,7020<br>1,6598                                                               | 5<br>5<br>13<br>36<br>4<br>29                                      | 1,5500<br>1,4865<br>1,4629<br>1,4378<br>1,3342<br>1,2475                                                               | 8<br>5<br>15<br>7<br>18<br>17                                      |
| Амфибол —<br>$\text{Li}_3\text{Mg}_5\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}$<br>$\text{Al}_2(\text{OH})_4$<br>$\approx \text{Si}_{16}\text{O}_{44}$ | 7,98<br>4,85<br>4,39<br>3,63<br>3,30<br>3,19<br>2,97<br>2,80<br>2,70<br>2,64<br>2,53<br>2,46<br>2,418<br>2,282 | 4<br>1<br>4<br>4<br>6<br>6<br>10<br>6<br>6<br>6<br>8<br>1<br>1<br>4 | 2,212<br>2,095<br>2,031<br>1,952<br>1,856<br>1,798<br>1,736<br>1,712<br>1,590<br>1,572<br>1,522<br>1,487<br>1,472<br>- | 1<br>6<br>1<br>4<br>1<br>6<br>4<br>4<br>8<br>8<br>1<br>6<br>1<br>- | 1,444<br>1,423<br>1,395<br>1,351<br>1,337<br>1,312<br>1,276<br>1,257<br>1,239<br>1,176<br>1,163<br>1,135<br>1,084<br>- | 4<br>1<br>8<br>1<br>1<br>8<br>4<br>1<br>1<br>1<br>1<br>4<br>4<br>- |
| Манганси-<br>клерит —<br>(Li, Mn,<br>Fe...)<br>[PO <sub>4</sub> ]                                                                        | 5,064<br>4,295<br>3,859<br>3,494<br>3,069<br>2,778<br>-                                                        | 1<br>8<br>4<br>8<br>8<br>4<br>-                                     | 2,519<br>2,169<br>1,760<br>1,737<br>1,676<br>1,648<br>-                                                                | 10<br>4<br>8<br>8<br>4<br>4<br>-                                   | 1,624<br>1,477<br>1,353<br>1,323<br>1,149<br>1,103<br>1,070                                                            | 4<br>4<br>8<br>4<br>4<br>8<br>8                                    |
| Феррисик-<br>лерит-<br>(Li,<br>Fe..., Mn...)<br>[PO <sub>4</sub> ]                                                                       | 5,929<br>5,382<br>5,054<br>4,989<br>4,275                                                                      | 10<br>4<br>10<br>10<br>10                                           | 4,148<br>3,893<br>2,780<br>2,565<br>2,188                                                                              | 4<br>4<br>4<br>4<br>4                                              | 2,103<br>1,740<br>1,480<br>1,070<br>-                                                                                  | 10<br>1<br>10<br>10<br>-                                           |
| Натрий - Na                                                                                                                              | 3,02<br>2,13<br>-                                                                                              | 100<br>15<br>-                                                      | 1,75<br>1,51<br>-                                                                                                      | 20<br>5<br>-                                                       | 1,355<br>1,246<br>1,145                                                                                                | 5<br>3<br>3                                                        |

|                                 |       |     |        |    |        |    |
|---------------------------------|-------|-----|--------|----|--------|----|
| Na <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 3,43  | 8   | 2,18   | 60 | 1,62   | 12 |
|                                 | 3,22  | 12  | 2,11   | 4  | 1,57   | 25 |
|                                 | 2,96  | 80  | 2,02   | 14 | 1,52   | 8  |
|                                 | 2,85  | 2   | 1,95   | 40 | 1,482  | 16 |
|                                 | 2,70  | 20  | 1,88   | 40 | 1,451  | 6  |
|                                 | 2,60  | 60  | 1,83   | 2  | 1,418  | 4  |
|                                 | 2,54  | 60  | 1,79   | 4  | 1,388  | 8  |
|                                 | 2,36  | 100 | 1,71   | 25 | 1,347  | 4  |
|                                 | 2,25  | 40  | 1,67   | 12 | -      | -  |
|                                 |       |     |        |    |        |    |
| NaCl                            | 3,258 | 13  | 1,294  | 1  | 0,9401 | 3  |
|                                 | 2,821 | 100 | 1,261  | 11 | 0,8917 | 4  |
|                                 | 1,994 | 55  | 1,1515 | 7  | 0,8601 | 1  |
|                                 | 1,701 | 2   | 1,0855 | 1  | 0,8503 | 3  |
|                                 | 1,628 | 15  | 0,9969 | 2  | 0,8141 | 2  |
|                                 | 1,410 | 6   | 0,9533 | 1  | -      | -  |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 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  | -      | -  |

|                                                                       |      |     |       |     |       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|------|-----|-------|-----|-------|----|
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$                   | 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 |
| $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                     | 4,40 | 100 | 2,02  | 5   | 1,342 | 8  |
|                                                                       | 3,38 | 25  | 1,91  | 31  | 1,293 | 5  |
|                                                                       | 2,72 | 75  | 1,75  | 10  | 1,206 | 5  |
|                                                                       | 2,53 | 3   | 1,67  | 3   | 1,165 | 3  |
|                                                                       | 2,42 | 3   | 1,55  | 23  | 1,140 | 5  |
|                                                                       | 2,33 | 23  | 1,475 | 13  | 1,070 | 3  |
|                                                                       | 2,06 | 10  | 1,424 | 15  | 1,013 | 5  |
| $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$                     | 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  | -     | -  |
|                                                                       |      |     |       |     |       |    |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$                              | 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  | -     | -  |
| $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | 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 <sub>2</sub> O·CaO·<br>SiO <sub>2</sub>                                                        | 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 <sub>2</sub> O·2CaO·<br>3SiO <sub>2</sub>                                                      | 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 <sub>2</sub> O·CaO·<br>3SiO <sub>2</sub>                                                      | 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 -<br>α-форма<br>Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub> | 4,29  | 10  | 1,645 | 1  | 1,061 | 1  |
|                                                                                                   | 2,61  | 9   | 1,500 | 7  | 1,024 | 1  |
|                                                                                                   | 2,23  | 1   | 1,415 | 3  | 0,980 | 2  |
|                                                                                                   | 2,13  | 4   | 1,300 | 4  | 0,957 | 1  |
|                                                                                                   | 1,845 | 2   | 1,243 | 3  | -     | -  |
|                                                                                                   | 1,690 | 5   | 1,163 | 3  | -     | -  |
| Калий – K                                                                                         | 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 <sub>2</sub>                                                                                  | 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 <sub>3</sub>                                                                                  | 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 <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                  | 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                  | 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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                  | 7,0  | 2   | 2,31  | 8  | 1,67  | 2  |
|                                                                 | 5,5  | 2   | 2,18  | 6  | 1,61  | 3  |
|                                                                 | 3,39 | 6   | 2,09  | 14 | 1,55  | 2  |
|                                                                 | 2,97 | 16  | 1,99  | 10 | 1,50  | 2  |
|                                                                 | 2,80 | 100 | 1,85  | 8  | 1,410 | 5  |
|                                                                 | 2,61 | 32  | 1,77  | 3  | 1,345 | 2  |
|                                                                 | 2,37 | 16  | 1,70  | 3  | 1,307 | 2  |
|                                                                 |      |     |       |    |       |    |
| K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>                                 | 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 <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·5H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>                   | 4,83 | 10  | 2,53  | 15 | 1,86  | 5  |
|                                                                 | 3,68 | 50  | 2,45  | 5  | 1,77  | 10 |
|                                                                 | 3,45 | 50  | 2,38  | 5  | 1,70  | 5  |
|                                                                 | 3,29 | 100 | 2,29  | 5  | 1,66  | 5  |
|                                                                 | 3,02 | 75  | 2,24  | 5  | 1,58  | 5  |
|                                                                 | 2,85 | 63  | 2,18  | 5  | 1,450 | 5  |
|                                                                 | 2,75 | 5   | 2,14  | 5  | 1,400 | 5  |
|                                                                 | 2,69 | 5   | 2,04  | 25 | -     | -  |
|                                                                 | 2,62 | 20  | 1,90  | 5  | -     | -  |
|                                                                 |      |     |       |    |       |    |

|                                                              |                                                                              |                                                          |                                                                              |                                                       |                                                                            |                                                  |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $K_2O \cdot 12Al_2O_3$                                       | 4,45<br>3,48<br>3,13<br>2,80<br>2,69<br>2,505<br>2,405<br>2,24               | 19<br>3<br>3<br>41<br>50<br>59<br>31<br>25               | 2,135<br>2,07<br>2,03<br>1,973<br>1,935<br>1,835<br>1,744<br>1,653           | 41<br>3<br>41<br>13<br>13<br>6<br>9<br>3              | 1,596<br>1,563<br>1,482<br>1,416<br>1,397<br>1,346<br>1,262<br>1,240       | 50<br>41<br>6<br>25<br>100<br>31<br>3<br>13      |
| $K_2O \cdot Fe_2O_3$                                         | 4,58<br>2,80<br>1,98                                                         | 16<br>100<br>13                                          | 1,62<br>1,405<br>1,260                                                       | 32<br>8<br>6                                          | 1,150<br>1,062<br>0,940                                                    | 2<br>3<br>2                                      |
| $K_2TiO_3$                                                   | 7,0<br>3,46<br>3,32<br>3,01<br>2,76                                          | 17<br>7<br>3<br>20<br>100                                | 2,32<br>2,18<br>1,87<br>1,78<br>1,71                                         | 23<br>23<br>3<br>7<br>3                               | 1,64<br>1,60<br>1,52<br>1,480<br>1,392                                     | 3<br>3<br>3<br>3<br>3                            |
| $K_2UO_4$                                                    | 7,5<br>3,55                                                                  | 100<br>50                                                | 3,20<br>2,57                                                                 | 75<br>25                                              | 2,02<br>1,96                                                               | 25<br>25                                         |
| $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$                            | 4,24<br>4,01<br>3,85<br>3,69<br>3,49<br>3,35<br>3,25<br>3,03<br>2,94<br>2,88 | 38<br>20<br>20<br>20<br>15<br>25<br>100<br>13<br>25<br>8 | 2,76<br>2,61<br>2,52<br>2,43<br>2,33<br>2,16<br>2,10<br>2,02<br>1,98<br>1,92 | 10<br>15<br>13<br>13<br>8<br>25<br>3<br>3<br>10<br>10 | 1,85<br>1,80<br>1,73<br>1,65<br>1,61<br>1,57<br>1,54<br>1,51<br>1,468<br>- | 3<br>25<br>5<br>3<br>3<br>3<br>3<br>5<br>10<br>- |
| $K_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$                                 | 4,62<br>2,831<br>2,415<br>2,312<br>2,002<br>1,837                            | 40<br>100<br>40<br>30<br>60<br>20                        | 1,791<br>1,635<br>1,541<br>1,416<br>1,354<br>1,266                           | 10<br>60<br>30<br>40<br>20<br>40                      | 1,099<br>1,070<br>1,043<br>1,001<br>0,9437<br>0,9247                       | 30<br>60<br>30<br>10<br>40<br>40                 |
| Мусковит -<br>$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ | 10,03<br>5,02<br>4,52<br>3,89<br>2,505<br>3,342<br>3,204                     | 10<br>5<br>7<br>3<br>5<br>9<br>4                         | 2,125<br>2,056<br>1,987<br>1,944<br>1,868<br>1,728<br>1,647                  | 7<br>1<br>8<br>1<br>2<br>1<br>8                       | 1,352<br>1,335<br>1,320<br>1,297<br>1,272<br>1,246<br>1,221                | 8<br>5<br>1<br>8<br>4<br>8<br>4                  |

|                                    |                                                                      |                                                |                                                                      |                                               |                                                                               |                                            |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                    | 3,095<br>2,862<br>2,783<br>2,568<br>2,471<br>2,374<br>2,250<br>2,186 | 6<br>7<br>5<br>10<br>2<br>7<br>2<br>3          | 1,596<br>1,555<br>1,519<br>1,498<br>1,472<br>1,448<br>1,427<br>1,410 | 3<br>4<br>4<br>10<br>1<br>2<br>3<br>1         | 1,206<br>1,193<br>1,159<br>1,130<br>1,115<br>1,104<br>1,045<br>-              | 2<br>2<br>3<br>2<br>6<br>2<br>5<br>-       |
| Мис-<br>Cu                         | 2,08<br>1,81                                                         | 100<br>53                                      | 1,277<br>1,089                                                       | 33<br>33                                      | 1,043<br>0,905                                                                | 9<br>3                                     |
| Cu <sub>2</sub> O                  | 3,00<br>2,45<br>2,12<br>1,51                                         | 3<br>100<br>31<br>44                           | 1,283<br>1,228<br>1,065<br>0,977                                     | 31<br>5<br>3<br>5                             | 0,953<br>0,869<br>0,819<br>-                                                  | 3<br>3<br>3<br>-                           |
| CuO                                | 2,51<br>2,31<br>1,85<br>1,70<br>1,57                                 | 100<br>100<br>20<br>8<br>8                     | 1,50<br>1,408<br>1,370<br>1,298<br>1,258                             | 15<br>20<br>20<br>5<br>10                     | 1,159<br>1,086<br>1,007<br>0,978<br>0,885                                     | 5<br>3<br>3<br>3<br>3                      |
| CuF <sub>2</sub>                   | 3,127<br>2,708<br>2,150<br>1,633                                     | 100<br>6<br>49<br>28                           | 1,3539<br>1,2425<br>1,1055<br>1,0424                                 | 3<br>5<br>5<br>3                              | 0,9574<br>0,9156<br>0,8564<br>-                                               | 1<br>2<br>1<br>-                           |
| Cu SO <sub>4</sub>                 | 4,20<br>3,92<br>3,55<br>2,62<br>2,41<br>2,31<br>2,08<br>2,01<br>-    | 53<br>3<br>53<br>100<br>40<br>9<br>5<br>3<br>- | 1,96<br>1,77<br>1,67<br>1,58<br>1,55<br>1,461<br>1,430<br>1,400<br>- | 12<br>33<br>9<br>13<br>8<br>1<br>27<br>3<br>- | 1,375<br>1,305<br>1,290<br>1,243<br>1,210<br>1,182<br>1,150<br>1,096<br>1,076 | 11<br>3<br>1<br>1<br>3<br>1<br>3<br>4<br>4 |
| CuO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,85<br>2,43<br>2,01                                                 | 33<br>100<br>27                                | 1,85<br>1,64<br>1,55                                                 | 7<br>7<br>20                                  | 1,423<br>1,230<br>-                                                           | 67<br>7<br>-                               |
| CuO·B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 6,4<br>5,3<br>3,88<br>3,17<br>2,91                                   | 44<br>78<br>100<br>33<br>22                    | 2,66<br>2,51<br>2,37<br>2,17<br>1,95                                 | 33<br>100<br>11<br>11<br>11                   | 1,73<br>1,58<br>1,55<br>1,53<br>1,425                                         | 33<br>11<br>11<br>11<br>11                 |
| CuO·Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,65<br>2,85                                                         | 15<br>25                                       | 1,64<br>1,55                                                         | 10<br>31                                      | 1,160<br>1,076                                                                | 3<br>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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>    | 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 <sub>3</sub>                  | 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 <sub>2</sub> O·MoO <sub>3</sub> | 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 <sub>3</sub> In <sub>2</sub>   | 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 <sub>34</sub> Sn <sub>66</sub> | 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 <sub>2</sub>                 | 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 -<br>Be                  | 1,97  | 20    | 1,328 | 12    | 0,983 | 2     |
|                                   | 1,79  | 14    | 1,137 | 12    | 0,963 | 8     |
|                                   | 1,73  | 100   | 1,022 | 12    | 0,955 | 6     |
| BeO                               | 2,34  | 80    | 1,170 | 4     | 0,870 | 2     |
|                                   | 2,19  | 50    | 1,150 | 20    | 0,822 | 8     |
|                                   | 2,06  | 100   | 1,130 | 4     | 0,780 | 3     |
|                                   | 1,59  | 24    | 1,032 | 3     | 0,758 | 8     |
|                                   | 1,350 | 32    | 0,915 | 8     | -     | -     |
|                                   | 1,239 | 32    | 0,884 | 2     | -     | -     |
|                                   |       |       |       |       |       |       |

|                                         |                                                                                      |                                                      |                                                                                              |                                                      |                                                                                             |                                                     |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Be<sub>2</sub>C</b>                  | 2,502<br>2,171<br>1,535                                                              | 98<br>1<br>100                                       | 1,309<br>1,0860<br>0,9959                                                                    | 16<br>15<br>7                                        | 0,9709<br>0,8863<br>0,8356                                                                  | 2<br>41<br>11                                       |
| <b>BeS</b>                              | 2,807<br>2,432<br>1,718<br>1,466<br>1,404                                            | 100<br>31<br>39<br>32<br>10                          | 1,216<br>1,115<br>1,087<br>0,9924<br>0,9357                                                  | 5<br>13<br>10<br>13<br>12                            | 0,8595<br>0,8219<br>0,8104<br>-<br>-                                                        | 7<br>18<br>13<br>-<br>-                             |
| <b>BeSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O</b> | 5,7<br>3,90<br>3,40<br>3,20<br>3,06<br>2,84<br>2,52<br>2,42                          | 13<br>100<br>13<br>20<br>1<br>3<br>53<br>1           | 2,30<br>2,23<br>2,17<br>2,00<br>1,94<br>1,88<br>1,84<br>1,78                                 | 1<br>1<br>17<br>4<br>3<br>13<br>7<br>5               | 1,70<br>1,60<br>1,490<br>1,458<br>1,414<br>1,330<br>-<br>-                                  | 3<br>5<br>4<br>8<br>4<br>4<br>-<br>-                |
| <b>BeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>  | 4,47<br>4,03<br>3,60<br>3,24<br>2,85<br>2,57<br>2,33<br>2,26<br>2,08<br>1,98<br>1,88 | 4<br>6<br>5<br>8<br>4<br>8<br>8<br>7<br>10<br>2<br>2 | 1,80<br>1,65<br>1,61<br>1,555<br>1,513<br>1,462<br>1,362<br>1,338<br>1,296<br>1,257<br>1,215 | 6<br>4<br>10<br>2<br>5<br>5<br>8<br>4<br>7<br>7<br>4 | 1,190<br>1,160<br>1,140<br>1,105<br>1,078<br>1,061<br>1,056<br>1,040<br>1,021<br>1,003<br>- | 4<br>4<br>5<br>5<br>6<br>6<br>2<br>7<br>2<br>6<br>- |
| <b>Магний -<br/>Mg</b>                  | 2,77<br>2,60<br>2,45<br>1,90<br>1,60<br>1,471<br>1,378                               | 30<br>25<br>100<br>20<br>20<br>30<br>18              | 1,341<br>1,303<br>1,225<br>1,180<br>1,084<br>1,030<br>1,010                                  | 13<br>3<br>3<br>3<br>4<br>7<br>3                     | 0,974<br>0,925<br>0,898<br>0,870<br>0,763<br>0,740<br>-                                     | 4<br>1<br>3<br>1<br>1<br>1<br>-                     |
| <b>MgO</b>                              | 2,42<br>2,10<br>1,485<br>1,266                                                       | 6<br>100<br>75<br>6                                  | 1,213<br>1,050<br>0,963<br>0,940                                                             | 15<br>4<br>1<br>10                                   | 0,937<br>0,860<br>0,854<br>-                                                                | 5<br>4<br>2<br>-                                    |

|                                          |                                                                                       |                                                                    |                                                                                        |                                                                               |                                                                                              |                                                                                           |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Магнезит -<br>$\text{MgCO}_3$            | 3,53<br>2,737<br>2,500<br>2,316<br>2,101<br>1,935<br>1,766<br>1,697<br>1,503<br>1,485 | 2<br>10<br>5<br>4<br>9<br>6<br>2<br>10<br>3<br>5                   | 1,404<br>1,367<br>1,352<br>1,336<br>1,249<br>1,237<br>1,200<br>1,189<br>1,156<br>1,126 | 5<br>1<br>6<br>7<br>3<br>2<br>2<br>5<br>1<br>1                                | 1,100<br>1,065<br>1,049<br>1,012<br>0,9671<br>0,9554<br>0,9496<br>0,9443<br>0,9171<br>0,9120 | 3<br>8<br>5<br>2<br>7<br>7<br>1<br>5<br>6<br>10                                           |
| $\text{MgSO}_4$                          | 4,18<br>3,55<br>3,35<br>3,18<br>2,64<br>2,45<br>2,35                                  | 4<br>100<br>2<br>2<br>30<br>20<br>4                                | 2,30<br>2,15<br>2,02<br>1,97<br>1,81<br>1,77<br>1,68                                   | 25<br>4<br>4<br>8<br>4<br>12<br>6                                             | 1,55<br>1,51<br>1,454<br>1,409<br>1,382<br>1,275<br>-                                        | 4<br>2<br>6<br>2<br>2<br>6<br>-                                                           |
| Брусит -<br>$\text{Mg}(\text{OH})_2$     | 4,77<br>2,725<br>2,365<br>1,794<br>1,573<br>1,494<br>1,373<br>1,363<br>-              | Ж.ку.<br>Ж.кз.<br>Ж.ж.ку.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ж.ж.кз.<br>- | 1,310<br>1,192<br>1,183<br>1,118<br>1,092<br>1,034<br>1,030<br>1,0067<br>-             | Ў.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Кз.<br>- | 0,9543<br>0,9503<br>0,9455<br>0,9085<br>0,9001<br>0,8974<br>0,8923<br>0,8156<br>0,7865       | Ж.ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз. |
| $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$          | 6,33<br>4,41<br>3,303<br>3,167<br>2,941<br>2,876<br>2,825                             | 1<br>14<br>35<br>100<br>44<br>87<br>23                             | 2,706<br>2,534<br>2,494<br>2,471<br>2,358<br>2,280<br>2,252                            | 26<br>43<br>51<br>31<br>7<br>5<br>7                                           | 2,232<br>2,114<br>2,096<br>2,058<br>2,019<br>1,984<br>1,958                                  | 7<br>24<br>21<br>13<br>10<br>13<br>24                                                     |
| $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$         | 5,1<br>3,89<br>3,72<br>3,49<br>2,99<br>2,77<br>2,51<br>-                              | 1<br>40<br>5<br>20<br>13<br>40<br>32<br>-                          | 2,45<br>2,26<br>2,15<br>2,02<br>1,95<br>1,88<br>1,81<br>-                              | 40<br>40<br>11<br>2<br>2<br>3<br>3<br>-                                       | 1,74<br>1,67<br>1,62<br>1,57<br>1,490<br>1,395<br>1,350<br>1,315                             | 100<br>10<br>11<br>8<br>32<br>20<br>28<br>10                                              |
| $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | 4,67<br>2,858<br>2,436<br>2,333<br>2,021<br>1,649                                     | 4<br>40<br>100<br>3<br>58<br>10                                    | 1,366<br>1,278<br>1,232<br>1,218<br>1,1662<br>1,1312                                   | 3<br>2<br>9<br>1<br>7<br>2                                                    | 1,0100<br>0,9522<br>0,9330<br>0,9034<br>0,8869<br>0,8613                                     | 5<br>3<br>10<br>6<br>1<br>1                                                               |

|                                                             |                                                              |                                               |                                                                  |                                            |                                                                      |                                          |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                             | 1,555<br>1,429                                               | 45<br>58                                      | 1,0796<br>1,0518                                                 | 4<br>12                                    | 0,8469<br>0,8247                                                     | 10<br>20                                 |
| MgO·B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                           | 7,7<br>6,1<br>5,3<br>4,29<br>3,57<br>3,18<br>3,07<br>2,82    | 12<br>16<br>8<br>24<br>12<br>12<br>80<br>100  | 2,18<br>2,07<br>1,99<br>1,99<br>1,86<br>1,77<br>1,71<br>1,63     | 24<br>32<br>40<br>8<br>12<br>8<br>8<br>12  | 1,50<br>1,445<br>1,412<br>1,375<br>1,262<br>1,151<br>-<br>-          | 8<br>8<br>8<br>8<br>16<br>8<br>-<br>-    |
| MgCa(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                         | 3,71<br>2,89<br>2,68<br>2,55<br>2,40<br>2,19<br>2,06<br>2,02 | 2<br>100<br>2<br>2<br>13<br>40<br>2<br>20     | 1,85<br>1,80<br>1,57<br>1,55<br>1,50<br>1,468<br>1,418<br>1,389  | 2<br>40<br>2<br>10<br>1<br>6<br>1<br>8     | 1,337<br>1,300<br>1,270<br>1,237<br>1,202<br>1,172<br>-<br>-         | 2<br>1<br>1<br>2<br>1<br>1<br>-<br>-     |
| MgO·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 4,82<br>2,96<br>2,52<br>2,09<br>1,71<br>1,61<br>1,48<br>1,32 | 50<br>50<br>100<br>50<br>30<br>70<br>90<br>10 | 1,28<br>1,12<br>1,09<br>1,04<br>0,983<br>0,964<br>0,933<br>0,891 | 20<br>20<br>40<br>20<br>10<br>3<br>10<br>5 | 0,876<br>0,853<br>0,820<br>0,808<br>0,762<br>0,753<br>-<br>-         | 20<br>40<br>10<br>10<br>5<br>5<br>-<br>- |
| 2 MgO·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                         | 4,14<br>3,85<br>3,45<br>3,00<br>2,51<br>2,40<br>2,30<br>2,15 | 10<br>4<br>5<br>100<br>8<br>5<br>1<br>2       | 2,09<br>1,85<br>1,69<br>1,62<br>1,57<br>1,51<br>1,465<br>1,380   | 15<br>10<br>8<br>7<br>10<br>1<br>7<br>6    | 1,322<br>1,250<br>1,206<br>1,155<br>1,131<br>1,073<br>1,044<br>1,002 | 7<br>5<br>2<br>1<br>1<br>1<br>3<br>2     |
| Серпентин-<br>3MgO·2SiO <sub>2</sub> ·<br>2H <sub>2</sub> O | 7,38<br>4,619<br>3,661<br>2,625<br>2,487<br>2,141<br>1,966   | 10<br>4<br>10<br>4<br>10<br>8<br>4            | 1,789<br>1,738<br>1,655<br>1,530<br>1,500<br>1,411<br>-          | 6<br>2<br>2<br>10<br>8<br>6<br>-           | 1,304<br>1,277<br>1,164<br>1,100<br>1,074<br>1,057<br>-              | 8<br>6<br>4<br>2<br>2<br>2<br>-          |

|                                                                                                                                                                                                                                                          |       |       |      |       |      |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| Вермикулит -<br>(Mg, Fe) <sub>3</sub> [(Al,<br>Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ] <sup>-</sup><br>(OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                                                                                                                   | 11,38 | Ку.   | 2,66 | Ку.   | 1,40 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 8,00  | Ж.кз. | 2,43 | Ў.ку. | 1,39 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,91  | Ж.кз. | 2,19 | Ў.    | 1,36 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,88  | Кз.   | 2,03 | Ў.    | 1,34 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,54  | Ў.    | 1,75 | Кз.   | 1,31 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,45  | Ку.   | 1,70 | Ку.   | 1,28 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,22  | Ж.кз. | 1,53 | Ж.ку. | -    | -     |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,05  | Ж.кз. | 1,52 | Ж.кз. | -    | -     |
| Тальк -<br>3MgO·4SiO <sub>2</sub> ·<br>H <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                  | 11,50 | Ж.кз. | 2,91 | Ў.    | 1,71 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 8,96  | Ж.ку. | 2,80 | Ў.    | 1,59 | Ў.ку. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,68  | Ж.кз. | 2,66 | Ў.    | 1,55 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,09  | Ж.кз. | 2,54 | Ку.   | 1,50 | Кз.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,18  | Ж.кз. | 2,38 | Кз.   | 1,42 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,50  | Ў.    | 2,25 | Ў.    | 1,35 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,44  | Ў.    | 2,16 | Ў.    | 1,33 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,30  | Ж.кз. | 1,90 | Ку.   | 1,31 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,18  | Ж.ку. | 1,75 | Кз.   | 1,29 | Кз.   |
| Нонтронит -<br>mMg <sub>3</sub><br>(Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) <sup>-</sup><br>(OH) <sub>2</sub> · $\frac{1}{2}$ p[Fe,<br>Al] <sub>2</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) <sup>-</sup><br>(OH) <sub>2</sub> · $\frac{1}{2}$ nH <sub>2</sub> O | 7,11  | Ж.кз. | 2,62 | Ку.   | 1,53 | Ж.ку. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,38  | Ж.кз. | 2,32 | Ж.кз. | 1,49 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,98  | Ж.кз. | 2,07 | Ж.кз. | 1,32 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,52  | Ку.   | 2,00 | Ж.кз. | 1,26 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,54  | Ж.кз. | 1,72 | Ў.    | -    | -     |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,28  | Ж.кз. | 1,69 | Ку.   | -    | -     |
| Монотермит<br>-<br>0,2RO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>3SiO <sub>2</sub> ·1,5H <sub>2</sub> O<br>(+0,5H <sub>2</sub> O)                                                                                                                            | 9,60  | Ж.кз. | 3,15 | Ж.кз. | 1,53 | Ў.ку. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,80  | Ж.кз. | 2,53 | Ку.   | 1,48 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,70  | Кз.   | 2,43 | Ж.кз. | 1,40 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,60  | Кз.   | 2,32 | Ў.    | 1,36 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,35  | Ў.    | 2,06 | Ў.    | 1,33 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,17  | Ў.кз. | 1,97 | Ў.    | 1,29 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,78  | Ж.кз. | 1,79 | Ў.ку. | 1,19 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,43  | Ў.    | 1,71 | Ж.кз. | 1,15 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 3,26  | Ж.ку. | 1,64 | Ку.   | -    | -     |
| Палигорскит<br>-<br>MgAl <sub>2</sub><br>[Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sup>-</sup><br>(OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O·<br>nH <sub>2</sub> O                                                                                                   | 10,40 | Ў.    | 3,80 | Ж.кз. | 1,69 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,70  | Кз.   | 3,44 | Кз.   | 1,58 | Ў.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,12  | Кз.   | 3,23 | Ў.ку. | 1,52 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,50  | Кз.   | 2,62 | Ж.ку. | 1,31 | Ку.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,46  | Ў.кз. | 2,20 | Ў.ку. | 1,26 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,10  | Ж.кз. | 1,75 | Ў.    | -    | -     |
| Сепиолит -<br>Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sup>-</sup><br>nH <sub>2</sub> O                                                                                                                                                       | 9,87  | Ж.кз. | 3,76 | Ў.    | 2,25 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 9,04  | Кз.   | 3,31 | Ку.   | 2,20 | Ў.    |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,90  | Ж.кз. | 3,10 | Кз.   | 1,80 | Ж.кз. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 6,50  | Ж.кз. | 2,62 | Ж.кз. | 1,52 | Ж.ку. |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 5,62  | Ж.кз. | 2,58 | Ж.ку. | 1,30 | Кз.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,44  | Ў.    | 2,30 | Ж.кз. | 1,27 | Кз.   |
|                                                                                                                                                                                                                                                          | 4,12  | Ў.    | -    | -     | -    | -     |

|                                                                                            |       |        |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Антофиллит -<br>$7\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$                 | 9,4   | 8      | 2,75  | 8     | 1,542 | 7     |
|                                                                                            | 9,1   | 9      | 2,52  | 4     | 1,498 | 3     |
|                                                                                            | 8,25  | 10     | 2,350 | 2     | 1,443 | 3     |
|                                                                                            | 5,05  | 3      | 2,252 | 2     | 1,319 | 2     |
|                                                                                            | 4,51  | 4      | 2,026 | 1     | 1,221 | 2     |
|                                                                                            | 4,13  | 6      | 1,982 | 3     | 1,156 | 2     |
|                                                                                            | 3,36  | 7      | 1,951 | 1     | 1,107 | 2     |
|                                                                                            | 3,23  | 10     | 1,838 | 6     | 1,100 | 2     |
|                                                                                            | 3,12  | 3      | 1,768 | 3     | 1,028 | 6     |
|                                                                                            | 2,84  | 10     | 1,610 | 8     | 0,926 | 6     |
| $\text{Mg}_4\text{Nd}_6\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{26}$                                 | 3,36  | 3      | 2,48  | 1     | 1,77  | 3     |
|                                                                                            | 3,02  | 1      | 2,02  | 1     | 1,74  | 2     |
|                                                                                            | 2,76  | 10     | 1,90  | 3     | 1,72  | 3     |
|                                                                                            | 2,72  | 3      | 1,85  | 1     | 1,68  | 3     |
|                                                                                            | 2,67  | 1      | 1,80  | 5     | -     | -     |
| Хлорит -<br>$\text{Mg}_5\text{Al} \approx \text{AlSi}_3\text{O}_{10} \sqrt{(\text{OH})}_8$ | 13,26 | Ку.    | 2,56  | Ў.    | 1,56  | Ж.ку. |
|                                                                                            | 9,48  | Ку.кз. | 2,42  | Ў.кз. | 1,50  | Ў.кз. |
|                                                                                            | 7,85  | Ў.     | 2,28  | Ў.ку. | 1,48  | Кз.   |
|                                                                                            | 7,50  | Ж.ку.  | 2,23  | Кз.   | 1,43  | Ў.    |
|                                                                                            | 5,28  | Ў.     | 2,12  | Ж.кз. | 1,41  | Ж.ку. |
|                                                                                            | 4,66  | Ж.к.   | 2,10  | Ў.    | 1,36  | Кз.   |
|                                                                                            | 4,17  | Ж.кз.  | 2,05  | Ку.   | 1,33  | Ў.кз. |
|                                                                                            | 3,82  | Ў.     | 1,90  | Ку.   | 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,<br>бишофит -<br>$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                         | 5,8   | 15     | 2,55  | 3     | 1,78  | 8     |
|                                                                                            | 4,10  | 100    | 2,46  | 3     | 1,72  | 10    |
|                                                                                            | 3,57  | 15     | 2,31  | 15    | 1,63  | 3     |
|                                                                                            | 2,98  | 20     | 2,23  | 25    | 1,59  | 3     |
|                                                                                            | 2,88  | 50     | 2,15  | 8     | 1,480 | 10    |
|                                                                                            | 2,72  | 44     | 2,05  | 18    | 1,420 | 3     |
|                                                                                            | 2,65  | 75     | 1,84  | 31    | 1,390 | 10    |
|                                                                                            | -     | -      | -     | -     | 1,365 | 3     |
| Серпентин -<br>$\text{Mg}_6 \approx \text{Si}_4\text{O}_{10} \sqrt{(\text{OH})}_8$         | 7,51  | 10     | 2,290 | 1     | 1,450 | 1     |
|                                                                                            | 5,20  | 1      | 2,205 | 1     | 1,407 | 1     |
|                                                                                            | 4,59  | 5      | 2,140 | 5     | 1,322 | 1     |
|                                                                                            | 3,94  | 1      | 1,814 | 1     | 1,300 | 3     |
|                                                                                            | 3,73  | 10     | 1,780 | 3     | 1,268 | 3     |
|                                                                                            | 3,105 | 3      | 1,725 | 1     | 1,238 | 1     |
|                                                                                            | 2,750 | 1      | 1,686 | 1     | 1,208 | 1     |
|                                                                                            | 2,635 | 1      | 1,657 | 1     | 1,159 | 2     |
|                                                                                            | 2,580 | 1      | 1,550 | 1     | 1,099 | 1     |
|                                                                                            | 2,490 | 9      | 1,525 | 5     | 1,068 | 2     |
|                                                                                            | 2,420 | 1      | 1,497 | 5     | 1,051 | 2     |

|                                |                                                 |                                   |                                                    |                                |                                                    |                               |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Кальций -<br>Ca                | 3,21<br>2,80<br>1,97                            | 100<br>30<br>20                   | 1,68<br>1,61<br>1,28                               | 20<br>10<br>5                  | 1,246<br>1,238<br>-                                | 3<br>5<br>-                   |
| CaO                            | 2,76<br>2,39<br>1,69<br>1,445<br>1,382<br>1,200 | 40<br>100<br>63<br>20<br>20<br>10 | 1,100<br>1,071<br>0,979<br>0,922<br>0,847<br>0,810 | 7<br>25<br>13<br>3<br>3<br>3   | 0,800<br>0,759<br>0,731<br>0,723<br>0,671<br>0,666 | 6<br>2<br>1<br>2<br>1<br>1    |
| CaCl <sub>2</sub>              | 4,49<br>3,46<br>3,05<br>2,85<br>2,33<br>2,24    | 100<br>16<br>80<br>32<br>60<br>16 | 2,09<br>1,90<br>1,79<br>1,68<br>1,56<br>1,51       | 16<br>36<br>8<br>12<br>4<br>8  | 1,490<br>1,330<br>1,243<br>1,210<br>1,165<br>-     | 4<br>12<br>12<br>12<br>4<br>- |
| CaF <sub>2</sub>               | 3,16<br>1,93<br>1,65<br>1,370<br>1,256<br>-     | 67<br>100<br>50<br>23<br>23<br>-  | 1,117<br>1,050<br>0,968<br>0,925<br>0,866<br>-     | 30<br>10<br>5<br>7<br>5<br>-   | 0,835<br>0,789<br>0,767<br>0,731<br>0,731<br>0,644 | 2<br>1<br>2<br>5<br>3<br>1    |
| Ca (OH) <sub>2</sub>           | 4,93<br>3,11<br>2,63<br>1,93<br>1,79<br>1,69    | 50<br>25<br>100<br>50<br>40<br>30 | 1,55<br>1,485<br>1,450<br>1,315<br>1,178<br>1,145  | 2<br>20<br>20<br>16<br>2<br>15 | 1,063<br>1,035<br>1,012<br>0,955<br>0,850<br>-     | 10<br>5<br>8<br>5<br>2<br>-   |
| Кальцит -<br>CaCO <sub>3</sub> | 3,86<br>3,035<br>2,845<br>2,495<br>2,285        | 12<br>100<br>3<br>14<br>18        | 2,095<br>1,927<br>1,913<br>1,875<br>1,626          | 18<br>5<br>17<br>17<br>4       | 1,604<br>1,587<br>1,525<br>1,518<br>1,510          | 8<br>2<br>5<br>4<br>3         |
| Арагонит-<br>CaCO <sub>3</sub> | 3,40<br>3,29<br>3,05<br>2,88<br>2,70            | 100<br>48<br>2<br>2<br>64         | 2,49<br>2,36<br>2,19<br>2,10<br>1,98               | 48<br>48<br>11<br>24<br>100    | 1,88<br>1,82<br>1,74<br>1,63<br>1,56               | 64<br>32<br>40<br>2<br>6      |
| Ватерит-<br>CaCO <sub>3</sub>  | 4,26<br>3,58<br>3,29<br>2,73<br>2,31<br>-       | 13<br>63<br>75<br>100<br>8<br>-   | 2,06<br>1,866<br>1,827<br>1,650<br>1,550<br>-      | 63<br>15<br>63<br>31<br>8<br>- | 1,480<br>1,367<br>1,318<br>1,289<br>1,145<br>1,112 | 8<br>8<br>10<br>13<br>8<br>5  |

|                                            |                                                                      |                                                     |                                                                      |                                                    |                                                                          |                                                    |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                            |                                                                      |                                                     |                                                                      |                                                    |                                                                          |                                                    |
| $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$   | 5,6<br>4,69<br>4,41<br>4,05<br>3,88<br>3,71<br>3,50<br>3,30          | 3<br>13<br>2<br>5<br>1<br>7<br>1<br>3               | 3,20<br>2,97<br>2,85<br>2,75<br>2,69<br>2,60<br>2,52<br>-            | 4<br>100<br>7<br>1<br>1<br>1<br>42<br>-            | 2,41<br>2,33<br>2,27<br>2,20<br>2,13<br>1,92<br>1,53<br>-                | 27<br>7<br>3<br>10<br>5<br>20<br>20<br>-           |
| $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  | 4,847<br>4,142<br>3,784<br>3,120<br>3,043<br>2,991<br>2,696<br>-     | 7<br>2<br>10<br>2<br>15<br>5,5<br>100<br>-          | 2,402<br>2,298<br>2,193<br>1,933<br>1,906<br>1,664<br>1,555<br>-     | 4<br>5,5<br>5<br>6<br>36,5<br>59<br>24<br>-        | 1,523<br>1,356<br>1,347<br>1,206<br>1,100<br>1,067<br>1,047<br>1,016     | 2,5<br>5<br>20<br>27<br>97<br>2<br>3,5<br>8        |
| $3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ | 4,46<br>3,50<br>3,31<br>3,09<br>2,96<br>2,87<br>2,73<br>2,60<br>2,51 | 40<br>100<br>7<br>40<br>27<br>33<br>40<br>100<br>20 | 2,44<br>2,31<br>2,18<br>2,05<br>2,00<br>1,44<br>1,90<br>1,85<br>1,80 | 47<br>13<br>20<br>40<br>20<br>13<br>20<br>13<br>33 | 1,76<br>1,68<br>1,62<br>1,52<br>1,53<br>1,478<br>1,455<br>1,370<br>1,337 | 33<br>13<br>40<br>13<br>67<br>13<br>27<br>27<br>13 |
| $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ | 4,95<br>3,19<br>3,01<br>2,68<br>2,44<br>2,19<br>1,94<br>-            | 67<br>20<br>23<br>100<br>50<br>50<br>50<br>-        | 1,73<br>1,66<br>1,59<br>1,52<br>1,478<br>1,395<br>1,344<br>-         | 13<br>42<br>50<br>13<br>10<br>27<br>10<br>-        | 1,309<br>1,261<br>1,236<br>1,209<br>1,174<br>1,141<br>1,112<br>1,091     | 17<br>7<br>7<br>10<br>10<br>7<br>13<br>3           |
| $\alpha - \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$   | 5,7<br>3,42<br>3,23<br>2,80<br>2,45<br>1,98                          | 5<br>15<br>100<br>75<br>10<br>63                    | 1,83<br>1,69<br>1,61<br>1,54<br>1,476<br>1,400                       | 8<br>3<br>8<br>3<br>8<br>5                         | 1,293<br>1,250<br>1,180<br>1,140<br>1,110<br>1,040                       | 3<br>8<br>3<br>3<br>3<br>3                         |

|                                                                             |                                                                    |                                        |                                                                      |                                             |                                                                      |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| $\alpha$ -2CaO·SiO <sub>2</sub>                                             | 5,6<br>4,32<br>4,05<br>3,80<br>3,38<br>3,01<br>2,89                | 8<br>24<br>6<br>24<br>9<br>48<br>9     | 2,74<br>2,60<br>2,51<br>2,44<br>2,32<br>2,24<br>2,18                 | 100<br>6<br>9<br>6<br>6<br>5<br>6           | 2,02<br>1,90<br>1,80<br>1,75<br>1,68<br>1,63<br>1,53                 | 6<br>48<br>32<br>20<br>20<br>28<br>8   |
| $\beta$ -2CaO·SiO <sub>2</sub>                                              | 2,77<br>2,62<br>2,43<br>2,28<br>2,19<br>2,03                       | 100<br>40<br>16<br>12<br>50<br>16      | 1,98<br>1,90<br>1,80<br>1,70<br>1,62<br>1,52                         | 32<br>16<br>12<br>8<br>16<br>12             | 1,485<br>1,370<br>1,290<br>1,250<br>1,180<br>1,125                   | 12<br>8<br>4<br>4<br>4<br>4            |
| 3CaO·SiO <sub>2</sub>                                                       | 3,02<br>3,75<br>2,61<br>2,30<br>2,18<br>1,48                       | 44<br>100<br>75<br>8<br>50<br>5        | 1,92<br>1,81<br>1,76<br>1,63<br>1,54<br>1,480                        | 10<br>3<br>38<br>31<br>10<br>31             | 1,441<br>1,380<br>1,195<br>1,160<br>1,130<br>1,094                   | 20<br>18<br>8<br>3<br>3<br>5           |
| Фторапатит-<br>10CaO·<br>3P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·<br>F <sub>2</sub> | 8,12<br>5,25<br>4,684<br>4,055<br>3,872<br>3,492<br>3,442<br>3,167 | 8<br>4<br>1<br>8<br>8<br>1<br>40<br>14 | 3,067<br>2,800<br>2,772<br>2,702<br>2,624<br>2,517<br>2,289<br>2,250 | 18<br>100<br>55<br>60<br>30<br>6<br>8<br>20 | 2,218<br>2,140<br>2,128<br>2,061<br>2,028<br>1,997<br>1,937<br>1,884 | 4<br>6<br>4<br>6<br>2<br>4<br>25<br>14 |
| Перовскит –<br>CaO·TiO <sub>2</sub>                                         | 3,81<br>2,69<br>2,57<br>2,42<br>2,29<br>2,20<br>2,11               | 3<br>10<br>1<br>1<br>3<br>3<br>1       | 2,03<br>1,903<br>1,846<br>1,704<br>1,665<br>1,552<br>-               | 1<br>8<br>2<br>3<br>2<br>8<br>-             | 1,345<br>1,203<br>1,136<br>1,100<br>1,017<br>0,897<br>-              | 6<br>5<br>2<br>4<br>7<br>6<br>-        |
| CaY <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                                             | 4,96<br>3,55<br>3,13<br>2,94<br>2,89<br>2,84                       | 15<br>14<br>14<br>13<br>78<br>72       | 2,82<br>2,75<br>2,47<br>2,30<br>2,28<br>2,14                         | 100<br>12<br>20<br>15<br>11<br>12           | 2,01<br>1,778<br>1,722<br>1,664<br>1,653<br>1,578                    | 45<br>18<br>32<br>35<br>16<br>11       |
| CaHo <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                                            | 5,04<br>4,96<br>3,77<br>3,55<br>3,13<br>2,89<br>2,84               | 8<br>25<br>7<br>10<br>11<br>100<br>75  | 2,82<br>2,75<br>2,47<br>2,30<br>2,15<br>2,04<br>2,01                 | 66<br>10<br>21<br>16<br>11<br>8<br>37       | 1,788<br>1,772<br>1,664<br>1,653<br>1,639<br>1,580<br>-              | 14<br>18<br>19<br>21<br>15<br>8<br>-   |

|                                                |       |     |       |    |       |    |
|------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
| CaYb <sub>2</sub> O <sub>4</sub>               | 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 <sub>2</sub> Yb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 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 <sub>3</sub> Yb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> | 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 <sub>4</sub> O <sub>7</sub>                | 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 <sub>4</sub> O <sub>7</sub>               | 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 <sub>4</sub> O <sub>7</sub>               | 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 <sub>4</sub> O <sub>7</sub>                                        | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>- 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>- 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 <sub>3</sub>                                                     | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>SiO <sub>2</sub>              | 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·<br>2SiO <sub>2</sub>                                          | 5,57  | 10  | 3,09  | 29  | 2,321  | 10 |
|                                                                         | 4,25  | 12  | 2,881 | 100 | 2,285  | 6  |
|                                                                         | 3,95  | 5   | 2,488 | 10  | 2,040  | 16 |
|                                                                         | 3,72  | 14  | 2,430 | 6   | 1,961  | 5  |
|                                                                         | 3,52  | 6   | 2,392 | 12  | 1,903  | 5  |
|                                                                         | -     | -   | -     | -   | 1,848  | 8  |

|                                                                    |       |     |       |    |        |    |
|--------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|--------|----|
| Монтichelлит -<br>$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | 5,56  | 15  | 2,586 | 40 | 1,777  | 10 |
|                                                                    | 4,19  | 35  | 2,543 | 30 | 1,751  | 7  |
|                                                                    | 3,854 | 10  | 2,401 | 24 | 1,721  | 15 |
|                                                                    | 3,637 | 40  | 2,355 | 7  | 1,704  | 5  |
|                                                                    | 3,188 | 15  | 2,209 | 5  | 1,687  | 5  |
|                                                                    | 2,935 | 35  | 1,916 | 15 | 1,600  | 15 |
|                                                                    | 2,666 | 100 | 1,818 | 30 | -      | -  |
|                                                                    |       |     |       |    |        |    |
| Диопсид –<br>$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$     | 2,231 | 30  | 2,215 | 14 | 1,968  | 8  |
|                                                                    | 2,992 | 100 | 2,198 | 14 | 1,835  | 10 |
|                                                                    | 2,291 | 30  | 2,156 | 12 | 1,754  | 14 |
|                                                                    | 2,894 | 40  | 2,133 | 18 | 1,673  | 6  |
|                                                                    | 2,566 | 25  | 2,108 | 10 | 1,658  | 6  |
|                                                                    | 2,524 | 65  | 2,042 | 20 | 1,624  | 35 |
|                                                                    | 2,518 | 65  | 2,014 | 14 | 1,617  | 35 |
|                                                                    | 2,301 | 16  | 2,006 | 10 | -      | -  |
| Мервинит –<br>$3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$   | 2,84  | 50  | 2,03  | 50 | 1,53   | 70 |
|                                                                    | 2,74  | 50  | 1,90  | 70 | 1,43   | 30 |
|                                                                    | 2,66  | 100 | 1,87  | 60 | 1,39   | 30 |
|                                                                    | 2,41  | 30  | 1,75  | 30 | 1,34   | 50 |
|                                                                    | 2,30  | 50  | 1,69  | 30 | 1,32   | 50 |
|                                                                    | 2,20  | 50  | 1,61  | 50 | 1,23   | 50 |
|                                                                    | 2,16  | 50  | 1,57  | 50 | 1,19   | 30 |
|                                                                    |       |     |       |    |        |    |
| Сфен –<br>$\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$       | 4,87  | 2   | 2,05  | 6  | 1,410  | 9  |
|                                                                    | 3,57  | 5   | 1,932 | 2  | 1,343  | 5  |
|                                                                    | 3,20  | 10  | 1,801 | 2  | 1,302  | 5  |
|                                                                    | 2,98  | 9   | 1,734 | 5  | 1,274  | 5  |
|                                                                    | 2,85  | 5   | 1,693 | 6  | 1,225  | 2  |
|                                                                    | 2,59  | 10  | 1,630 | 7  | 1,131  | 5  |
|                                                                    | 2,26  | 7   | 1,553 | 6  | 1,106  | 5  |
|                                                                    | 2,09  | 2   | 1,488 | 7  | 1,074  | 2  |
| $\text{CaLaAl}_3\text{O}_7$                                        | 5,11  | 8   | 2,473 | 20 | 1,835  | 10 |
|                                                                    | 4,49  | 3   | 2,441 | 10 | 1,784  | 30 |
|                                                                    | 3,75  | 22  | 2,338 | 10 | 1,545  | 25 |
|                                                                    | 3,48  | 10  | 2,329 | 10 | 1,500  | 7  |
|                                                                    | 3,11  | 25  | 2,233 | 10 | 1,404  | 7  |
|                                                                    | 2,889 | 100 | 2,079 | 30 | 1,400  | 7  |
|                                                                    | 2,868 | 5   | 1,892 | 10 | 0,9517 | 50 |
|                                                                    | 2,583 | 18  | 1,842 | 10 | 0,9164 | 25 |

|                                                                                                    |       |     |       |     |        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|-----|--------|----|
| CaNdAl <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                                                                 | 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 <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                                                                 | 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 <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                                                                 | 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 <sub>6</sub> La <sub>4</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub>                                   | 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 <sub>0,67</sub> La <sub>0,33</sub><br>Al <sub>0,33</sub> ·<br>Si <sub>0,67</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>0,67</sub> Nd <sub>0,33</sub> ·<br>Al <sub>0,33</sub> ·Si <sub>0,67</sub> O <sub>3</sub>   | 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 <sub>0,67</sub> Sc <sub>0,33</sub> ·<br>Al <sub>0,33</sub> ·Si <sub>0,67</sub> O <sub>3</sub>   | 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 —<br>$2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$              | 9,6    | 6   | 3,02  | 2  | 2,12  | 4  |
|                                                                                       | 7,9    | 4   | 2,92  | 2  | 2,095 | 4  |
|                                                                                       | 6,4    | 4   | 2,85  | 8  | 2,060 | 2  |
|                                                                                       | 4,68   | 4   | 2,65  | 6  | 1,990 | 2  |
|                                                                                       | 4,24   | 8   | 2,58  | 2  | 1,940 | 2  |
|                                                                                       | 3,84   | 6   | 2,52  | 2  | 1,884 | 8  |
|                                                                                       | 3,54   | 4   | 2,45  | 4  | 1,813 | 3  |
|                                                                                       | 3,36   | 10  | 2,29  | 4  | -     | -  |
|                                                                                       | 3,15   | 6   | 2,25  | 6  | -     | -  |
| $3\text{CaO} \cdot \text{Ga}_2\text{O}_3$                                             | 10,589 | 2   | 3,110 | 5  | 1,837 | 1  |
|                                                                                       | 8,043  | 1   | 2,983 | 10 | 1,826 | 1  |
|                                                                                       | 7,748  | 1   | 2,959 | 8  | 1,791 | 2  |
|                                                                                       | 6,207  | 1   | 2,827 | 1  | 1,684 | 1  |
|                                                                                       | 6,046  | 1   | 2,626 | 4  | 1,635 | 2  |
|                                                                                       | 5,271  | 6   | 2,523 | 4  | 1,579 | 1  |
|                                                                                       | 4,964  | 2   | 2,493 | 4  | 1,553 | 1  |
|                                                                                       | 4,409  | 2   | 2,402 | 1  | 1,487 | 1  |
|                                                                                       | 3,579  | 1   | 2,269 | 3  | 1,451 | 1  |
|                                                                                       | 3,443  | 4   | 2,195 | 1  | 1,389 | 3  |
|                                                                                       | 3,378  | 1   | 1,964 | 2  | 1,359 | 1  |
|                                                                                       | 3,217  | 4   | 1,882 | 1  | 1,268 | 2  |
| $\text{CaO} \cdot 2\text{Ga}_2\text{O}_3$                                             | 7,481  | 1   | 2,666 | 6  | 1,676 | 1  |
|                                                                                       | 6,784  | 1   | 2,601 | 4  | 1,650 | 2  |
|                                                                                       | 4,738  | 3   | 2,471 | 5  | 1,624 | 1  |
|                                                                                       | 4,568  | 9   | 2,428 | 2  | 1,586 | 4  |
|                                                                                       | 3,837  | 1   | 2,387 | 4  | 1,560 | 1  |
|                                                                                       | 3,703  | 3   | 2,328 | 1  | 1,480 | 1  |
|                                                                                       | 3,545  | 10  | 2,120 | 3  | 1,422 | 1  |
|                                                                                       | 3,168  | 8   | 2,060 | 1  | 1,392 | 1  |
|                                                                                       | 2,955  | 2   | 1,960 | 1  | 1,371 | 1  |
|                                                                                       | 2,860  | 3   | 1,837 | 1  | 1,284 | 1  |
|                                                                                       | 2,831  | 3   | 1,806 | 1  | -     | -  |
|                                                                                       | 2,709  | 4   | 1,733 | 3  | -     | -  |
| Спуррит —<br>$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) \cdot \text{CaCO}_3$                  | 3,81   | 3   | 2,701 | 10 | 2,635 | 7  |
|                                                                                       | 3,019  | 7   | 2,663 | 5  | 2,170 | 4  |
| Анортит —<br>$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$<br>(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<br>2,701<br>2,601<br>2,532                                                                     | 50<br>30<br>6<br>12                                                       | 2,042<br>2,026<br>1,965<br>1,907                                                                         | 12<br>10<br>20<br>3                                                     | 1,533<br>1,510<br>-<br>-                                                                                 | 8<br>3<br>-<br>-                                                     |
| CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub><br>(Гексагонал) | 7,37<br>4,43<br>3,80<br>3,68<br>2,84<br>2,555<br>2,456                                              | 85<br>7<br>30<br>100<br>40<br>9<br>14                                     | 2,414<br>2,417<br>2,119<br>1,842<br>1,770<br>1,701<br>1,658                                              | 3<br>11<br>4<br>100<br>9<br>1<br>1                                      | 1,501<br>1,495<br>1,475<br>1,399<br>1,277<br>1,183<br>1,152                                              | 2<br>14<br>3<br>12<br>8<br>5<br>1                                    |
| CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub><br>(Триклин)    | 4,08<br>3,80<br>3,63<br>3,37<br>3,26<br>3,20<br>3,15<br>2,948<br>2,832<br>2,648<br>2,509<br>2,135   | 3<br>3<br>2<br>2<br>1<br>10<br>2<br>4<br>4<br>2<br>6<br>6                 | 2,097<br>2,021<br>1,926<br>1,877<br>1,836<br>1,797<br>1,762<br>1,714<br>1,626<br>1,532<br>1,480<br>1,451 | 3<br>3<br>3<br>2<br>5<br>4<br>5<br>2<br>3<br>2<br>4<br>3                | 1,410<br>1,385<br>1,360<br>1,342<br>1,317<br>1,274<br>1,211<br>1,166<br>1,127<br>1,079<br>1,064<br>-     | 2<br>4<br>3<br>3<br>2<br>2<br>3<br>4<br>2<br>3<br>4<br>-             |
| Воллас-<br>тонит —<br>β - CaO·SiO <sub>2</sub>                            | 7,7<br>4,05<br>3,83<br>3,52<br>3,40<br>3,31<br>3,16<br>3,09<br>2,97<br>2,80<br>2,72<br>2,55<br>2,47 | 40<br>10<br>80<br>80<br>5<br>80<br>5<br>30<br>100<br>10<br>10<br>30<br>60 | 2,33<br>2,29<br>2,18<br>2,08<br>2,01<br>1,98<br>1,91<br>1,88<br>1,86<br>1,83<br>1,80<br>1,79<br>1,75     | 40<br>40<br>60<br>5<br>20<br>20<br>20<br>20<br>10<br>60<br>5<br>5<br>40 | 1,72<br>1,602<br>1,531<br>1,515<br>1,478<br>1,455<br>1,426<br>1,387<br>1,358<br>1,332<br>1,312<br>-<br>- | 60<br>40<br>10<br>5<br>20<br>30<br>5<br>5<br>30<br>10<br>5<br>-<br>- |
| Ранкинит —<br>3CaO·2SiO <sub>2</sub>                                      | 4,39<br>4,04<br>3,76<br>3,51<br>3,33<br>3,15<br>2,97<br>2,85<br>2,74<br>2,68<br>2,54                | 80<br>80<br>100<br>50<br>50<br>100<br>70<br>70<br>30<br>100<br>80         | 2,47<br>2,34<br>2,26<br>2,15<br>2,10<br>2,03<br>1,98<br>1,94<br>1,90<br>1,84<br>1,80                     | 70<br>20<br>20<br>20<br>20<br>20<br>20<br>20<br>70<br>70<br>80          | 1,74<br>1,72<br>1,67<br>1,62<br>1,59<br>1,54<br>1,52<br>1,47<br>1,44<br>1,42<br>-                        | 20<br>20<br>20<br>30<br>30<br>20<br>20<br>70<br>30<br>20<br>-        |

|                                                                                           |       |       |       |         |       |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|
| Шеннонит,<br>кальциоолив<br>ин-γ - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                       | 5,66  | Ў.кз. | 1,754 | Ў.кз.   | 1,185 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 4,33  | Ў.    | 1,685 | Ў.кз.   | 1,161 | Кз.     |
|                                                                                           | 4,05  | Кз.   | 1,672 | Ж.ж.кз. | 1,138 | Ў.кз.   |
|                                                                                           | 3,82  | Ў.    | 1,631 | Ў.      | 1,106 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 3,39  | Кз.   | 1,618 | Ж.ж.кз. | 1,095 | Кз.     |
|                                                                                           | 3,01  | Ку.   | 1,574 | Ж.ж.кз. | 1,078 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 2,89  | Ж.кз. | 1,541 | Ж.кз.   | 1,059 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 2,74  | Ж.ки. | 1,527 | Кз.     | 1,050 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 2,60  | Кз.   | 1,501 | Кз.     | 1,038 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 2,53  | Кз.   | 1,471 | Ў.кз.   | 1,026 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 2,46  | Кз.   | 1,440 | Кз.     | 1,014 | Кз.     |
|                                                                                           | 2,33  | Кз.   | 1,411 | Кз.     | 1,001 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 2,25  | Ж.кз. | 1,375 | Ж.кз.   | 0,988 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 2,18  | Кз.   | 1,349 | Ж.кз.   | 0,978 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 2,05  | Ж.кз. | 1,303 | Ж.кз.   | 0,953 | Кз.     |
|                                                                                           | 2,02  | Кз.   | 1,273 | Кз.     | 0,942 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 1,964 | Ж.кз. | 1,253 | Ў.кз.   | 0,933 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 1,908 | Ку.   | 1,233 | Ж.кз.   | 0,921 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | 1,873 | Ж.кз. | 1,218 | Ж.ж.кз. | 0,808 | Ж.ж.кз. |
|                                                                                           | 1,805 | Ў.ку. | 1,207 | Ж.ж.кз. | 0,900 | Ж.кз.   |
|                                                                                           | -     | -     | -     | -       | 0,891 | Кз.     |
| Сульфатли<br>спурит —<br>$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) \cdot \text{CaSO}_4$          | 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      | -     | -       |
| $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ | 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 —<br>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 <sub>2</sub>                    | 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 <sub>3</sub>                   | 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 <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>   | 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 <sub>2</sub>                | 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 <sub>2</sub>               | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub>               | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,71  | 10  | 2,39  | 3  | 1,72  | 10 |
|                                     | 4,42  | 16  | 2,35  | 2  | 1,61  | 4  |
|                                     | 3,66  | 20  | 2,29  | 27 | 1,58  | 31 |
|                                     | 2,78  | 44  | 2,20  | 19 | 1,54  | 59 |
|                                     | 2,75  | 24  | 2,11  | 65 | 1,52  | 4  |
|                                     | 2,70  | 9   | 2,01  | 38 | 1,46  | 3  |
|                                     | 2,63  | 100 | 1,85  | 52 | 1,39  | 43 |
|                                     | 2,48  | 95  | 1,81  | 2  | 1,35  | 2  |
|                                     | 2,41  | 5   | 1,74  | 2  | -     | -  |
|                                     | -     | -   | -     | -  | -     | -  |
| 5SrO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub>                | 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 <sub>2</sub>                | 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 <sub>2</sub>                | 2,90  | 100 | 1,667 | 67 | 1,293 | 24 |
|                                     | 2,04  | 40  | 1,446 | 27 | 1,180 | 3  |
|                                     | -     | -   | -     | -  | 1,094 | 27 |

|                                                             |       |     |       |    |       |    |
|-------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
| SrO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub>   | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub> | 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·<br>2SiO <sub>2</sub>                              | 5,68  | 32  | 2,590 | 24 | 2,000 | 10 |
|                                                             | 5,18  | 5   | 2,539 | 36 | 1,946 | 15 |
|                                                             | 4,35  | 5   | 2,462 | 12 | 1,915 | 8  |
|                                                             | 4,02  | 9   | 2,366 | 10 | 1,891 | 12 |
|                                                             | 3,82  | 23  | 2,280 | 10 | 1,822 | 14 |
|                                                             | 3,59  | 9   | 2,225 | 5  | 1,795 | 27 |
|                                                             | 3,17  | 45  | 2,175 | 7  | 1,778 | 10 |
|                                                             | 2,950 | 100 | 2,100 | 43 | 1,727 | 5  |
|                                                             | 2,838 | 7   | 2,050 | 7  | 1,586 | 5  |
|                                                             | -     | -   | -     | -  | 1,555 | 15 |
|                                                             |       |     |       |    |       |    |
| 2SrO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>SiO <sub>2</sub>   | 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 <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                          | 5,59  | 6   | 2,181 | 10 | 1,743 | 8  |
|                                                             | 5,24  | 16  | 2,174 | 10 | 1,562 | 34 |
|                                                             | 3,82  | 19  | 2,096 | 43 | 1,411 | 8  |
|                                                             | 3,53  | 12  | 1,967 | 8  | 1,306 | 7  |

|                                    |                                                                          |                                                        |                                                                               |                                                                     |                                                                                 |                                                 |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                    | 3,15<br>2,923<br>2,614<br>2,489<br>2,354<br>2,249                        | 22<br>100<br>37<br>19<br>9<br>6                        | 1,912<br>1,897<br>1,858<br>1,800<br>1,761<br>1,753                            | 9<br>14<br>10<br>30<br>6<br>10                                      | 1,198<br>1,157<br>0,9626<br>0,9275<br>-<br>-                                    | 6<br>4<br>50<br>25<br>-<br>-                    |
| SrGdAl <sub>3</sub> O <sub>7</sub> | 5,13<br>3,76<br>3,50<br>3,11<br>2,889<br>2,571<br>2,480<br>2,451         | 23<br>12<br>13<br>20<br>100<br>20<br>15<br>18          | 2,438<br>2,325<br>2,238<br>2,226<br>2,068<br>1,952<br>1,896<br>1,841          | 15<br>8<br>18<br>18<br>40<br>14<br>5<br>9                           | 1,779<br>1,738<br>1,537<br>1,497<br>1,394<br>0,9508<br>0,9132<br>-              | 36<br>8<br>15<br>5<br>8<br>50<br>25<br>-        |
| SrYAl <sub>3</sub> O <sub>7</sub>  | 5,12<br>3,75<br>3,70<br>3,49<br>3,09<br>2,871<br>2,742<br>2,555<br>2,453 | 8<br>20<br>15<br>8<br>16<br>100<br>5<br>25<br>18       | 2,425<br>2,417<br>2,305<br>2,269<br>2,216<br>2,052<br>1,945<br>1,882<br>1,831 | 18<br>18<br>10<br>5<br>10<br>37<br>10<br>7<br>10                    | 1,766<br>1,724<br>1,527<br>1,487<br>1,387<br>1,373<br>1,278<br>0,9497<br>0,9114 | 35<br>10<br>25<br>7<br>15<br>2<br>4<br>50<br>25 |
| SrNdGa <sub>3</sub> O <sub>7</sub> | 3,87<br>3,20<br>2,961<br>2,833<br>2,642<br>2,536<br>2,524<br>2,393       | 14<br>23<br>100<br>8<br>33<br>33<br>30<br>3            | 2,128<br>2,002<br>1,945<br>1,938<br>1,888<br>1,824<br>1,791<br>1,778          | 10<br>10<br>5<br>5<br>10<br>47<br>5<br>6                            | 1,581<br>1,543<br>1,430<br>1,415<br>1,335<br>1,324<br>0,9764<br>0,9395          | 22<br>8<br>18<br>9<br>6<br>5<br>30<br>15        |
| SrGd <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | 3,01<br>2,94<br>2,88<br>2,54<br>2,37                                     | 68<br>100<br>73<br>20<br>12                            | 2,34<br>2,23<br>2,08<br>2,04<br>1,728                                         | 17<br>13<br>45<br>47<br>42                                          | 1,716<br>1,692<br>1,681<br>1,647<br>1,603                                       | 28<br>40<br>30<br>20<br>15                      |
| SrSm <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | 3,00<br>2,93<br>2,897<br>2,878<br>2,791<br>2,544<br>2,378                | Ү.<br>Ку.<br>Ку.<br>Кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.ж.кз. | 2,345<br>2,231<br>2,078<br>2,041<br>1,862<br>1,855<br>1,796                   | Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ку.<br>Ү.ку.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз. | 1,751<br>1,727<br>1,717<br>1,696<br>1,681<br>1,651<br>-                         | Ү.<br>Ку.<br>Ку.<br>Ү.<br>Ү.ку.<br>Кз.<br>-     |

|                                                                                                                                                    |       |     |       |    |       |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
| Беловит —<br>(Sr,Ce,Na,<br>Ca) <sub>10</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>6</sub> ·<br>(OH,O) <sub>2</sub>                                              | 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 —<br>Sr <sub>2</sub> LaCe<br>(H <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [CO <sub>3</sub> ] <sub>4</sub> ·<br>(OH) <sub>2</sub>                         | 4,40  | 5   | 2,95  | 8  | 1,318 | 5  |
|                                                                                                                                                    | 3,79  | 10  | 2,35  | 6  | 1,207 | 5  |
|                                                                                                                                                    | -     | -   | -     | -  | -     | -  |
| Лампрофил-<br>лит-<br>Sr <sub>2</sub> (Na <sub>3</sub> Ti)<br>Ti <sub>2</sub> ·<br>(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>2</sub> F | 3,17  | 10  | 2,12  | 5  | 1,59  | 3  |
|                                                                                                                                                    | 2,75  | 9   | 1,76  | 3  | 1,44  | 3  |
|                                                                                                                                                    | -     | -   | -     | -  | -     | -  |
| Витчит -<br>Sr <sub>3</sub> B <sub>16</sub> O <sub>27</sub> ·<br>5H <sub>2</sub> 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) <sub>2</sub>                 | 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 <sub>2</sub>                    | 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 <sub>3</sub>                   | 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 <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 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 <sub>2</sub>                 | 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 <sub>3</sub>                 | 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 <sub>4</sub>                           | 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 <sub>2</sub>                         | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 4,0468 | Кз.     | 1,6768 | Ў.      | 1,3023 | Ў.    |
|                                              | 3,1560 | Ку.     | 1,6731 | Ў.      | 1,2748 | Ку.   |
|                                              | 2,6084 | Ку.     | 1,6386 | Кз.     | 1,2509 | Ж.Кз. |
|                                              | 2,5008 | Кз.     | 1,5890 | Ку.     | 1,2485 | Кз.   |
|                                              | 2,4539 | Ж.Кз.   | 1,5719 | Ў.      | 1,2399 | Ку.   |
|                                              | 2,2570 | Кз.     | 1,5042 | Ў.      | 1,2383 | Кз.   |
|                                              | 2,2421 | Ў.      | 1,4728 | Ж.Кз.   | 1,2266 | Кз.   |
|                                              | 2,9970 | Ў.      | 1,4624 | Ж.Кз.   | 1,2224 | Кз.   |
|                                              | 2,1829 | Ж.Кз.   | 1,4218 | Ж.Кз.   | 1,2028 | Ку.   |
|                                              | 2,0065 | Ў.      | 1,3909 | Ў.      | -      | -     |
|                                              | 1,9724 | Ў.      | 1,3841 | Кз.     | -      | -     |
|                                              | 1,9453 | Кз.     | 1,3451 | Ў.      | -      | -     |
| BaO·CeO <sub>2</sub>                         | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          | 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<br>BaO·SiO <sub>2</sub> | 5,082  | Ж.Кз.   | 1,747  | Ку.     | 1,119  | Кз.   |
|                                              | 3,682  | Ку.     | 1,654  | Кз.     | 1,096  | Кз.   |
|                                              | 3,470  | Ж.Ж.Кз. | 1,573  | Кз.     | 1,075  | Ж.Кз. |
|                                              | 3,305  | Ж.Кз.   | 1,512  | Кз.     | 1,053  | Ж.Кз. |
|                                              | 2,999  | Ж.Ку.   | 1,404  | Кз.     | 1,033  | Ж.Кз. |
|                                              | 2,600  | Ў.      | 1,355  | Ку.     | 1,011  | Ку.   |
|                                              | 2,349  | Ў.      | 1,305  | Ж.Ж.Кз. | 0,961  | Ку.   |

|                                                        |                                                                           |                                                          |                                                                           |                                                         |                                                                              |                                                         |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                                        | 2,135<br>1,980<br>2,854<br>-                                              | Ж.ку.<br>Ку.<br>Кз.<br>-                                 | 1,270<br>1,238<br>1,209<br>-                                              | Ж.ж.кз.<br>Ку.<br>Кз.<br>-                              | 0,943<br>0,916<br>0,902<br>0,890                                             | Ж.ж.кз.<br>Ў.<br>Ж.ж.кз.<br>Ж.ж.кз.                     |
| Юқори<br>ҳароратли<br>форма —<br>BaO·SiO <sub>2</sub>  | 3,637<br>3,354<br>3,070<br>2,789<br>2,660<br>2,326<br>2,280               | Ў.<br>Ку.<br>Ў.<br>Кз.<br>Кз.<br>Ў.<br>Ў.                | 2,205<br>2,070<br>2,017<br>1,883<br>1,836<br>1,747<br>1,687               | Ў.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ку.<br>Кз.<br>Ж.ж.кз.<br>Кз.          | 1,598<br>1,561<br>1,524<br>1,501<br>1,463<br>1,421<br>-                      | Кз.<br>Кз.<br>Кз.<br>Кз.<br>Кз.<br>Ж.ж.кз.<br>-         |
| Юқори<br>ҳароратли<br>форма —<br>BaO·2SiO <sub>2</sub> | 6,66<br>5,49<br>4,66<br>4,09<br>3,95<br>3,86<br>3,84<br>3,75<br>3,51<br>- | 50<br>12<br>16<br>16<br>100<br>20<br>39<br>38<br>45<br>- | 3,39<br>3,34<br>3,30<br>3,23<br>3,17<br>3,13<br>3,11<br>3,07<br>2,83<br>- | 14<br>29<br>44<br>63<br>33<br>60<br>85<br>47<br>27<br>- | 2,77<br>2,74<br>2,58<br>2,34<br>2,32<br>2,24<br>2,20<br>2,19<br>2,15<br>2,11 | 34<br>65<br>17<br>11<br>20<br>42<br>63<br>81<br>25<br>8 |
| Паст<br>ҳароратли<br>форма —<br>BaO·2SiO <sub>2</sub>  | 6,75<br>5,05<br>3,95<br>3,80<br>3,71<br>3,41<br>3,33<br>3,26              | 25<br>23<br>100<br>41<br>32<br>66<br>73<br>44            | 3,22<br>3,09<br>2,77<br>2,72<br>2,70<br>2,56<br>2,39<br>2,32              | 50<br>92<br>34<br>50<br>43<br>14<br>10<br>13            | 2,22<br>2,16<br>2,12<br>2,02<br>1,986<br>1,916<br>1,901<br>-                 | 36<br>36<br>41<br>25<br>15<br>14<br>15<br>-             |
| 2BaO·SiO <sub>2</sub>                                  | 4,16<br>3,39<br>3,12<br>3,08<br>3,00                                      | 21<br>64<br>26<br>24<br>93                               | 2,91<br>2,88<br>2,41<br>2,38<br>2,23                                      | 100<br>62<br>39<br>34<br>25                             | 2,11<br>2,09<br>2,01<br>1,963<br>1,895                                       | 24<br>32<br>11<br>17<br>20                              |
| 2BaO·3SiO <sub>2</sub>                                 | 4,38<br>3,87<br>3,75<br>3,66<br>3,27<br>3,24<br>-                         | 6<br>12<br>100<br>56<br>52<br>48<br>-                    | 3,10<br>2,77<br>2,75<br>2,38<br>2,34<br>2,26<br>-                         | 31<br>37<br>34<br>6<br>27<br>25<br>-                    | 2,22<br>2,20<br>2,13<br>2,07<br>2,03<br>1,973<br>1,911                       | 19<br>13<br>37<br>14<br>7<br>13<br>13                   |
| 5BaO·8SiO <sub>2</sub>                                 | 6,85<br>5,99<br>4,287<br>3,795<br>3,735<br>3,264<br>3,209                 | 11<br>13<br>31<br>78<br>89<br>100<br>56                  | 3,099<br>2,852<br>2,820<br>2,778<br>2,761<br>2,345<br>2,265               | 38<br>11<br>22<br>78<br>40<br>18<br>27                  | 2,224<br>2,195<br>2,173<br>2,141<br>2,071<br>1,984<br>1,906                  | 27<br>18<br>31<br>13<br>18<br>22<br>18                  |

|                                      |       |     |        |    |        |    |
|--------------------------------------|-------|-----|--------|----|--------|----|
| Ba LaGa <sub>3</sub> O <sub>7</sub>  | 3,93  | 17  | 2,035  | 14 | 1,564  | 8  |
|                                      | 3,64  | 8   | 1,974  | 14 | 1,528  | 4  |
|                                      | 3,245 | 28  | 1,940  | 10 | 1,509  | 4  |
|                                      | 3,01  | 100 | 1,920  | 20 | 1,455  | 27 |
|                                      | 2,880 | 16  | 1,863  | 56 | 1,440  | 6  |
|                                      | 2,622 | 29  | 1,817  | 10 | 1,356  | 5  |
|                                      | 2,573 | 44  | 1,805  | 12 | 1,345  | 5  |
|                                      | 2,167 | 16  | 1,610  | 26 | -      | -  |
| Ba Nd Ga <sub>3</sub> O <sub>7</sub> | 3,90  | 16  | 2,148  | 12 | 1,597  | 20 |
|                                      | 3,62  | 7   | 2,022  | 5  | 1,549  | 8  |
|                                      | 3,22  | 30  | 1,962  | 8  | 1,446  | 14 |
|                                      | 2,995 | 100 | 1,910  | 11 | 1,431  | 5  |
|                                      | 2,863 | 6   | 1,846  | 38 | 1,384  | 5  |
|                                      | 2,670 | 33  | 1,810  | 6  | 1,347  | 5  |
|                                      | 2,551 | 30  | 1,797  | 8  | -      | -  |
| Цинк-Zn                              | 2,472 | 30  | 1,172  | 70 | 0,859  | 30 |
|                                      | 2,293 | 10  | 1,152  | 5  | 0,827  | 10 |
|                                      | 2,077 | 100 | 1,121  | 40 | 0,773  | 20 |
|                                      | 1,684 | 20  | 1,088  | 5  | 0,756  | 10 |
|                                      | 1,339 | 100 | 1,044  | 10 | 0,737  | 20 |
|                                      | 1,332 | 100 | 0,947  | 20 | 0,717  | 5  |
|                                      | 1,235 | 5   | 0,910  | 20 | 0,703  | 5  |
| ZnO                                  | 2,816 | 71  | 1,301  | 3  | 0,9555 | 1  |
|                                      | 2,602 | 56  | 1,225  | 5  | 0,9382 | 4  |
|                                      | 2,476 | 100 | 1,1812 | 3  | 0,9069 | 12 |
|                                      | 1,911 | 29  | 1,0929 | 10 | 0,8826 | 6  |
|                                      | 1,626 | 40  | 1,0639 | 4  | 0,8675 | 1  |
|                                      | 1,477 | 35  | 1,0422 | 10 | 0,8369 | 6  |
|                                      | 1,407 | 6   | 1,0158 | 5  | 0,8290 | 2  |
|                                      | 1,379 | 28  | 0,9848 | 4  | 0,8237 | 2  |
|                                      | 1,359 | 14  | 0,9764 | 7  | 0,8125 | 5  |
| ZnO <sub>2</sub>                     | 2,81  | 60  | 1,467  | 40 | 1,088  | 6  |
|                                      | 2,43  | 100 | 1,405  | 10 | 0,993  | 4  |
|                                      | 1,721 | 36  | 1,116  | 8  | 0,936  | 6  |
| ZnCO <sub>3</sub>                    | 3,54  | 66  | 1,698  | 80 | 1,202  | 3  |
|                                      | 2,73  | 100 | 1,486  | 40 | 1,179  | 10 |
|                                      | 2,32  | 33  | 1,405  | 40 | 1,100  | 8  |
|                                      | 2,10  | 27  | 1,367  | 5  | 1,069  | 13 |
|                                      | 1,937 | 40  | 1,338  | 27 | 1,050  | 4  |
|                                      | 1,769 | 13  | 1,248  | 3  | -      | -  |

|                                    |                                                              |                                              |                                                                     |                                         |                                                              |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ZnO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,67<br>2,861<br>2,438<br>2,335<br>2,021                     | 3<br>84<br>100<br>1<br>8                     | 1,855<br>1,650<br>1,556<br>1,429<br>1,367                           | 10<br>24<br>40<br>43<br>1               | 1,278<br>1,233<br>1,219<br>1,1670<br>1,1322                  | 6<br>9<br>1<br>1<br>1                |
| ZnO·B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 5,29<br>3,74<br>3,048<br>2,364<br>2,158                      | 6<br>3<br>100<br>23<br>1                     | 1,997<br>1,869<br>1,761<br>1,672<br>1,594                           | 20<br>13<br>38<br>2<br>3                | 1,526<br>1,466<br>1,364<br>1,321<br>1,282                    | 25<br>5<br>8<br>4<br>3               |
| ZnO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,92<br>2,50<br>2,40<br>2,07<br>1,692                        | 48<br>100<br>3<br>10<br>25                   | 1,597<br>1,465<br>1,312<br>1,266<br>1,199                           | 50<br>60<br>5<br>8<br>1                 | 1,110<br>1,082<br>1,037<br>-<br>-                            | 7<br>12<br>4<br>-<br>-               |
| Кадмий —<br>Cd                     | 2,80<br>2,58<br>2,34<br>1,89<br>1,51<br>1,486                | 40<br>30<br>100<br>20<br>25<br>18            | 1,400<br>1,310<br>1,286<br>1,252<br>1,228<br>1,170                  | 3<br>27<br>2<br>20<br>2<br>3            | 1,060<br>1,020<br>0,959<br>0,921<br>0,863<br>0,821           | 5<br>4<br>10<br>2<br>4<br>2          |
| CdO                                | 2,712<br>2,349<br>1,661<br>1,416                             | 100<br>88<br>43<br>28                        | 1,355<br>1,1742<br>1,0772<br>1,0499                                 | 13<br>5<br>9<br>13                      | 0,9584<br>0,9036<br>0,8300<br>-                              | 11<br>9<br>5<br>-                    |
| CdCO <sub>3</sub>                  | 3,77<br>2,94<br>2,46<br>2,23<br>2,06<br>1,88<br>1,83<br>1,58 | 80<br>100<br>50<br>3<br>45<br>33<br>80<br>40 | 1,50<br>1,470<br>1,419<br>1,355<br>1,295<br>1,260<br>1,230<br>1,190 | 17<br>5<br>15<br>5<br>5<br>17<br>5<br>8 | 1,142<br>1,120<br>1,022<br>0,976<br>0,942<br>0,880<br>-<br>- | 8<br>8<br>8<br>7<br>7<br>7<br>-<br>- |
| Cd (OH) <sub>2</sub>               | 4,70<br>3,02<br>2,55<br>1,86<br>1,74<br>1,63                 | 100<br>63<br>100<br>40<br>30<br>30           | 1,51<br>1,440<br>1,400<br>1,271<br>1,165<br>1,139                   | 13<br>20<br>20<br>15<br>7<br>8          | 1,110<br>1,090<br>1,028<br>1,005<br>0,980<br>0,925           | 13<br>3<br>10<br>3<br>4<br>5         |
| CdSO <sub>4</sub>                  | 4,93<br>3,74                                                 | 50<br>14                                     | 2,30<br>2,11                                                        | 22<br>8                                 | 1,630<br>1,559                                               | 24<br>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 <sub>3</sub>                             | 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 <sub>4</sub>                               | 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 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 <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 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 <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                 | 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<br>2,94                                                                      | 67<br>89                                        | 1,89<br>1,86                                                                          | 11<br>17                                       | 1,384<br>1,346                                                                         | 11<br>11                                       |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                                              | 5,9<br>3,16<br>2,90<br>2,81<br>2,62                                               | 28<br>100<br>3<br>2<br>6                        | 2,55<br>2,49<br>2,23<br>2,16<br>2,08                                                  | 2<br>2<br>13<br>3<br>6                         | 2,02<br>1,68<br>1,63<br>1,58<br>-                                                      | 3<br>3<br>2<br>3<br>-                          |
| B(OH) <sub>3</sub>                                                                          | 7,66<br>6,84<br>6,07<br>4,59<br>4,24<br>4,035<br>3,858<br>3,382<br>3,178<br>3,099 | 2<br>4<br>7<br>1<br>2<br>1<br>5<br>2<br>10<br>1 | 2,94<br>2,846<br>2,631<br>2,561<br>2,490<br>2,433<br>2,367<br>2,297<br>2,238<br>2,175 | 3<br>3<br>3<br>1<br>3<br>2<br>2<br>4<br>5<br>1 | 2,101<br>1,982<br>1,902<br>1,868<br>1,825<br>1,783<br>1,753<br>1,724<br>1,693<br>1,647 | 4<br>1<br>4<br>1<br>2<br>3<br>3<br>3<br>4<br>3 |
| BPO <sub>4</sub>                                                                            | 3,62<br>3,07<br>2,25<br>1,965<br>1,865<br>1,817                                   | 100<br>7<br>53<br>3<br>17<br>7                  | 1,534<br>1,460<br>1,375<br>1,319<br>1,269<br>1,211                                    | 4<br>17<br>3<br>9<br>5<br>4                    | 1,185<br>1,093<br>1,059<br>1,039<br>-<br>-                                             | 5<br>4<br>3<br>4<br>-<br>-                     |
| Сингалит --<br>BMgAlO <sub>4</sub>                                                          | 4,93<br>3,97<br>3,73<br>3,43<br>3,24<br>2,82<br>2,62<br>2,46<br>2,38              | 7<br>5<br>2<br>1<br>9<br>1<br>9<br>2<br>7       | 2,30<br>2,14<br>1,93<br>1,868<br>1,801<br>1,764<br>1,705<br>1,621<br>1,576            | 7<br>10<br>2<br>2<br>1<br>1<br>4<br>10<br>1    | 1,534<br>1,514<br>1,420<br>1,384<br>1,360<br>1,340<br>1,320<br>-<br>-                  | 4<br>4<br>7<br>2<br>1<br>4<br>1<br>-<br>-      |
| Майергоф-<br>ферит -<br>B <sub>6</sub> Ca <sub>2</sub> O <sub>11</sub><br>7H <sub>2</sub> O | 8,39<br>6,51<br>5,03<br>4,17                                                      | 100<br>100<br>50<br>8                           | 3,65<br>3,50<br>3,30<br>3,17                                                          | 18<br>12<br>35<br>100                          | 3,09<br>2,974<br>2,900<br>2,641                                                        | 18<br>18<br>1<br>18                            |
| B <sub>4</sub> C                                                                            | 4,00<br>3,79<br>3,39<br>2,57<br>2,38<br>2,03                                      | 5<br>15<br>100<br>23<br>38<br>38                | 1,81<br>1,69<br>1,54<br>1,50<br>1,450<br>1,400                                        | 3<br>3<br>3<br>3<br>5<br>5                     | 1,320<br>1,260<br>1,230<br>1,158<br>-<br>-                                             | 5<br>3<br>5<br>5<br>-<br>-                     |

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

|                                                                                      |       |     |       |    |       |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
|                                                                                      | 3,080 | 1   | 1,458 | 9  | 1,183 | 2  |
|                                                                                      | 2,451 | 8   | 1,441 | 4  | 1,145 | 3  |
|                                                                                      | 2,378 | 10  | 1,408 | 4  | 1,124 | 3  |
|                                                                                      | 2,288 | 1   | 1,401 | 2  | 1,110 | 3  |
|                                                                                      | 2,153 | 6   | 1,380 | 2  | 1,084 | 3  |
|                                                                                      | 2,044 | 8   | 1,360 | 4  | 1,039 | 1  |
|                                                                                      | 1,992 | 8   | 1,337 | 2  | 1,024 | 3  |
|                                                                                      | 1,919 | 6   | 1,316 | 2  | -     | -  |
| Байерит —<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$                       | 4,79  | 10  | 2,22  | 10 | 1,60  | 1  |
|                                                                                      | 4,34  | 10  | 2,00  | 1  | 1,55  | 2  |
|                                                                                      | 3,19  | 4   | 1,89  | 2  | 1,44  | 3  |
|                                                                                      | 2,47  | 2   | 1,77  | 1  | 1,39  | 3  |
|                                                                                      | 2,37  | 3   | 1,72  | 7  | 1,33  | 4  |
|                                                                                      | 2,26  | 1   | 1,65  | 1  | 1,21  | 2  |
| Глинозем<br>гидрати-<br>диаспор-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 4,690 | 2   | 1,630 | 10 | 1,283 | 3  |
|                                                                                      | 3,988 | 6   | 1,605 | 3  | 1,262 | 2  |
|                                                                                      | 3,249 | 1   | 1,567 | 2  | 1,240 | 2  |
|                                                                                      | 2,554 | 6   | 1,517 | 2  | 1,221 | 2  |
|                                                                                      | 2,313 | 6   | 1,477 | 8  | 1,201 | 4  |
|                                                                                      | 2,130 | 8   | 1,426 | 3  | 1,176 | 2  |
|                                                                                      | 2,072 | 8   | 1,400 | 3  | 1,171 | 4  |
|                                                                                      | 1,887 | 1   | 1,372 | 6  | 1,144 | 2  |
|                                                                                      | 1,792 | 2   | 1,337 | 2  | 1,091 | 3  |
|                                                                                      | 1,707 | 4   | 1,325 | 2  | -     | -  |
|                                                                                      | 1,673 | 2   | 1,300 | 3  | -     | -  |
| Глинозем<br>гидрати-<br>Бемит-<br>$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   | 6,2   | 6   | 1,577 | 2  | 1,221 | 2  |
|                                                                                      | 3,6   | 8   | 1,521 | 6  | 1,206 | 2  |
|                                                                                      | 2,344 | 10  | 1,452 | 8  | 1,175 | 4  |
|                                                                                      | 1,975 | 3   | 1,430 | 4  | 1,156 | 4  |
|                                                                                      | 1,849 | 10  | 1,379 | 5  | 1,131 | 6  |
|                                                                                      | 1,766 | 3   | 1,306 | 10 | 1,113 | 3  |
|                                                                                      | 1,646 | 7   | 1,248 | 2  | 1,026 | 2  |
| $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$                                                        | 3,52  | 100 | 2,77  | 7  | 1,76  | 13 |
|                                                                                      | 2,98  | 7   | 2,11  | 10 | 1,58  | 10 |
| $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$                                 | 7,0   | 20  | 3,60  | 50 | 2,36  | 75 |
|                                                                                      | 6,8   | 30  | 3,43  | 10 | 2,30  | 10 |
|                                                                                      | 6,3   | 50  | 3,25  | 50 | 2,25  | 10 |
|                                                                                      | 5,7   | 63  | 3,10  | 10 | 2,18  | 25 |
|                                                                                      | 5,3   | 5   | 3,01  | 75 | 2,12  | 5  |
|                                                                                      | 4,90  | 30  | 2,90  | 20 | 2,07  | 10 |
|                                                                                      | 4,50  | 40  | 2,77  | 10 | 2,03  | 20 |
|                                                                                      | 4,05  | 100 | 2,59  | 63 | 2,95  | 20 |
|                                                                                      | 3,78  | 40  | 2,52  | 40 | 1,88  | 25 |

|                                                                                                  |       |     |       |     |       |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|----|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>                                                  | 5,396 | 33  | 2,112 | 42  | 1,414 | 8  |
|                                                                                                  | 3,423 | 100 | 1,869 | 42  | 1,392 | 33 |
|                                                                                                  | 3,368 | 100 | 1,833 | 33  | 1,327 | 50 |
|                                                                                                  | 2,893 | 5   | 1,678 | 58  | 1,306 | 8  |
|                                                                                                  | 2,687 | 50  | 1,597 | 50  | 1,272 | 50 |
|                                                                                                  | 2,546 | 83  | 1,568 | 25  | 1,254 | 33 |
|                                                                                                  | 2,284 | 17  | 1,518 | 83  | -     | -  |
|                                                                                                  | 2,204 | 100 | 1,441 | 50  | -     | -  |
| Мулит -<br>3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>                                   | 5,413 | 50  | 2,208 | 100 | 1,523 | 83 |
|                                                                                                  | 3,423 | 100 | 2,123 | 50  | 1,455 | 17 |
|                                                                                                  | 3,386 | 100 | 1,882 | 25  | 1,441 | 42 |
|                                                                                                  | 2,888 | 42  | 1,839 | 33  | 1,404 | 8  |
|                                                                                                  | 2,693 | 75  | 1,690 | 50  | 1,335 | 25 |
|                                                                                                  | 2,546 | 83  | 1,597 | 50  | 1,276 | 33 |
|                                                                                                  | 2,296 | 33  | 1,580 | 17  | 1,260 | 33 |
|                                                                                                  |       |     |       |     |       |    |
| Каолин –<br>γ-форма<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> ·<br>2H <sub>2</sub> O | 7,2   | 80  | 2,56  | 48  | 1,80  | 8  |
|                                                                                                  | 4,45  | 80  | 2,50  | 48  | 1,67  | 40 |
|                                                                                                  | 4,30  | 64  | 2,34  | 80  | 1,54  | 16 |
|                                                                                                  | 4,20  | 48  | 1,99  | 32  | 1,490 | 56 |
|                                                                                                  | 4,04  | 32  | 1,90  | 8   | 1,310 | 8  |
|                                                                                                  | 3,59  | 100 | 1,85  | 8   | 1,289 | 16 |
|                                                                                                  |       |     | -     | -   | 1,240 | 16 |
|                                                                                                  |       |     |       |     |       |    |
| Диксит-<br>β-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O           | 7,24  | 10  | 1,885 | 5   | 1,292 | 5  |
|                                                                                                  | 4,99  | 2   | 1,872 | 3   | 1,262 | 3  |
|                                                                                                  | 4,48  | 6   | 1,793 | 3   | 1,240 | 3  |
|                                                                                                  | 4,18  | 4   | 1,659 | 8   | 1,110 | 3  |
|                                                                                                  | 3,59  | 8   | 1,564 | 4   | 1,079 | 3  |
|                                                                                                  | 2,597 | 5   | 1,498 | 5   | 1,035 | 4  |
|                                                                                                  | 2,534 | 5   | 1,461 | 4   | -     | -  |
|                                                                                                  | 2,347 | 8   | 1,323 | 7   | -     | -  |
| Накрит-<br>α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O           | 7,15  | 10  | 2,416 | 10  | 1,676 | 4  |
|                                                                                                  | 4,42  | 8   | 2,305 | 2   | 1,618 | 4  |
|                                                                                                  | 4,16  | 6   | 2,100 | 6   | 1,489 | 8  |
|                                                                                                  | 3,59  | 10  | 1,980 | 5   | 1,466 | 4  |
|                                                                                                  | 3,38  | 4   | 1,922 | 6   | 1,372 | 6  |
|                                                                                                  | 3,07  | 4   | 1,788 | 6   | 1,318 | 1  |
|                                                                                                  | 2,540 | 6   | 1,740 | 2   | 1,282 | 2  |
|                                                                                                  | -     | -   | -     | -   | 1,270 | 4  |

|                                                                                                                            |                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                                                                          |                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Монтморил-<br>лонит-<br>(Al,Mg) <sub>2</sub><br>(OH) <sub>2</sub> ·<br>[Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]·H <sub>2</sub> O | 6,30<br>6,09<br>5,49<br>4,47<br>4,05<br>3,78<br>3,42                                                                       | Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Кз.<br>Кз.<br>Ў.                                           | 3,06<br>2,60<br>2,45<br>2,22<br>2,13<br>2,00<br>1,77                                                                                     | Ў.<br>Ку.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Кз.<br>Кз.<br>Кз.                                           | 1,71<br>1,67<br>1,55<br>1,51<br>1,29<br>1,25<br>-                                                                                        | Ў.<br>Ў.<br>Ж.кз.<br>Ж.ку.<br>Ку.<br>Ку.<br>-                            |
| Бейделлит-<br>Al <sub>2</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]<br>(OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O                   | 9,09<br>8,15<br>6,96<br>5,76<br>4,45                                                                                       | Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ку.                                                      | 3,53<br>3,28<br>2,58<br>2,36<br>2,00                                                                                                     | Ку.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ж.кз.                                                       | 1,72<br>1,67<br>1,51<br>1,31<br>1,27                                                                                                     | Ў. кз.<br>Ку.<br>Ж.ку.<br>Ў. ку.<br>Ў.                                   |
| Галлуазит<br>(енделлит)-<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>2SiO <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                       | 11,50<br>8,06<br>5,80<br>4,40<br>4,15<br>3,98<br>3,50<br>-                                                                 | Ж.ку..<br>Ж.кз.<br>Кз.<br>Ку.<br>Ж.кз.<br>Кз.<br>Ў.<br>-                                     | 3,21<br>2,69<br>2,58<br>2,49<br>2,39<br>2,32<br>2,22<br>-                                                                                | Кз.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ж.кз.<br>-                                      | 2,03<br>1,92<br>1,69<br>1,65<br>1,50<br>1,47<br>1,29<br>1,24                                                                             | Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Ку.<br>Ж.ку.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Ку.             |
| Пирофил-<br>лит- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>4SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O                                   | 11,80<br>10,50<br>8,80<br>6,38<br>5,89<br>5,52<br>4,58<br>4,08<br>3,52<br>3,33<br>3,19<br>3,08                             | Ж.кз.<br>Кз.<br>Ку.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ку.<br>Ж.кз.<br>Кз.<br>Ку.<br>Кз.<br>Ж.ку. | 3,00<br>2,91<br>2,72<br>2,60<br>2,43<br>2,40<br>2,11<br>2,09<br>2,00<br>1,98<br>1,91<br>1,85                                             | Кз.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ў. Ку.<br>Ў.<br>Ў.<br>Кз.<br>Ў.<br>Ку.<br>Ж.кз.<br>Ж.кз.<br>Ку. | 1,76<br>1,67<br>1,65<br>1,55<br>1,51<br>1,44<br>1,40<br>1,38<br>1,37<br>1,35<br>1,32<br>-                                                | Кз.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ку.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ку.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ў.<br>Ў.<br>- |
| Галлий-Ga                                                                                                                  | 3,831<br>2,953<br>2,925<br>2,262<br>1,996<br>1,957<br>1,947<br>1,916<br>1,789<br>1,763<br>1,599<br>1,586<br>1,476<br>1,461 | 28<br>100<br>50<br>60<br>85<br>56<br>17<br>16<br>21<br>6<br>11<br>3<br>3<br>14               | 1,2766<br>1,2475<br>1,2379<br>1,2276<br>1,2216<br>1,1928<br>1,1853<br>1,1302<br>1,1119<br>1,0866<br>1,0540<br>1,0496<br>1,0355<br>1,0111 | 4<br>20<br>14<br>5<br>17<br>15<br>4<br>5<br>8<br>3<br>1<br>3<br>4<br>2                   | 0,9706<br>0,9626<br>0,9515<br>0,9369<br>0,8986<br>0,8948<br>0,8923<br>0,8817<br>0,8802<br>0,8690<br>0,8654<br>0,8383<br>0,8376<br>0,8247 | 7<br>3<br>1<br>1<br>4<br>2<br>4<br>7<br>7<br>4<br>3<br>8<br>4<br>5       |

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

|                                                     |       |     |        |     |        |    |
|-----------------------------------------------------|-------|-----|--------|-----|--------|----|
| $\text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$          | 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)<br>оксид- $\text{Y}_2\text{O}_3$       | 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  | -      | -  |
| $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 8,4   | 100 | 2,79   | 15  | 1,92   | 20 |
|                                                     | 5,7   | 60  | 2,61   | 20  | 1,89   | 10 |
|                                                     | 5,3   | 80  | 2,53   | 30  | 1,86   | 10 |
|                                                     | 4,65  | 20  | 2,39   | 20  | 1,83   | 10 |
|                                                     | 4,24  | 20  | 2,30   | 20  | 1,79   | 15 |
|                                                     | 3,91  | 20  | 2,22   | 10  | 1,76   | 15 |
|                                                     | 3,23  | 30  | 2,12   | 60  | 1,70   | 15 |
|                                                     | 3,04  | 15  | 2,05   | 15  | 1,65   | 10 |
|                                                     | 2,98  | 20  | 1,98   | 20  | 1,61   | 10 |
|                                                     | 2,92  | 20  | 1,95   | 10  | 1,54   | 10 |
| $2\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | 7,41  | 63  | 2,486  | 21  | 1,8426 | 80 |
|                                                     | 5,26  | 16  | 2,470  | 39  | 1,8298 | 85 |
|                                                     | 4,69  | 100 | 2,454  | 37  | 1,8164 | 81 |
|                                                     | 4,54  | 16  | 2,291  | 43  | 1,7921 | 32 |
|                                                     | 3,705 | 19  | 2,274  | 28  | 1,7317 | 32 |
|                                                     | 3,326 | 100 | 2,129  | 12  | 1,7235 | 61 |
|                                                     | 3,011 | 100 | 2,090  | 13  | 1,6279 | 27 |
|                                                     | 2,908 | 100 | 2,063  | 87  | 1,6236 | 20 |
|                                                     | 2,884 | 47  | 2,046  | 41  | 1,6126 | 23 |
|                                                     | 2,615 | 48  | 1,9811 | 16  | 1,5759 | 41 |
|                                                     | 2,559 | 64  | 1,9449 | 15  | 1,5661 | 45 |
|                                                     | 2,538 | 29  | 1,9163 | 12  | 1,5621 | 60 |
|                                                     | 2,523 | 61  | 1,9027 | 16  | -      | -  |
| $\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$           | 6,01  | 15  | 3,11   | 60  | 2,580  | 15 |
|                                                     | 5,87  | 20  | 3,003  | 100 | 2,538  | 40 |
|                                                     | 4,03  | 10  | 2,916  | 45  | 2,410  | 20 |
|                                                     | 3,86  | 50  | 2,880  | 85  | 2,261  | 30 |
|                                                     | 3,64  | 10  | 2,772  | 30  | 2,187  | 35 |
|                                                     | 3,51  | 65  | 2,655  | 15  | 2,172  | 54 |
|                                                     | 3,34  | 15  | 2,625  | 15  | 2,041  | 10 |

|                                                                   |                                                                                                                |                                                                     |                                                                                                                            |                                                                    |                                                                                                                            |                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $Y_2O_3 \cdot GeO_2$                                              | 5,93<br>3,70<br>3,59<br>3,38<br>3,16<br>3,033                                                                  | 15<br>30<br>35<br>70<br>10<br>85                                    | 2,973<br>2,951<br>2,826<br>2,620<br>2,547<br>2,438                                                                         | 75<br>60<br>100<br>25<br>40<br>25                                  | 2,300<br>2,220<br>2,208<br>2,059<br>-<br>-                                                                                 | 25<br>25<br>30<br>10<br>-<br>-                                     |
| Лантан-La                                                         | 3,23<br>2,86<br>2,27<br>1,86<br>1,70                                                                           | 100<br>70<br>50<br>50<br>20                                         | 1,61<br>1,55<br>1,52<br>1,45<br>1,36                                                                                       | 20<br>40<br>10<br>20<br>20                                         | 1,23<br>1,17<br>1,11<br>1,08<br>0,98                                                                                       | 30<br>30<br>30<br>10<br>30                                         |
| $La_2O_3$                                                         | 3,41<br>3,063<br>2,980<br>2,278<br>1,968<br>1,753<br>1,705<br>1,656                                            | 34<br>31<br>100<br>58<br>63<br>52<br>4<br>24                        | 1,642<br>1,532<br>1,490<br>1,398<br>1,309<br>1,289<br>1,261<br>1,209                                                       | 17<br>3<br>5<br>2<br>7<br>2<br>12<br>6                             | 1,1879<br>1,1538<br>1,1396<br>1,1367<br>1,0901<br>1,0658<br>1,0220<br>0,9952                                               | 4<br>4<br>2<br>4<br>7<br>4<br>1<br>3                               |
| $La_2 Ga_2 BeO_7$                                                 | 5,14<br>3,765<br>3,520<br>3,130<br>2,905<br>2,755<br>2,564                                                     | 11<br>20<br>10<br>32<br>100<br>24<br>24                             | 2,487<br>2,064<br>1,967<br>1,909<br>1,858<br>1,781<br>1,741                                                                | 44<br>22<br>14<br>8<br>8<br>50<br>18                               | 1,585<br>1,557<br>1,531<br>1,400<br>1,312<br>1,268<br>-                                                                    | 8<br>8<br>15<br>18<br>7<br>7<br>-                                  |
| $La_2 Ti_3 O_{8,7}$                                               | 3,980<br>3,600<br>2,770<br>2,273<br>1,954                                                                      | 15<br>10<br>100<br>25<br>70                                         | 1,751<br>1,593<br>1,382<br>1,300<br>1,233                                                                                  | 10<br>65<br>40<br>5<br>35                                          | 1,177<br>1,129<br>1,083<br>1,044<br>-                                                                                      | 10<br>15<br>5<br>30<br>-                                           |
| Вайншенкит<br>-<br>(La,Nd)[PO <sub>4</sub> ]<br>2H <sub>2</sub> O | 7,55<br>5,22<br>4,70<br>4,20<br>3,74<br>3,01<br>2,83<br>2,61<br>2,52<br>2,47<br>2,44<br>2,37<br>2,162<br>2,083 | 9<br>4<br>5<br>10<br>8<br>9<br>6<br>5<br>2<br>2<br>2<br>4<br>5<br>1 | 2,036<br>2,005<br>1,964<br>1,927<br>1,855<br>1,820<br>1,773<br>1,755<br>1,689<br>1,640<br>1,596<br>1,557<br>1,530<br>1,503 | 4<br>1<br>4<br>1<br>5<br>4<br>6<br>5<br>1<br>5<br>5<br>1<br>1<br>2 | 1,437<br>1,408<br>1,390<br>1,344<br>1,326<br>1,317<br>1,301<br>1,249<br>1,216<br>1,197<br>1,180<br>1,160<br>1,139<br>1,125 | 4<br>1<br>2<br>4<br>1<br>1<br>2<br>4<br>4<br>1<br>1<br>1<br>2<br>1 |

|                                                      |       |     |       |     |       |    |
|------------------------------------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|----|
|                                                      | 2,059 | 4   | 1,489 | 2   | 1,118 | 5  |
| Церий-α-Ce                                           | 2,97  | 100 | 1,481 | 28  | 1,049 | 8  |
|                                                      | 2,57  | 60  | 1,288 | 12  | 0,990 | 4  |
|                                                      | 1,815 | 40  | 1,179 | 16  | 0,910 | 4  |
|                                                      | 1,550 | 40  | 1,143 | 12  |       |    |
| CeO <sub>2</sub>                                     | 3,11  | 100 | 1,237 | 25  | 0,899 | 2  |
|                                                      | 2,69  | 25  | 1,207 | 16  | 0,853 | 4  |
|                                                      | 1,90  | 80  | 1,101 | 20  | 0,816 | 2  |
|                                                      | 1,62  | 60  | 1,037 | 18  | 0,756 | 4  |
|                                                      | 1,55  | 10  | 0,954 | 4   | 0,722 | 4  |
|                                                      | 1,347 | 10  | 0,912 | 14  | 0,703 | 2  |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |
| CeCl <sub>3</sub>                                    | 8,6   | 12  | 3,82  | 30  | 2,30  | 8  |
|                                                      | 7,9   | 8   | 3,31  | 20  | 2,21  | 30 |
|                                                      | 6,8   | 100 | 3,17  | 12  | 2,08  | 2  |
|                                                      | 5,7   | 6   | 3,07  | 2   | 2,01  | 8  |
|                                                      | 5,3   | 30  | 2,83  | 12  | 1,93  | 8  |
|                                                      | 5,0   | 12  | 2,63  | 16  | 1,89  | 8  |
|                                                      | 4,50  | 16  | 2,53  | 4   | 1,82  | 4  |
|                                                      | 4,30  | 30  | 2,48  | 16  | 1,73  | 8  |
|                                                      | 3,99  | 25  | 2,38  | 10  | -     | -  |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |
| Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O | 11,5  | 24  | 4,39  | 100 | 2,53  | 48 |
|                                                      | 10,0  | 16  | 3,97  | 80  | 2,45  | 40 |
|                                                      | 8,7   | 16  | 3,80  | 48  | 2,41  | 32 |
|                                                      | 8,1   | 64  | 3,64  | 32  | 2,30  | 40 |
|                                                      | 6,8   | 80  | 3,35  | 64  | 2,25  | 40 |
|                                                      | 6,3   | 100 | 3,25  | 64  | 2,19  | 32 |
|                                                      | 5,8   | 64  | 3,00  | 32  | 2,11  | 64 |
|                                                      | 5,4   | 80  | 2,91  | 64  | 2,03  | 24 |
|                                                      | 5,2   | 48  | 2,84  | 64  | 2,00  | 16 |
|                                                      | 4,70  | 100 | 2,62  | 80  | 1,95  | 48 |
|                                                      | -     | -   | -     | -   | 1,86  | 32 |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |
| Ce(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O | 6,8   | 13  | 2,98  | 7   | 2,05  | 7  |
|                                                      | 5,8   | 5   | 2,91  | 3   | 2,00  | 10 |
|                                                      | 5,4   | 3   | 2,82  | 10  | 1,88  | 3  |
|                                                      | 4,65  | 100 | 2,70  | 13  | 1,83  | 7  |
|                                                      | 4,41  | 13  | 2,60  | 7   | 1,76  | 5  |
|                                                      | 3,96  | 7   | 2,48  | 3   | 1,67  | 5  |
|                                                      | 3,69  | 7   | 2,39  | 3   | 1,62  | 5  |
|                                                      | 3,45  | 17  | 2,33  | 3   | 1,54  | 3  |
|                                                      | 3,33  | 3   | 2,23  | 3   | -     | -  |
|                                                      | 3,22  | 33  | 2,10  | 10  | -     | -  |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |
|                                                      |       |     |       |     |       |    |

|                                                  |        |     |        |    |        |    |
|--------------------------------------------------|--------|-----|--------|----|--------|----|
| Ce <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                 | 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 <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>   | 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 <sub>1,6</sub> ·2TiO <sub>2</sub>            | 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 <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>8,7</sub> | 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 <sub>3</sub> .                                                                                                         | 3,75<br>2,64<br>2,20<br>1,90<br>1,70<br>1,55                              | 1<br>5<br>4<br>4<br>2<br>5                          | 1,34<br>1,26<br>1,20<br>1,14<br>1,10<br>1,05                                  | 4<br>4<br>5<br>3<br>2<br>2                         | 1,01<br>0,910<br>0,887<br>0,864<br>0,841<br>-                                          | 5<br>2<br>4<br>2<br>4<br>-                         |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                | 3,408<br>3,016<br>2,930<br>2,257<br>1,947<br>1,735<br>1,685               | 20<br>100<br>90<br>40<br>35<br>65<br>5              | 1,642<br>1,630<br>1,524<br>1,480<br>1,3898<br>1,3010<br>1,2535                | 45<br>45<br>30<br>15<br>15<br>20<br>20             | 1,2018<br>1,1810<br>1,1476<br>1,1330<br>1,0832<br>1,0587<br>1,0167                     | 20<br>10<br>35<br>10<br>20<br>15<br>10             |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>11Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                          | 3,67<br>2,76<br>2,62<br>2,47<br>2,28<br>2,20<br>2,12<br>2,00<br>1,85      | 20<br>45<br>85<br>70<br>30<br>35<br>65<br>55<br>15  | 1,81<br>1,71<br>1,575<br>1,538<br>1,459<br>1,388<br>1,349<br>1,316<br>1,288   | 10<br>25<br>60<br>100<br>5<br>35<br>5<br>35<br>5   | 1,230<br>1,185<br>1,160<br>1,143<br>1,120<br>1,107<br>1,080<br>1,042<br>1,032          | 20<br>10<br>10<br>15<br>15<br>16<br>10<br>35<br>35 |
| Ce <sub>2</sub> Zr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>                                                                                | 6,23<br>3,23<br>3,10<br>2,68<br>2,46<br>2,20<br>2,060<br>1,893<br>1,811   | 3<br>5<br>100<br>42<br>10<br>3<br>4<br>90<br>10     | 1,614<br>1,545<br>1,501<br>1,390<br>1,338<br>1,304<br>1,226<br>1,197<br>1,172 | 80<br>30<br>2<br>2<br>20<br>3<br>54<br>38<br>4     | 1,0926<br>1,0302<br>0,9463<br>0,9359<br>0,9047<br>0,8923<br>0,8462<br>0,8160<br>0,8068 | 40<br>45<br>20<br>2<br>30<br>20<br>15<br>10<br>10  |
| Цералит –<br>(Ce <sup>4+</sup> , Ca <sup>2+</sup> )·<br>Al <sup>3+</sup> (O <sup>2-</sup> ,<br>F <sup>1-</sup> ) <sub>3</sub> | 3,7<br>2,9<br>2,61<br>2,16<br>2,06<br>1,85<br>1,66<br>1,52<br>1,48        | 1<br>2<br>5<br>4<br>2<br>4<br>2<br>5<br>1           | 1,38<br>1,32<br>1,24<br>1,20<br>1,13<br>1,11<br>1,08<br>1,04<br>1,00          | 1<br>4<br>4<br>5<br>3<br>2<br>2<br>2<br>5          | 0,936<br>0,909<br>0,885<br>0,861<br>0,838<br>0,816<br>0,802<br>-<br>-                  | 1<br>2<br>4<br>2<br>4<br>2<br>2<br>-<br>-          |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                | 3,30<br>2,99<br>2,90<br>2,22<br>1,916<br>1,714<br>1,616<br>1,598<br>1,502 | 30<br>30<br>100<br>30<br>40<br>50<br>40<br>30<br>10 | 1,453<br>1,367<br>1,278<br>1,229<br>1,183<br>1,156<br>1,131<br>1,107<br>1,064 | 20<br>10<br>20<br>20<br>20<br>10<br>20<br>10<br>20 | 1,041<br>0,974<br>0,960<br>0,914<br>0,890<br>0,868<br>0,838<br>0,832<br>-              | 10<br>20<br>20<br>10<br>10<br>10<br>10<br>10<br>-  |

|                                                        |                                                                              |                                                        |                                                                                    |                                                     |                                                                                    |                                                 |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                        |                                                                              |                                                        |                                                                                    |                                                     |                                                                                    |                                                 |
| $\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 7,66<br>6,88<br>5,14<br>5,01<br>4,76<br>4,56<br>4,42                         | 100<br>20<br>30<br>15<br>5<br>10<br>15                 | 4,19<br>4,05<br>4,02<br>3,74<br>3,46<br>3,38<br>3,24                               | 10<br>5<br>15<br>5<br>10<br>20<br>40                | 3,18<br>3,16<br>3,10<br>3,07<br>2,95<br>2,83<br>-                                  | 10<br>50<br>25<br>5<br>10<br>15<br>-            |
| $\text{NdAlO}_3$                                       | 3,74<br>2,64<br>2,15<br>1,86                                                 | 40<br>100<br>43<br>55                                  | 1,66<br>1,53<br>1,33<br>1,32                                                       | 33<br>61<br>23<br>25                                | 1,25<br>1,09<br>-<br>-                                                             | 48<br>5<br>-<br>-                               |
| $\text{Nd}(\text{OH})_3$                               | 7,89<br>3,93<br>3,46<br>3,38<br>3,16<br>2,970                                | 60<br>100<br>20<br>55<br>25<br>70                      | 2,614<br>2,084<br>1,993<br>1,906<br>1,876<br>1,774                                 | 80<br>30<br>30<br>5<br>30<br>10                     | 1,640<br>1,582<br>1,565<br>1,553<br>1,364<br>1,303                                 | 15<br>15<br>5<br>5<br>5<br>5                    |
| $\text{NdCl}_3$                                        | 6,08<br>3,47<br>2,85<br>2,59<br>2,25<br>2,18<br>2,00<br>1,96<br>1,92<br>1,77 | 20<br>75<br>75<br>100<br>4<br>30<br>50<br>1<br>7<br>25 | 1,73<br>1,59<br>1,56<br>1,50<br>1,453<br>1,420<br>1,390<br>1,353<br>1,313<br>1,270 | 30<br>50<br>15<br>10<br>6<br>13<br>1<br>2<br>7<br>8 | 1,248<br>1,230<br>1,202<br>1,190<br>1,124<br>1,103<br>1,080<br>1,060<br>1,050<br>- | 6<br>10<br>1<br>6<br>4<br>7<br>8<br>7<br>7<br>- |
| $\text{Nd}_2\text{Ti}_3\text{O}_{8,7}$                 | 3,900<br>3,488<br>2,733<br>2,240<br>1,931                                    | 10<br>10<br>100<br>25<br>50                            | 1,728<br>1,578<br>1,368<br>1,289<br>1,220                                          | 10<br>65<br>30<br>5<br>25                           | 1,168<br>1,118<br>1,072<br>1,034<br>-                                              | 5<br>10<br>5<br>35<br>-                         |

|                                                                  |       |     |       |    |       |    |
|------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
| Европий (III)<br>Оксид –<br>Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(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 <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                                       | 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) <sub>3</sub>                                                 | 5,52   | 70  | 1,733  | 6   | 1,194  | 10 |
|                                                                      | 3,18   | 55  | 1,589  | 2   | 1,189  | 2  |
|                                                                      | 3,05   | 100 | 1,585  | 14  | 1,171  | 2  |
|                                                                      | 2,757  | 20  | 1,527  | 4   | 1,114  | 4  |
|                                                                      | 2,399  | 6   | 1,524  | 4   | 1,099  | 2  |
|                                                                      | 2,202  | 50  | 1,410  | 8   | 1,051  | 8  |
|                                                                      | 2,083  | 6   | 1,374  | 6   | 1,039  | 2  |
|                                                                      | 1,837  | 16  | 1,295  | 8   | 1,004  | 8  |
|                                                                      | 1,828  | 20  | 1,262  | 2   | 1,002  | 10 |
|                                                                      | 1,810  | 35  | 1,201  | 10  | -      | -  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | -      | -  |
| 3Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>5Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,063  | 14  | 1,6874 | 4   | 1,1323 | 8  |
|                                                                      | 4,384  | 6   | 1,6573 | 35  | 1,1049 | 4  |
|                                                                      | 3,314  | 8   | 1,5749 | 6   | 1,0962 | 6  |
|                                                                      | 3,099  | 30  | 1,5504 | 14  | 1,0713 | 2  |
|                                                                      | 2,773  | 100 | 1,3866 | 10  | 1,0336 | 4  |
|                                                                      | 2,531  | 45  | 1,3534 | 18  | 1,0196 | 6  |
|                                                                      | 2,432  | 4   | 1,3374 | 4   | 1,0128 | 4  |
|                                                                      | 2,264  | 10  | 1,3224 | 8   | 1,0060 | 8  |
|                                                                      | 2,192  | 4   | 1,2796 | 2   | 0,9867 | 4  |
|                                                                      | 2,012  | 12  | 1,2531 | 2   | 0,9627 | 1  |
|                                                                      | 1,829  | 2   | 1,2162 | 2   | 0,9349 | 6  |
|                                                                      | 1,790  | 14  | 1,1827 | 2   | 0,9244 | 10 |
|                                                                      | 1,7196 | 30  | 1,1517 | 18  | 0,9194 | 1  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | 0,9142 | 6  |
|                                                                      | -      | -   | -      | -   | -      | -  |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>11Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>3</sub> O <sub>7</sub>                                | 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 |
| Гадалиний<br>(III)—Оксид<br>Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·<br>Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 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 <sub>3</sub> Ga <sub>2</sub><br>(GaO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>  | 5,05  | 16  | 2,77   | 100 | 1,53   | 40 |
|                                                                      | -     | -   | -      | -   | 1,65   | 3  |

|                                                                    |       |     |       |    |        |    |
|--------------------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|--------|----|
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 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)<br>—Оксид<br>Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>          | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>12</sub>                                                  | 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<br>(Алмаз)                                   | 2,05  | 100 | 0,558 | 15 | 0,409 | 8  |
|                                                         | 1,26  | 50  | 0,538 | 6  | 0,397 | 5  |
|                                                         | 1,072 | 40  | 0,507 | 3  | 0,389 | 8  |
|                                                         | 0,885 | 10  | 0,496 | 8  | 0,378 | 5  |
|                                                         | 0,813 | 25  | 0,473 | 20 | 0,372 | 5  |
|                                                         | 0,721 | 40  | 0,462 | 15 | 0,363 | 7  |
|                                                         | 0,680 | 20  | 0,442 | 5  | 0,358 | 20 |
|                                                         | 0,625 | 10  | 0,432 | 3  | -     | -  |
|                                                         | 0,597 | 20  | 0,417 | 12 | -     | -  |
| С-(Графит)                                              | 3,38  | 100 | 1,150 | 9  | 0,796 | 1  |
|                                                         | 2,12  | 5   | 1,120 | 1  | 0,707 | 1  |
|                                                         | 2,02  | 10  | 1,049 | 1  | 0,695 | 1  |
|                                                         | 1,69  | 10  | 1,991 | 3  | -     | -  |
|                                                         | 1,227 | 18  | 0,828 | 1  | -     | -  |
| Эвенкит –<br>C <sub>21</sub> H <sub>48</sub>            | 9,36  | 1   | 2,245 | 8  | 1,571 | 1  |
|                                                         | 4,66  | 5   | 2,150 | 3  | 1,515 | 4  |
|                                                         | 4,183 | 10  | 2,124 | 6  | 1,460 | 2  |
|                                                         | 3,744 | 9   | 2,079 | 3  | 1,426 | 2  |
|                                                         | 3,348 | 1   | 2,015 | 3  | 1,386 | 3  |
|                                                         | 3,024 | 5   | 1,914 | 5  | 1,299 | 4  |
|                                                         | 2,783 | 3   | 1,866 | 3  | 1,243 | 4  |
|                                                         | 2,627 | 1   | 1,751 | 6  | 1,214 | 4  |
|                                                         | 2,515 | 7   | 1,718 | 1  | 1,116 | 4  |
|                                                         | 2,461 | 2   | 1,658 | 5  | 1,102 | 2  |
|                                                         | 2,415 | 4   | 1,623 | 3  | 1,026 | 3  |
| Кертисит –<br>C <sub>24</sub> H <sub>18</sub> O         | 18,1  | 10  | 5,62  | 7  | 3,78  | 5  |
|                                                         | 9,4   | 1   | 5,06  | 10 | 3,42  | 10 |
|                                                         | 8,4   | 5   | 4,59  | 5  | -     | -  |
|                                                         | 6,23  | 2   | 4,09  | 9  | -     | -  |
| [C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]Ca·<br>H <sub>2</sub> O | 5,95  | 100 | 2,497 | 20 | 1,850 | 1  |
|                                                         | 5,81  | 5   | 2,455 | 1  | 1,848 | 1  |
|                                                         | 4,53  | 5   | 2,422 | 1  | 1,826 | 1  |
|                                                         | 3,773 | 5   | 2,388 | 1  | 1,818 | 1  |
|                                                         | 3,652 | 90  | 2,357 | 80 | 1,794 | 1  |
|                                                         | 3,414 | 1   | 2,262 | 20 | 1,737 | 1  |
|                                                         | 3,321 | 1   | 2,213 | 5  | 1,693 | 1  |
|                                                         | 3,105 | 5   | 2,135 | 1  | 1,644 | 1  |
|                                                         | 3,002 | 1   | 2,076 | 10 | 1,588 | 1  |
|                                                         | 2,971 | 50  | 1,978 | 5  | 1,552 | 1  |
|                                                         | 2,906 | 10  | 1,955 | 5  | 1,528 | 1  |
|                                                         | 2,842 | 10  | 1,930 | 5  | 1,505 | 1  |
|                                                         | 2,639 | 1   | 1,891 | 5  | 1,480 | 1  |
|                                                         | -     | -   | -     | -  | 1,458 | 1  |

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

|                                                                    |       |        |       |       |        |       |
|--------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| Паст<br>ҳароратли<br>$\beta$ – кристо-<br>балит-<br>$\text{SiO}_2$ | 4,04  | 100    | 1,692 | 3     | 1,345  | 1     |
|                                                                    | 3,138 | 12     | 1,642 | 1     | 1,336  | 1     |
|                                                                    | 2,845 | 14     | 1,612 | 5     | 1,301  | 2     |
|                                                                    | 2,489 | 18     | 1,604 | 2     | 1,282  | 2     |
|                                                                    | 2,468 | 6      | 1,574 | 1     | 1,235  | 1     |
|                                                                    | 2,342 | 1      | 1,535 | 2     | 1,224  | 1     |
|                                                                    | 2,121 | 4      | 1,495 | 3     | 1,207  | 1     |
|                                                                    | 2,024 | 3      | 1,432 | 2     | 1,1842 | 2     |
|                                                                    | 1,932 | 4      | 1,423 | 1     | 1,1762 | 1     |
|                                                                    | 1,874 | 4      | 1,401 | 1     | 1,1659 | 1     |
|                                                                    | 1,756 | 1      | 1,368 | 1     | 1,1556 | 1     |
|                                                                    | 1,736 | 1      | 1,353 | 1     | 1,1112 | 1     |
|                                                                    | -     | -      | -     | -     | 1,0989 | 3     |
| Китит-<br>$\text{SiO}_2$                                           | 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     |
| $\text{SiC}$                                                       | 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     |
| $\text{ZrSi}_2$                                                    | 7,372 | Ж.кз   | 1,821 | Ў.    | 1,228  | Ў.    |
|                                                                    | 3,682 | Кз.    | 1,639 | Ку.   | 1,204  | Ж.кз. |
|                                                                    | 3,600 | Кз.    | 1,615 | Кз.   | 0,915  | Кз.   |
|                                                                    | 3,279 | Ку.    | 1,589 | Кз.   | 0,908  | Ж.кз. |
|                                                                    | 2,960 | Кз.    | 1,527 | Ў.    | 0,888  | Ў.    |
|                                                                    | 2,563 | Ку.    | 1,509 | Ж.кз. | 0,874  | Кз.   |
|                                                                    | 2,456 | Ў.     | 1,473 | Ў.    | 0,868  | Ў.    |
|                                                                    | 2,299 | Ж. ку. | 1,434 | Ў.    | 0,857  | Ж.кз. |
|                                                                    | 2,039 | Ў.     | 1,386 | Кз.   | 0,854  | Ў.    |
|                                                                    | 1,953 | Кз.    | 1,303 | Ў.    | 0,850  | Кз.   |
|                                                                    | 1,841 | Ў.     | 1,259 | Кз.   | 0,843  | Ў.    |
| Германий –<br>$\text{Ge}$                                          | 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     |
| $\text{GeO}_2$                                                     | 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 <sub>4</sub>                                       | 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 <sub>3</sub> Bi <sub>4</sub> O <sub>12</sub>        | 4,24   | Ү.  | 1,798  | Ү.  | 1,431  | Ү.  |
|                                                        | 3,26   | Ku. | 1,704  | Ү.  | 1,404  | Ү.  |
|                                                        | 2,76   | Ku. | 1,661  | Ү.  | 1,335  | Ү.  |
|                                                        | 2,59   | Ү.  | 1,619  | Ү.  | 1,296  | Ү.  |
|                                                        | 2,12   | Ү.  | 1,548  | Ү.  | 1,258  | Kз. |
|                                                        | 2,04   | Ү.  | 1,514  | Kз. | -      | -   |
| GeO <sub>2</sub> · 2ZnO                                | 1,915  | Kз. | 1,486  | Ү.  | -      | -   |
|                                                        | 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  |
| 7GeO <sub>2</sub> ·<br>2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,63   | 60  | 1,19   | 40  | -      | -   |
|                                                        | 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  | -      | -   |
| Қалай –<br>α- Sn                                       | 2,260  | 10  | 1,549  | 70  | -      | -   |
|                                                        | 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  |
| β - Sn                                                 | 1,489  | 20  | 1,0260 | 9   | 0,8430 | 12  |
|                                                        | 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 <sub>2</sub>                                | 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 <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 6,9   | 7   | 2,68   | 27 | 1,90   | 17 |
|                                                 | 6,1   | 3   | 2,48   | 27 | 1,77   | 33 |
|                                                 | 4,39  | 33  | 2,39   | 17 | 1,71   | 7  |
|                                                 | 3,98  | 100 | 2,30   | 20 | 1,65   | 7  |
|                                                 | 3,42  | 20  | 2,06   | 3  | 1,482  | 7  |
|                                                 | 3,11  | 100 | 2,01   | 13 | 1,445  | 8  |
|                                                 | 2,78  | 20  | 1,96   | 17 | -      | -  |
| Күрғошин – Pb                                   | 2,85  | 100 | 1,490  | 50 | 1,105  | 17 |
|                                                 | 2,47  | 50  | 1,428  | 17 | -      | -  |
|                                                 | 1,74  | 50  | 1,134  | 17 | -      | -  |
| PbO (сарик)                                     | 5,893 | 6   | 2,278  | 1  | 1,724  | 15 |
|                                                 | 3,067 | 100 | 2,203  | 1  | 1,640  | 13 |
|                                                 | 2,946 | 31  | 2,008  | 12 | 1,596  | 1  |
|                                                 | 2,744 | 28  | 1,963  | 2  | 1,534  | 9  |
|                                                 | 2,493 | 1   | 1,850  | 14 | 1,514  | 2  |
|                                                 | 2,377 | 20  | 1,797  | 14 | 1,474  | 11 |
| PbO (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 <sub>2</sub>               | 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 <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | 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 <sub>3</sub>              | 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·<br>2SiO <sub>2</sub> | 5,26  | 50  | 2,12  | 35 | 1,489 | 5  |
|                                | 4,01  | 20  | 1,943 | 18 | 1,432 | 10 |
|                                | 3,85  | 20  | 1,928 | 8  | 1,336 | 8  |
|                                | 3,58  | 35  | 1,887 | 14 | 1,331 | 8  |
|                                | 3,19  | 75  | 1,868 | 8  | 1,302 | 12 |
|                                | 2,96  | 100 | 1,823 | 40 | 1,296 | 8  |
|                                | 2,83  | 15  | 1,777 | 20 | 1,285 | 10 |
|                                | 2,63  | 30  | 1,752 | 6  | 1,232 | 10 |
|                                | 2,53  | 25  | 1,575 | 16 | 1,219 | 10 |
|                                | 2,28  | 8   | 1,562 | 15 | 1,192 | 8  |
|                                | 2,20  | 8   | 1,533 | 8  | -     | -  |
| PbO·TiO <sub>2</sub>           | 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 <sub>5</sub> [AsO <sub>4</sub> ,PO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> ·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 <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> ·(OH) <sub>2</sub> | 6,01  | 6   | 3,04  | 6  | 2,31  | 1  |
|                                                                       | 4,59  | 6   | 2,96  | 8  | 1,91  | 6  |
|                                                                       | 4,52  | 1   | 2,81  | 6  | 1,81  | 6  |
|                                                                       | 4,18  | 6   | 2,73  | 6  | 1,73  | 1  |
|                                                                       | 3,52  | 8   | 2,55  | 10 | 1,68  | 1  |
|                                                                       | 3,31  | 1   | 2,46  | 4  | 1,61  | 4  |
|                                                                       | 3,24  | 10  | 2,45  | 4  | -     | -  |
|                                                                       | 3,07  | 6   | 2,32  | 1  | -     | -  |
| Дюфтит – PbCu[AsO <sub>4</sub> ]·(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-Ti                                                              | 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 <sub>2</sub> (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 <sub>2</sub> (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 <sub>2</sub> (брукит)                                             | 3,46  | 6   | 2,45  | 8  | 1,681 | 10 |
|                                                                       | 3,22  | 10  | 2,17  | 4  | 1,619 | 6  |
|                                                                       | 2,87  | 6   | 1,881 | 4  | 1,356 | 8  |
| Браннерит-UTi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>                             | 3,42  | 10  | 2,276 | 7  | 1,623 | 6  |
|                                                                       | 3,32  | 6   | 1,903 | 8  | -     | -  |
|                                                                       | 2,455 | 7   | 1,861 | 6  | -     | -  |

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

|                                                          |       |     |        |    |        |    |
|----------------------------------------------------------|-------|-----|--------|----|--------|----|
| Zr(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ·<br>5H <sub>2</sub> O | 9,6   | 100 | 2,56   | 18 | 1,70   | 5  |
|                                                          | 6,9   | 100 | 2,43   | 15 | 1,64   | 10 |
|                                                          | 6,1   | 5   | 2,33   | 15 | 1,59   | 3  |
|                                                          | 5,2   | 10  | 2,17   | 15 | 1,55   | 5  |
|                                                          | 4,73  | 50  | 2,13   | 15 | 1,51   | 3  |
|                                                          | 4,21  | 18  | 2,07   | 13 | 1,476  | 3  |
|                                                          | 3,64  | 20  | 1,98   | 13 | 1,390  | 3  |
|                                                          | 3,49  | 15  | 1,91   | 8  | 1,360  | 5  |
|                                                          | 3,25  | 38  | 1,81   | 10 | 1,295  | 3  |
|                                                          | 3,03  | 10  | 1,74   | 8  | 1,228  | 3  |
| Гафний – Hf                                              | 2,768 | 27  | 1,336  | 12 | 0,9671 | 2  |
|                                                          | 2,531 | 34  | 1,256  | 4  | 0,9502 | 5  |
|                                                          | 2,428 | 100 | 1,214  | 3  | 0,9336 | 3  |
|                                                          | 1,866 | 16  | 1,1303 | 3  | 0,8891 | 5  |
|                                                          | 1,599 | 14  | 1,0697 | 4  | 0,8668 | 4  |
|                                                          | 1,440 | 16  | 1,0464 | 1  | 0,8428 | 1  |
|                                                          | 1,385 | 2   | 1,0247 | 6  | 0,8168 | 2  |
|                                                          | 1,351 | 16  | 0,9917 | 5  | 0,8060 | 3  |
| HfO <sub>2</sub>                                         | 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 <sub>2</sub><br>8H <sub>2</sub> 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 <sub>4</sub> 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 <sub>4</sub> 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 <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                  | 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 <sub>4</sub> )HSO <sub>4</sub>               | 4,75  | 100 | 2,43  | 27 | 1,87  | 7  |
|                                                  | 3,90  | 83  | 2,35  | 7  | 1,80  | 20 |
|                                                  | 3,69  | 100 | 2,24  | 13 | 1,66  | 13 |
|                                                  | 3,15  | 40  | 2,18  | 13 | 1,62  | 13 |
|                                                  | 3,06  | 40  | 2,11  | 20 | 1,58  | 7  |
|                                                  | 2,84  | 40  | 2,01  | 7  | 1,493 | 27 |
|                                                  | 2,61  | 100 | 1,95  | 27 | -     | -  |
|                                                  |       |     |       |    |       |    |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> | 4,85  | 100 | 1,717 | 1  | 1,166 | 4  |
|                                                  | 4,20  | 66  | 1,614 | 83 | 1,123 | 17 |
|                                                  | 2,969 | 50  | 1,485 | 50 | 1,093 | 17 |
|                                                  | 2,535 | 25  | 1,420 | 33 | 0,991 | 3  |
|                                                  | 2,423 | 83  | 1,329 | 17 | 0,970 | 8  |
|                                                  | 2,100 | 100 | 1,269 | 1  | 0,940 | 3  |
|                                                  | 1,928 | 2   | 1,213 | 2  | 0,895 | 3  |
|                                                  | 1,879 | 3   | 1,189 | 33 | -     | -  |
|                                                  |       |     |       |    |       |    |

|                                                                |      |     |       |     |       |    |
|----------------------------------------------------------------|------|-----|-------|-----|-------|----|
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | 6,6  | 58  | 2,48  | 30  | 1,82  | 25 |
|                                                                | 5,1  | 100 | 2,33  | 18  | 1,50  | 10 |
|                                                                | 3,77 | 16  | 2,05  | 25  | 1,465 | 10 |
|                                                                | 3,37 | 83  | 2,00  | 10  | 1,425 | 10 |
|                                                                | 3,04 | 40  | 1,92  | 10  | 1,350 | 7  |
|                                                                | 2,77 | 27  | 1,87  | 10  | 1,290 | 7  |
| Фосфор-<br>Р-қизил                                             | 4,22 | 100 | 3,24  | 60  | 2,32  | 30 |
|                                                                | 3,64 | 60  | 2,59  | 60  | -     | -  |
| Фосфор-<br>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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                  | 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 <sub>5</sub>                                               | 6,7  | 3   | 2,78  | 100 | 1,79  | 5  |
|                                                                | 5,8  | 13  | 2,44  | 20  | 1,67  | 3  |
|                                                                | 4,98 | 100 | 2,32  | 10  | 1,60  | 13 |
|                                                                | 4,69 | 75  | 2,19  | 10  | 1,57  | 5  |
|                                                                | 3,98 | 20  | 2,08  | 5   | 1,472 | 5  |
|                                                                | 3,66 | 5   | 2,01  | 15  | 1,420 | 5  |
|                                                                | 3,47 | 15  | 1,94  | 13  | 1,300 | 3  |
|                                                                | 2,95 | 50  | 1,86  | 3   | 1,212 | 3  |
|                                                                | 2,87 | 25  | 1,82  | 3   | -     | -  |
|                                                                |      |     |       |     |       |    |

|                                   |       |     |       |    |       |    |
|-----------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|----|
| (PNCL <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> | 7,63  | 39  | 2,88  | 6  | 2,12  | 8  |
|                                   | 5,25  | 26  | 2,71  | 9  | 2,04  | 2  |
|                                   | 4,72  | 2   | 2,68  | 13 | 2,01  | 2  |
|                                   | 4,00  | 5   | 2,54  | 7  | 1,953 | 1  |
|                                   | 3,83  | 55  | 2,47  | 3  | 1,910 | 1  |
|                                   | 3,77  | 11  | 2,42  | 6  | 1,859 | 1  |
|                                   | 3,43  | 100 | 2,40  | 6  | 1,759 | 3  |
|                                   | 3,23  | 8   | 2,35  | 5  | 1,713 | 13 |
|                                   | 3,10  | 8   | 2,30  | 2  | 1,670 | 3  |
|                                   | 2,98  | 18  | 2,25  | 1  | 1,631 | 3  |
| Мишгьяк - As                      | 3,555 | 76  | 1,368 | 20 | 1,023 | 96 |
|                                   | 3,180 | 100 | 1,286 | 28 | 0,998 | 40 |
|                                   | 2,780 | 4   | 1,223 | 92 | 0,955 | 64 |
|                                   | 2,054 | 12  | 1,201 | 24 | 0,942 | 72 |
|                                   | 1,891 | 8   | 1,182 | 84 | 0,929 | 44 |
|                                   | 1,781 | 16  | 1,119 | 36 | 0,922 | 44 |
|                                   | 1,764 | 16  | 1,107 | 36 | 0,908 | 88 |
|                                   | 1,662 | 48  | 1,088 | 56 | 0,891 | 52 |
|                                   | 1,562 | 32  | 1,068 | 60 | 0,854 | 68 |
|                                   | 1,387 | 20  | 1,041 | 80 | -     | -  |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 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 <sub>2</sub> S <sub>3</sub>    | 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 <sub>3</sub>               | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 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 <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>               | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> ·CrO <sub>4</sub>                            | 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 <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                   | 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 <sub>5</sub>                                | 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) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·<br>16H <sub>2</sub> O | 6,3   | 32  | 3,30  | 28  | 2,03  | 8   |
|                                                                           | 5,8   | 32  | 3,16  | 16  | 1,98  | 8   |
|                                                                           | 5,4   | 32  | 3,04  | 28  | 1,92  | 20  |
|                                                                           | 5,1   | 8   | 2,82  | 28  | 1,88  | 8   |
|                                                                           | 4,55  | 100 | 2,70  | 24  | 1,75  | 4   |
|                                                                           | 4,35  | 50  | 2,64  | 28  | 1,64  | 4   |
|                                                                           | 3,90  | 24  | 2,47  | 12  | 1,55  | 4   |
|                                                                           | 3,70  | 16  | 2,34  | 20  | 1,450 | 6   |
|                                                                           | 3,51  | 50  | 2,18  | 20  | -     | -   |
| Ниобий- Nb                                                                | 2,33  | 100 | 1,16  | 6   | 0,879 | 6   |
|                                                                           | 1,65  | 20  | 1,041 | 10  | 0,775 | 2   |
|                                                                           | 1,34  | 32  | 0,950 | 1   | 0,736 | 1   |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                            | 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 <sub>5</sub>                                                         | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                   | 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 <sub>x</sub>                                                 | 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 <sub>x</sub>                                                 | 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 <sub>2</sub>                                                 | 4,719 | 60  | 1,927 | 50  | 1,309 | 30 |
|                                                                  | 2,722 | 100 | 1,669 | 70  | 1,285 | 20 |
|                                                                  | 2,521 | 10  | 1,572 | 40  | 1,261 | 20 |
|                                                                  | 2,352 | 60  | 1,491 | 10  | 1,146 | 30 |
|                                                                  | 2,229 | 30  | 1,458 | 30  | 1,114 | 50 |
|                                                                  | 2,112 | 30  | 1,423 | 40  | 1,084 | 30 |
|                                                                  | 2,012 | 20  | 1,396 | 20  | -     | -  |
|                                                                  |       |     |       |     |       |    |
| (Ta, Co, Ge) O                                                   | 2,384 | 100 | 2,008 | 80  | 1,430 | 50 |
|                                                                  | 2,357 | 50  | 1,950 | 20  | 1,417 | 20 |
|                                                                  | 2,270 | 100 | 1,826 | 20  | 1,278 | 50 |
|                                                                  | 2,225 | 50  | 1,768 | 20  | -     | -  |

|                                                        |       |     |       |    |        |    |
|--------------------------------------------------------|-------|-----|-------|----|--------|----|
| Хром-Cr                                                | 2,052 | 100 | 0,909 | 60 | 0,6775 | 40 |
|                                                        | 1,436 | 40  | 0,829 | 20 | 0,6420 | 30 |
|                                                        | 1,172 | 80  | 0,768 | 70 | 0,6120 | 30 |
|                                                        | 1,014 | 50  | 0,718 | 10 | 0,5865 | 30 |
| CrO <sub>3</sub>                                       | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                         | 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 <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> 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 <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O | 7,0   | 12  | 2,87  | 2  | 2,03   | 12 |
|                                                        | 5,5   | 16  | 2,81  | 12 | 1,97   | 6  |
|                                                        | 4,98  | 8   | 2,72  | 12 | 1,93   | 16 |
|                                                        | 4,31  | 100 | 2,59  | 6  | 1,85   | 4  |
|                                                        | 4,08  | 30  | 2,48  | 12 | 1,74   | 4  |
|                                                        | 3,68  | 60  | 2,34  | 6  | 1,69   | 8  |
|                                                        | 3,26  | 35  | 2,25  | 6  | 1,63   | 10 |
|                                                        | 3,04  | 30  | 2,15  | 4  | -      | -  |
| Молибден-Mo                                            | 2,22  | 100 | 0,908 | 7  | 0,672  | 9  |
|                                                        | 1,57  | 56  | 0,841 | 23 | 0,643  | 6  |
|                                                        | 1,281 | 37  | 0,787 | 3  | 0,617  | 14 |
|                                                        | 1,114 | 17  | 0,742 | 14 | -      | -  |
|                                                        | 0,995 | 23  | 0,704 | 11 | -      | -  |

|                                   |       |     |       |    |        |    |
|-----------------------------------|-------|-----|-------|----|--------|----|
| Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 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 <sub>2</sub>                  | 4,78  | 20  | 2,405 | 40 | 1,833  | 35 |
|                                   | 3,41  | 100 | 2,398 | 50 | 1,718  | 55 |
|                                   | 2,804 | 30  | 2,176 | 30 | 1,704  | 80 |
|                                   | 2,433 | 50  | 2,171 | 10 | 1,692  | 50 |
|                                   | 2,420 | 85  | 2,147 | 30 | -      | -  |
| MoO <sub>3</sub>                  | 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 <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> | 5,546 | 5   | 3,002 | 5  | 2,334  | 15 |
|                                   | 5,379 | 40  | 2,927 | 5  | 2,299  | 5  |
|                                   | 4,750 | 25  | 2,857 | 25 | 2,268  | 20 |
|                                   | 3,950 | 100 | 2,785 | 25 | 2,217  | 5  |
|                                   | 3,752 | 10  | 2,690 | 5  | 2,140  | 5  |
|                                   | 3,661 | 20  | 2,658 | 5  | 2,116  | 5  |
|                                   | 3,505 | 45  | 2,482 | 30 | 2,070  | 15 |
|                                   | 3,350 | 20  | 2,438 | 5  | 2,011  | 5  |
|                                   | 3,136 | 10  | 2,403 | 5  | 1,9741 | 10 |
|                                   | 3,075 | 5   | 2,381 | 10 | -      | -  |
| Вольфрам –<br>W                   | 2,23  | 100 | 1,000 | 29 | 0,707  | 6  |
|                                   | 1,58  | 29  | 0,913 | 6  | 0,674  | 6  |
|                                   | 1,290 | 71  | 0,846 | 34 | 0,622  | 6  |
|                                   | 1,117 | 17  | 0,745 | 11 | -      | -  |
| WO <sub>2</sub>                   | 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 <sub>3</sub>                               | 3,835<br>3,762<br>3,642<br>3,342<br>3,109<br>3,076                  | 100<br>95<br>100<br>50<br>50<br>50              | 2,684<br>2,661<br>2,617<br>2,528<br>2,509<br>2,172                    | 75<br>60<br>90<br>35<br>40<br>50             | 2,149<br>2,098<br>2,038<br>2,020<br>2,011                             | 60<br>10<br>40<br>30<br>25                |
| W <sub>2</sub> C                              | 2,35<br>1,77<br>1,35                                                | 70<br>70<br>100                                 | 1,27<br>1,26<br>1,19                                                  | 20<br>20<br>70                               | 1,08<br>1,00<br>-                                                     | 20<br>100<br>-                            |
| W <sub>2</sub> Zr                             | 4,40<br>2,69<br>2,30<br>2,20<br>1,90<br>1,74<br>1,55                | 20<br>10<br>100<br>90<br>30<br>20<br>10         | 1,46<br>1,35<br>1,28<br>1,20<br>1,16<br>1,15<br>1,10                  | 80<br>80<br>20<br>10<br>50<br>90<br>10       | 1,07<br>1,02<br>0,99<br>0,95<br>0,93<br>-<br>-                        | 20<br>10<br>100<br>30<br>10<br>-<br>-     |
| W <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>13</sub> | 5,3<br>3,48<br>2,93<br>2,69<br>2,60<br>2,55<br>2,37<br>2,31<br>2,23 | 50<br>100<br>8<br>5<br>10<br>25<br>10<br>8<br>3 | 2,10<br>1,97<br>1,84<br>1,73<br>1,69<br>1,63<br>1,60<br>1,50<br>1,470 | 3<br>8<br>20<br>15<br>3<br>13<br>8<br>5<br>5 | 1,410<br>1,305<br>1,276<br>1,245<br>1,215<br>1,189<br>1,157<br>-<br>- | 5<br>3<br>3<br>3<br>3<br>3<br>5<br>-<br>- |
| Марганец-<br>α-Mn                             | 2,36<br>2,22<br>2,09<br>1,89<br>1,81<br>1,74<br>1,340<br>1,283      | 2<br>2<br>100<br>20<br>10<br>16<br>2<br>7       | 1,258<br>1,210<br>1,190<br>1,130<br>1,048<br>0,983<br>0,960<br>0,936  | 10<br>28<br>2<br>3<br>6<br>2<br>2<br>3       | 0,834<br>0,820<br>0,813<br>0,801<br>0,793<br>0,770<br>-<br>-          | 2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>2<br>-<br>-      |
| β-Mn                                          | 2,81<br>2,10<br>2,00<br>1,90                                        | 7<br>100<br>66<br>27                            | 1,68<br>1,485<br>1,410<br>1,237                                       | 7<br>3<br>3<br>30                            | 1,170<br>1,064<br>1,051<br>-                                          | 20<br>3<br>3<br>-                         |
| MnO                                           | 2,56<br>2,22<br>1,57<br>1,339                                       | 66<br>100<br>66<br>23                           | 1,281<br>1,110<br>1,019<br>0,994                                      | 17<br>7<br>7<br>17                           | 0,906<br>0,853<br>-<br>-                                              | 7<br>3<br>-<br>-                          |

|                                  |       |     |       |    |       |     |
|----------------------------------|-------|-----|-------|----|-------|-----|
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 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 <sub>2</sub>                 | 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 <sub>3</sub> O <sub>4</sub>   | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 2,92  | 17  | 2,49  | 50 | 2,39  | 50  |
|                                  | -     | -   | -     | -  | 1,398 | 100 |
| MnCO <sub>3</sub>                | 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 <sub>2</sub>             | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 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 | -     | -   |

|                                |        |     |        |    |        |    |
|--------------------------------|--------|-----|--------|----|--------|----|
| HfO <sub>3</sub>               | 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 <sub>3</sub> 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 -<br>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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 | -      | -  |
|                                |        |     |        |    |        |    |

|                                                                    |                                                                   |                                                   |                                                                      |                                                |                                                                               |                                            |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $\text{Fe}_3\text{O}_4$                                            | 4,85<br>2,97<br>2,53<br>2,42<br>2,10<br>1,71<br>1,61<br>1,483     | 6<br>28<br>100<br>11<br>32<br>16<br>64<br>80      | 1,326<br>1,279<br>1,210<br>1,121<br>1,092<br>1,049<br>0,970<br>0,966 | 6<br>20<br>5<br>10<br>32<br>10<br>16<br>8      | 0,940<br>0,880<br>0,859<br>0,853<br>0,825<br>0,814<br>0,809<br>-              | 6<br>10<br>20<br>8<br>2<br>10<br>5<br>-    |
| Магнетит-<br>$\text{Fe Fe}_2\text{O}_4$                            | 4,21<br>2,99<br>2,541<br>1,428<br>2,098                           | 1<br>6<br>10<br>3<br>7                            | 1,710<br>1,612<br>1,479<br>1,325<br>1,277                            | 5<br>9<br>9<br>3<br>5                          | 1,264<br>1,174<br>1,119<br>1,091<br>1,047                                     | 2<br>1<br>4<br>8<br>6                      |
| $\text{FeSO}_4$                                                    | 4,78<br>3,58<br>3,25<br>2,56<br>2,40<br>2,28<br>2,23<br>2,05<br>- | 24<br>13<br>100<br>13<br>2<br>13<br>10<br>11<br>- | 1,99<br>1,83<br>1,78<br>1,70<br>1,63<br>1,59<br>1,55<br>1,440<br>-   | 20<br>16<br>2<br>3<br>20<br>20<br>10<br>6<br>- | 1,420<br>1,361<br>1,281<br>1,251<br>1,200<br>1,140<br>1,110<br>1,014<br>1,000 | 2<br>5<br>13<br>2<br>8<br>3<br>2<br>2<br>3 |
| $3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$<br>$3\text{SiO}_2$ | 2,61<br>1,84                                                      | 100<br>80                                         | 1,17<br>-                                                            | 60<br>-                                        | 1,06<br>-                                                                     | 55<br>-                                    |
| Кобальт —<br>$\alpha - \text{Co}$                                  | 2,182<br>1,920<br>1,490<br>1,250<br>1,145                         | 80<br>100<br>20<br>70<br>30                       | 1,064<br>1,045<br>0,953<br>0,839<br>0,788                            | 60<br>30<br>10<br>20<br>20                     | 0,752<br>0,738<br>0,717<br>-<br>-                                             | 10<br>10<br>10<br>-<br>-                   |
| $\beta - \text{Co}$                                                | 2,04<br>1,77<br>1,253<br>1,066                                    | 100<br>44<br>22<br>22                             | 1,021<br>0,886<br>0,813<br>0,792                                     | 5<br>3<br>3<br>3                               | 0,723<br>0,682<br>-<br>-                                                      | 3<br>3<br>-<br>-                           |
| $\text{CoO}$                                                       | 2,45<br>2,12<br>1,50<br>1,281                                     | 67<br>100<br>100<br>40                            | 1,227<br>1,060<br>0,975<br>0,951                                     | 40<br>10<br>10<br>30                           | 0,869<br>0,819<br>-<br>-                                                      | 20<br>7<br>-<br>-                          |
| $\text{Co(OH)}_2$                                                  | 4,40<br>2,44<br>2,31<br>1,80                                      | 100<br>23<br>83<br>40                             | 1,50<br>1,425<br>1,367<br>1,215                                      | 8<br>40<br>27<br>5                             | 1,196<br>1,162<br>1,120<br>-                                                  | 1<br>4<br>4<br>-                           |

|                                  |       |     |       |     |       |     |
|----------------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| CoCO <sub>3</sub>                | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub>  | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 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 <sub>4</sub>               | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 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 <sub>2</sub>                 | 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) <sub>2</sub>             | 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 <sub>4</sub>                | 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 2,43  | 75  | 2,01  | 75  | 1,55  | 13  |
|                                  | -     | -   | -     | -   | 1,421 | 100 |

|                                                                        |                                                                           |                                                    |                                                                               |                                                    |                                                                               |                                              |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| NiMnO <sub>4</sub>                                                     | 4,85<br>2,97<br>2,53<br>2,41<br>2,09                                      | 12<br>30<br>100<br>25<br>50                        | 1,71<br>1,61<br>1,480<br>1,280<br>1,260                                       | 8<br>40<br>60<br>8<br>12                           | 1,207<br>1,119<br>1,090<br>1,048<br>-                                         | 8<br>4<br>10<br>4<br>-                       |
| Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·<br>8H <sub>2</sub> O | 7,8<br>6,6<br>4,80<br>4,47<br>4,00<br>3,78<br>3,58<br>3,13<br>2,91        | 36<br>100<br>40<br>28<br>20<br>36<br>8<br>32<br>50 | 2,66<br>2,56<br>2,47<br>2,37<br>2,26<br>2,18<br>2,14<br>2,03<br>1,89          | 40<br>12<br>20<br>24<br>20<br>20<br>20<br>16<br>16 | 1,856<br>1,775<br>1,740<br>1,634<br>1,550<br>1,489<br>1,450<br>1,384<br>1,313 | 8<br>8<br>16<br>20<br>20<br>8<br>8<br>4<br>8 |
| Уран<br>(IV)оксид-<br>UO <sub>2</sub>                                  | 3,157<br>2,735<br>1,934<br>1,649                                          | 100<br>48<br>49<br>47                              | 1,579<br>1,368<br>1,255<br>1,223                                              | 13<br>9<br>18<br>15                                | 1,1163<br>1,0523<br>-<br>-                                                    | 13<br>15<br>-<br>-                           |
| Ураноксид –<br>U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                           | 4,10<br>3,38<br>2,61<br>2,06<br>1,971<br>1,943<br>1,782<br>1,760<br>1,702 | 4<br>10<br>7<br>3<br>5<br>6<br>2<br>8<br>5         | 1,673<br>1,578<br>1,547<br>1,501<br>1,431<br>1,415<br>1,376<br>1,314<br>1,297 | 4<br>4<br>3<br>1<br>2<br>3<br>1<br>2<br>4          | 1,277<br>1,238<br>1,219<br>1,134<br>1,123<br>1,100<br>0,991<br>-<br>-         | 5<br>4<br>3<br>1<br>2<br>5<br>5<br>-<br>-    |
| Кислород –<br>O <sub>2</sub>                                           | 3,17<br>3,04<br>2,92<br>2,75                                              | Кз.<br>Ў.<br>Кз.<br>Ки.                            | 2,58<br>1,91<br>1,72<br>1,65                                                  | Ки.<br>Ў.<br>Кз.<br>Кз.                            | 1,60<br>1,46<br>1,36<br>-                                                     | Ки.<br>Кз.<br>Ў.<br>-                        |
| Муз – I –<br>H <sub>2</sub> O                                          | 3,92<br>3,67<br>3,44<br>2,68                                              | 10<br>100<br>20<br>15                              | 2,26<br>2,065<br>1,920<br>1,516                                               | 10<br>50<br>10<br>15                               | 1,368<br>1,300<br>1,250<br>1,167                                              | 2<br>3<br>3<br>5                             |
| Муз – II –<br>H <sub>2</sub> O                                         | 3,8<br>3,0<br>2,7<br>2,19<br>2,10<br>1,94                                 | 9<br>10<br>8<br>9<br>9<br>6                        | 1,85<br>1,74<br>1,70<br>1,59<br>1,46<br>1,43                                  | 6<br>6<br>6<br>6<br>6<br>6                         | 1,34<br>1,29<br>1,26<br>1,18<br>1,14<br>-                                     | 6<br>8<br>6<br>4<br>6<br>-                   |
| Муз – III –<br>H <sub>2</sub> O                                        | 3,60<br>3,39<br>2,90<br>2,66<br>2,55<br>2,28<br>2,10<br>2,07              | 10<br>8<br>8<br>6<br>8<br>6<br>8<br>8              | 1,92<br>1,86<br>1,79<br>1,68<br>1,62<br>1,58<br>1,53<br>1,48                  | 8<br>6<br>6<br>7<br>4<br>6<br>5<br>6               | 1,46<br>1,43<br>1,38<br>1,36<br>1,32<br>1,28<br>1,23<br>1,20                  | 6<br>6<br>4<br>7<br>4<br>6<br>6<br>6         |

## Такрорлаш учун саволлар

1. Рентген нури қачон ва ким томонидан кашф этилган?
2. Рентген нурларининг тўлқин узунлигини мкм ва Å лар ўлчовида келтиринг.
3. «Қаттиқ» ва «юмшоқ» рентген нурлари деб қандай тўлқин узунлигига эга бўлган нурларга айтилади?
4. Ота-бола Брегглар томонидан тақдим қилинган рентген нури дифракциясига оид формулани ёзиб беринг.
5. Рентген нури ёрдамида бажариладиган рентгенологик текшириш усулларини санаб беринг.
6. Фотоусул ишлари учун 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, чўғланиш реостати, юқори вольтли трансформатор каби рентген аппарати қисмларининг тузилиши ва вазифалари ҳақида маълумотлар келтиринг.
11. РКД-57 камерасининг тузилиши ва асосий қисмлари ҳақида фикрингизни билдиринг.
12. УРС-50И ионизацион рентген қурилмасининг принципиал блок-схемасини келтиринг.
13. Рентгенографик таҳлилдан фойдаланиш имкониятлари қандай?
14. Рентгенографик таҳлил афзалликларини санаб беринг.
15. Рентгенографик усул камчиликлардан холими?

## ФҲЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Азимов Ш.Ю., Тожиев Ф.Х. Анорганик моддаларнинг физика - кимёвий анализи. -Тошкент: Ўқитувчи, 1977.-132 б.
2. Азимов Ш.Ю., Исмаев А.А., Федоров Н.Ф. Апатиты их редкоземельные аналоги.- Ташкент: ФАН, 1990.-116 с.
3. Алексеев А.Г., Варгин В.В. Катализированная 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. Исмаев А.А., Сиражидинов Н.А. Свойства и изоморфизм мелилитов. -Ташкент: ФАН, 1983.-152с.
14. Исмаев А.А., Юнусов М.Ю., Максудов Д.И. Полевошпатовое сырьё Средней Азии для производства фарфора.-М.: Легпромбытиздат, 1988.-136с.
15. Исмаев А.А. Синтез и физико-химическое исследование некоторых классов неорганических соединений. — Дисс. на соис. уч. ст. доктора химических наук.- Л.: ЛТИ, 1972. — 347с.
16. Исмаев А.А., Шерназарова М.Т., Якубов Т.Н. Стеновая керамика с использованием палеоглин и лессовых пород. — Ташкент: ФАН, 1993. — 118с.

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

36. Ҳамробоев И.Ҳ, Ражабов Ф.Ш. Петрография асослари.  
-Тошкент: Ўқитувчи, 1984.-184 б.
37. Schaumburg H. (Hrsg.). Keramik. — Stuttgart, B.G.Teub-  
ner, 1994. — 654p.

## МУНДАРИЖА

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>СЎЗ БОШИ</b> .....                                                                                                                      | 3  |
| <b>КИРИШ</b> .....                                                                                                                         | 4  |
| <b>БИРИНЧИ БОБ. ФИЗИК-КИМЁВИЙ<br/>ТАҲЛИЛНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ</b>                                                                           |    |
| 1-§. Физик-кимёвий таҳлил усуларини ривож-<br>лантиришда жаҳон, Марказий Осиё ва Ўзбекистон<br>олимларининг ҳиссаси.....                   | 7  |
| 2-§. Физик-кимёвий таҳлил таърифи .....                                                                                                    | 8  |
| 3-§. Фанда қўлланиладиган асосий тушунча-<br>лар.....                                                                                      | 10 |
| 4-§. Физик-кимёвий таҳлилнинг асосий усулла-<br>ри.....                                                                                    | 11 |
| 5-§. Физик-кимёвий, термик ва бошқа таҳлил<br>усуллари ёрдамида аниқланадиган кўрсаткичлар.....                                            | 14 |
| Такрорлаш учун саволлар.....                                                                                                               | 15 |
| <b>ИККИНЧИ БОБ. МИКРОСКОПИК ТАҲЛИЛ</b>                                                                                                     |    |
| 6-§. Микроскопик текшириш усули аҳамияти ва<br>ривож.....                                                                                  | 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<br>кальций оксиди-кремний оксиди тизимидаги фаза-<br>ларнинг оптик характеристикалари..... | 38 |
| 16-§. Диагностика мақсадларида фойдаланилади-<br>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-<br>лари ҳақида.....          | 82  |
| 20-§. Таҳлил имкониятлари.....                                             | 85  |
| 21-§. Усулнинг афзаллиги ва камчиликлари.....                              | 93  |
| 22-§. Инфрақизил спектроскопия усули апаратла-<br>ри.....                  | 94  |
| 23-§. ИҚ спектрометрларнинг соддалаштирилган<br>схемаси.....               | 95  |
| 24-§. Препаратларни тайёрлаш усули.....                                    | 99  |
| 25-§. ИҚ спектрларни ёзиб олиш.....                                        | 100 |
| 26-§. Муҳим фазаларнинг ИҚ спектрлари.....                                 | 103 |
| 27-§. Инфрақизил спектроскопик таҳлилга оид<br>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-<br>рия асбоблари.....                  | 127 |
| 36-§. Препарат тайёрлаш усуллари.....                                                  | 128 |
| 37-§. Усулнинг имкониятлари, афзаллиги ва кам-<br>чиликлари.....                       | 129 |
| 38-§. Кимёвий жараёнларда содир бўладиган тер-<br>мик эффектларга оид маълумотлар..... | 131 |
| Такрорлаш учун саволлар.....                                                           | 138 |

## БЕШИНЧИ БОБ. РЕНТГЕНОГРАФИК ТАҲЛИЛ

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

**А.А.Исмаев**

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

Тошкент-«Fan va texnologiya» -2006

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

Босишга рухсат этилди 20.01.2006.  
Бичими 60x841/16. Офсет қоғози. Нашр табоғи 16,75.  
Ади 1000. Буюртма №13.  
«Fan va texnologiya» нашриёти, 700003, Тошкент, Олмазор, 171.  
Шартнома № 01-06.

«Фан ва технологиялар Марказининг» босмахонасида  
чоп этилди. Тошкент, Олмазор, 171.