К. С. ЗОҲИДОВ

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги олий ўқув юртларининг геология-кончилик мутахассислиги талабалари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган

1507237

ТОШКЕНТ — "ЎЗБЕКИСТОН" — 2003

З-84

Муҳаррир: *А. Ҳакимжонова*

Тақризчилар: проф., г.-м. ф. д. *Ҳ. Каримов*
г.-м.ф.н. *К. Одилхонов*

Зоҳидов К. С.
Кристаллография: Олий ўқув юртларининг талабалари учун ўқув қўлланма. -Т., "Ўзбекистон", 2002. -256 б.

ББК 22.37я73

Комил Сафоевич Зоҳидов

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Бадиий муҳаррир *О. Возняк*
Техник муҳаррир *У. Ким*
Мусаҳҳиҳ *Н. Умарова*
Компьютерда тайёрловчи *Л. Абкеримова*

Теришга берилди 26.02.02. Босишга рухсат этилди 17.12.02. Бичими 84x108 1/32 Офсет босма усулида босилди. Шартли босма т. 13,44. Нашр т. 12,72. Нусхаси 1000. Буюртма № 18.
Баҳоси шартнома асосида

"Ўзбекистон" нашриёти, 700129. Тошкент, Навоий кўчаси, 30.
Нашр №22-95.

Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигининг
Fафур Fулом номидаги нашриёт-матбаа ижодий уйи.
700128. Тошкент, У. Юсупов кучаси, 86.

З $\frac{1604110000-84}{М351(04)2001}$ 2002

ISBN 5-640-01803-3

© "ЎЗБЕКИСТОН" нашриёти, 2002

Камтарин инсон, эл-халқ ғамида фидойилик билан меҳнат қилган таниқли жавоҳиршунос олим Ҳабиб Муҳаммедович Абдуллаевнинг (1912—1962) порлоқ хотирасига бағишланади.

МУҚАДДИМА

Мазкур қўлланма олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги томонидан тасдиқланган дастур асосида ёзилган бўлиб, унда бўлажак мутахассис талабаларнинг умумий техника фанлари бўйича билим даражалари ҳисобга олинди.

Ўқув режасига кўра кристаллография фани олий илмгоҳларнинг биринчи ва иккинчи курсларида ўқитилади. Шуни ҳисобга олган ҳолда мавзуларни соддароқ услубда баён этишга алоҳида эътибор берилди. Бу китобнинг "Геометрик кристаллография" деб аталувчи қисми ўзбек тилида биринчи ўқув қўлланмаси сифатида муаллиф томонидан 1987 йили нашр эттирилган эди. Унда кристалларнинг пайдо бўлиши ва ўсиши билан кристаллография фани ҳақида умумий тушунчалар, шунингдек, шакллар геометрияси ва ҳоказо маълумотлар анча чекланган тарзда таърифланганди. Ўша кезларда билдирилган танқидий фикр ва истакларни ҳисобга олиб, ушбу қўлланмага бирмунча қўшимча ва тузатишлар киритилди. Шунга қарамасдан, фаннинг ва шу фанга хос тушунча-назарияларнинг ғоят мураккаблиги туфайли айрим ўринларда билиб ёки билмасдан йўл қўйилган баъзи бир камчиликлар учраши табиий ҳол, албатта. Лекин муаллиф, кристаллографиядек мураккаб фанни баён этишда тўғри ва энг муҳими талабалар онгига осонликча етиб борадиган услубни танлашга ҳаракат қилди.

Ушбу қўлланмани тузишда машҳур кристаллограф олимлар Г. М. Попов ва И. И. Шафрановский материалларидан кенг фойдаланилди. Айрим ҳолларда эса рус тилида нашр этилган "Кристаллография" дарслигининг 5-тузатилган ва тўлдирилган нашри (1972) асос қилиб олинди. Шунингдек, "Современная кристаллография" (I—IV

том) ҳамда 1920 йили Тошкентда Туркистон университети очилиши муносабати билан унинг кутубхонасига юборилган Москва, Санкт-Петербург, Париж, Лондон, Варшава ва бошқа шаҳарларда 1800—1916 йилларда ва ундан кейин нашр қилинган китоблардан ҳам фойдаланилди.

Айни пайтда эътироф этиш керакки, ушбу қўлланмани нашрга тайёрлашда доцентлардан Т. З. Зокиров, К. Х. Одилхонов, Е. Ф. Багрова, М. А. Мирусмоновнинг салмоқли ҳиссалари бор. Шунингдек, бу хайрли ишга ходимлардан Х. Й. Ваҳобова, М. Раимжонова, Ф. Мирисоқова, Ф. Исанбоевалар ҳам бош қўшдилар. Умуман, ўқув қўлланмани батафсил ўқиб, ўз фикр-мулоҳазаларини билдирган ва бу билан унинг сифатини янада яхшилашга ўз ҳиссаларини қўшган Тошкент Давлат техника университети геология-кончилик маркази фойдали қазилмалар кафедраси мудири, геология-минералогия фанлари доктори, профессор Х. К. Каримов, Ўзбекистон Фанлар академиясининг Ҳ. М. Абдуллаев номидаги геология ва геофизика минералогия лабораториясининг мудири, геология-минералогия фанлари доктори М. И. Исмоилов, Ўзбекистон Миллий университети геология факультетининг минералогия кафедраси мудири, геология-минералогия фанлари номзоди доцент О. Қўшмуродов ва шу кафедранинг катта ўқитувчиси, геология-минералогия фанлари номзоди О. Розиқовга ва номлари юқорида зикр этилган муҳтарам ҳамкасбларнинг ҳаммасига муаллиф ўз миннатдорчилигини изҳор этади.

КРИСТАЛЛАР ВА КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Узоқ ўтмишдан бошлаб — тош асри, бронза асри ва кейинги даврларда ҳам кишилар ўз эҳтиёжларини қондириш, авваламбор ўз ҳаётларини душмандан ёки умуман ташқи хавфдан ҳимоя қилиш учун ва кейинчалик эса бойлик, зебу-зийнат орттириш учун табиий минерал бойликларни қидира бошлаганлар. Улар зарур тоғ жинси бўлакларини ва улар таркибидаги минералларни бир-биридан маълум сифатларига кўра ажратиб, мақсадга мувофиқ келадиган хилларини аниқлаб, уларни топишга интилганлар. Шундай қилиб, инсонлар аввало қурол ўрнида ишлатиш учун яроқли қаттиқ тош парчалари ёки ўткир қиррали бўлган, синадиган минераллар билан қизиққан бўлсалар, кейинчалик баъзи бир темир, мис каби ишлов ёки шакл беришга мос металларни ажратиб, мумкин бўлган маъданларни, рангининг шаффофлиги, ички нур жилваси билан кўзни қамаштирадиган қимматбаҳо тошларни ҳам излай бошлаганлар. Кейинчалик шоҳона саройлар ва катта-катта обидалар қуриш ҳамда безаш учун янада пишиқроқ қурилиш материаллари, безак тошлари зарур бўлиб қолади. Улар буларни ер юзидан қидирадилар ва топадилар. Бироқ ўша давр кишиларида шу соҳада маълум даражада билим бера оладиган, шу табиий бойликларнинг хусусиятини ўрганиб, қаердан ва қандай топиш кераклигини кўрсатадиган, улар ер юзига қаердан келиб қолганлигини тушунтира оладиган онг ҳали етилмаган. Шунингдек, сўнгги тарихий даврларда кишилар жамияти тараққиёти бирмунча юқори босқичга кўтарилган бўлса ҳам лекин турли диний ақидаларни нотўғри талқин этиш натижасида туғилган тушунча ва ҳаттоки, ғайри "дунёқараш"лар табиий фанларнинг юзага келишига тўсқинлик қилган ҳоллар ҳам учраб турган.

Табиий бойликларни, зарур минералларнинг тўпланган жойларини қидириб топиш учун, аввало ўша минералларни бир-биридан ажратиш, уларнинг ташқи қиёфасини ва физик хусусиятларини билиб олиш талаб қилинарди. Шунинг учун ҳам кишилар ўша узоқ ўтмишдан бошлаб минералларнинг шу хусусиятларини англашга интилишган.

Умумий геология курсида таъкидланганидек, Ер қобиғини ташкил этувчи тоғ жинслари бир ёки бир неча минерал турлари йиғиндисидан иборат. Бошқача қилиб айтганда, минерал табиий йўл билан ҳосил бўлган кимёвий бирикма ёки кимёвий элементлар йиғимидан иборат бўлиб, Ер қобиғини ташкил этувчи тоғ жинсларининг таркибий қисмидир. Шу жинслар таркибидаги минералларнинг деярли ҳаммаси кристаллардир. Улар баъзан — шаффоф, баъзан ранг-баранг товланиб туради: жилваси кўзни қамаштиради. Шунинг учун ҳам геолог муҳандислар, геофизиклар, гидрогеологлар ер юзи геологиясини ўрганадиларми ёки қазилма конларини қидирадиларми, чамалаш ишлари (разведка) қиладиларми, нефть-газ конларини қидирадиларми, ёки конларнинг фойдали қазилмаларини қазиб чиқарадиларми, ер ости сувларини ўрганадиларми — барибир шу минерал-кристаллар билан иш кўрадилар. Табиий минераллардан хом ашё сифатида ишлатадиган кимёгар технологлар ҳам, физиклар, ҳаттоки заргарлар ҳам ўзларининг кундалик иш фаолиятларида, шу минерал-кристаллардан, уларнинг маълум тузилиш, сифат ва шакл қонуниятларидан фойдаланадилар.

Демак, минералларнинг ўзи кристаллардан иборат экан, минералларни ўрганишни кристаллардан бошламоқ даркор. Чунки уларнинг шакли, ташқи кўриниши, физик-кимёвий хусусиятлари уларнинг кристалл тузилиши билан боғлиқ бўлиб, кристаллографик қонунларга бўйсунади. Шундай экан, минералогияни ўрганувчи ҳар бир киши, аввало кристаллография фанини мукаммал билиб олиши лозим. Шундагина у минералогия фани билан шуғулланиши ва уни пухта ўрганиб олиши мумкин. Шунинг учун ҳам биз ушбу ўқув қўлланмасини кристаллографияга бағишладик. Китобхон, энг аввало кристаллография фанининг ривож-

ланиш тарихи билан танишиб, кристаллнинг ўзи нима эканлигини билиб олиши, ундан кейин улар кристалларга хос бошқа қонунларни ўрганиши керак.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ ФАНИ ВА УНИНГ ВАЗИФАЛАРИ

Кристаллография — кристаллар ҳақидаги фан бўлиб, у энг аввало, минералогия фанининг таркибий, бошланғич қисми сифатида юзага келади. У фан қаторида майдонга чиқмасдан олдин инсоният табиий бойликлардан фойдаланишни орзу қилар ва шу орзуга эришиш мақсадида фойдали минерал қазилмаларни қидирар ёки бошқа мақсадларда ўлка бўйлаб кезар экан, текис ёнлар билан чекланган, ҳам шаффофлиги, ҳам тиниқ ранги билан диққатга сазовор кристалл жисмларни топади. Бу, албатта, кишиларни қизиқтиради: уларнинг нима эканлиги, қандай қилиб ва қаердан келиб чиққанлиги ҳақида ўйлаб кўришга мажбур этади. Авваллари бу саволга илмий асосда жавоб топиш мушкул бўлган. Баъзи диний ақидалар ҳам бунга йўл қўймаган. Шу боис баъзи тошларга "Иблис мўъжизаси", "Қудрат тоши", деб илоҳийлаштирилган номлар берилган. Биринчидан, узоқ даврлар давомида бундай ғайри табиий тушунтиришлар кишиларни қаноатлантира олмаган, албатта, иккинчидан, топилаётган табиий кристалларнинг сони ҳам орта борган. Бу кристаллография фанининг майдонга келишини тақозо этган.

Кристаллар ҳақидаги фан кристаллар (минераллар)нинг геометрик шаклларини, физик хусусиятларини ўрганишдан бошланади. Кейинчалик кимёвий тушунчалар туғилиши билан уларнинг кимёвий таркиби ҳам кишилар диққат эътиборини жалб этади.

Биз яшаётган ҳозирги даврда — планеталараро коинот бўшлиғида учиш ишлари кенг миқёсда амалга оширилаётган кезларда техниканинг буюк тараққиёти, қаттиқ жисмлар физикаси, ядро физикаси, кимё, физик-кимё, радиотехника, электротехника, металлшунослик, автоматика билан телемеханика ва бошқа техника фанлари соҳасида эришилган ютуқлар табиий ва сунъий кристалларни татбиқ этишга асосланган бўлиб, кристаллография фани олдига

янги-янги вазифалар қўймоқда. Бу фанлар соҳасида эришилган ютуқлар эвазига кристаллография фанининг ўзи ҳам бойиб бормоқда.

Кристалл — геологлар учун геологик жисм (минерал, тоғ жинсининг таркибий қисми), кимёгарлар учун — кимёвий модда, физиклар учун — физик жисм, математиклар учун — геометрик шакл сифатида тафсилланиши мумкин. Бу жиҳатдан қараганда, кристалларни ўрганиш масаласини кимё, физика, математика фанларидан ва шу фанлар асосида иш олиб борадиган бошқа техника фанларидан, шунингдек, геологиянинг бошқа соҳаларидан ҳам ажратиб бўлмайди.

Кристаллар геометрик шакл бўлганлиги учун уларнинг шаклини ва симметрик тузилишини ўрганиш геометрияга, яъни математика фанига ҳам тааллуқли деб тушунилади. Ҳақиқатда ҳам кристалларнинг мавжуд симметрия кўринишлари математик йўл билан олдиндан ҳисоблаб чиқилган ва улар кейинчалик табиий, шунингдек, сунъий кристалларда исботланган. Шунинг учун фаннинг биринчи бўлими геометрик кристаллография деб аталади.

Маълумки, физика умуман моддаларнинг физик хусусиятларини текшириш, улардаги мавжуд қонуниятларни аниқлаш билан шуғулланади. Бу жиҳатдан қараганда, кристалларни қаттиқ жисмлар маъносида ўрганиш билан физика ҳам шуғулланади. Масалан, биринчи рентген нури кашф этилган пайтда, шу нурни текшириш учун яроқли биронта манба топилмаган эди. Кейинчалик бу нурлар кристалл панжаралар ёрдамида текшириб кўрилади ва шу пайтгача тахмин қилиб келинган кристалларнинг ички қонуний тузилиши билан бир қаторда рентген нурининг ўзи қисқа тўлқинли эканлиги исбот этилди. Кристалларнинг нурни синдириши ва синдириш кўрсаткичи, қаттиқлиги, электр ўтказувчанлиги, магнитга тортилиши каби жуда кўп бошқа хусусиятларни текшириш ҳам физика фанига хосдир. Кристаллографиянинг шу масалалар билан боғлиқ бўлган бўлими физик кристаллография деб аталади.

Ниҳоят, кристалл — кимёвий моддадир. Кристалларнинг кимёвий таркибини ўрганиш, ҳосил бўлиши, ўсиши, эриши, кристалларнинг геометрик шакли билан кимёвий тар-

киби орасидаги узвий боғланиш, сунъий кристалларни олиш каби бир қатор масалалар кимё, физик-кимё фанларига мансуб масалалардир. Кристаллографиянинг бу бўлими кристаллокимё, кристаллар кимёси ёки кимёвий кристаллография деб аталади.

Шундай қилиб, фан ва техниканинг турли соҳаларида ишлатиладиган юзлаб номдаги сунъий минераллар, жумладан, заргарлик буюмларини ўз жилваси — ранги билан безаб турадиган қимматбаҳо тошлар сунъий минераллар ҳам кристаллардир.

Саноат, фан учун ниҳоятда зарур бўлган, аммо табиатда соф ҳолда етарли миқдорда учрамайдиган минерал кристалларини сунъий йўл билан олиш ҳам, бу муаммони ҳал этиш учун зарур бўлган назарий масалаларни тадқиқ этиш ҳам кристаллография фанининг вазифалари қаторига киради. Бу борада, "маълумки, кристаллография физика-кимё-минералогия ташкил этган учбурчакнинг марказидан жой олади. Яқин даврларгача тарихий сабабларга кўра, у ҳаммадан кўра минералогияга яқинроқ турар эди. Сўнгги йилларда эса физика билан яқинлаша борди... Лекин, шуни эътироф этиш керакки, кристаллография мустақил фан тариқасида ривожланиб, физика ва кимё билан қанчалик яқинлашса, минералогия фани ҳам физика ва кимё фанлари эришаётган ютуқлардан шунчалик кўпроқ манфаатдор бўлиб қолмоқда. Айниқса, кристаллар кимёси, кристалл тузилмаларини рентген нури ёрдамидаги таҳлиллари асосидаги ўша яқинлик — боғланиш бундан кейин ҳам ривожланиб бораверади". Машҳур рус кристаллограф олими В. Н. Белов (1891—1984 й.)нинг бу башорати қанчалик ҳаққоний эканлигини ҳаёт тасдиқламоқда.

Булардан ташқари, металлар билан уларнинг қотишмаси ҳам кристаллардир. Уларнинг ҳамма хусусиятлари кристалл фазовий панжара тузилиши билан боғлиқ бўлиб, кристаллография қонуниятларига бўйсунади. Демак, металлшуносслар ҳам ўз амалий ишларида кристаллография фани эришган ютуқлардан фойдаланадилар. Шунингдек, кристаллар техниканинг турли соҳаларида — радиотехникада, электрон-ҳисоблаш машиналарида ва бошқа соҳаларда кенг миқёсда қўлланар экан, шу масалалар билан машғул бўлган жуда кўп техника фанлари ҳам кристаллография фани эришган

ютуқлардан манфаатдордир. Демак, кристаллография фани сўнгги йиллар давомида мисли кўрилмаган катта қадамлар билан соҳалар йўналишлари бўйича ривожланмоқда. Шу боисдан ҳам кристаллография фанини ўрганиш фақат геологлар — кон қидирувчилар ва кончилар учунгина эмас, балки кимёгарлар, физиклар, металлшунослар ва ҳоказо мутахассисликлар учун ҳам ниҳоятда зарурдир.

Кристаллар пайдо бўлиши ва ўсишига оид илк назарияларнинг дунёга келиши кристаллография фанининг бундан кейинги ривожланиши учун асосий сабаб бўлди, уни термодинамика ва физик-кимё фанлари билан яқинлаштирди. Бу ўз ўрнида сунъий кристалларни олиш усулларини такомиллаштириш учун амалий омил бўлади. Сунъий кристалларнинг физик тадқиқотларга ва техниканинг турли тармоқларига кўпроқ сингиб, кириб бориши давом этмоқда. Жумладан, бугунги кунда у заргарликда ва айниқса, радиоэлектроника, ярим ўтказгичлар ва квант электроникаси соҳаларида оптик ҳамда акустик асбобларда тобора кенг қўлланмоқда. Эндиликда муҳим физик, техник ечимларни ҳал этиш, ЭҲМда эслаб қолиш хусусиятига молик кристалларни сунъий йўл билан олиш ва унинг янги усулларини ишлаб чиқиш, кристаллар тузилишини ўрганиш соҳаларида илмий изланишлар янада жадаллик билан олиб борилмоқда.

Умуман, кристалларни тадқиқ этишда муҳим аҳамиятга эга бўлган асосий муаммо — бу уларнинг тузилиши, ҳосил бўлиши ва хусусиятлари орасидаги мавжуд умумий қонуниятни чуқур ўрганишдир. Кристалларнинг бу уч хусусияти бир-биридан ажратиб бўлмайдиган ва бир бутунлигича ҳал этиладиган муаммо бўлиб, табиий кристаллар (минераллар)ни тадқиқ этишда муҳим аҳамиятга эга. Бундай қонуниятни ўрганиш натижасида минералнинг кристалл тузилиши ва шаклига қараб, унинг кимёвий таркиби ёки пайдо бўлиши ҳақида аниқ маълумот бериш мумкин; кристаллнинг геометрик шакли ва пайдо бўлиши ва шароитларини аниқ таҳлил этиш натижасида ва шу кристалл таркибидаги кимёвий элементлар аралашмалари асосида яқин атроф муҳит шароитида яна қандай конлар топилиши мумкинлигини башорат қилиш мумкин. Бу фикримизни тасдиқловчи мисоллар-

ни китобнинг кейинги бобларида (кристаллар ҳақида маълум билимга эга бўлгандан кейин) келтирамиз. Шунингдек, кристалларнинг кимёвий таркиби ва тузилишига қараб уларнинг физик ва механик хусусиятларини аввалдан айтиш ёки олдиндан белгиланган зарур хусусиятларга эга кристалларни олиш имкониятларини чамалаб бериш мумкин.

Кристаллар симметриясига оид назариялар асрлар давомида, шунингдек, бугунги кунда ҳам изчиллик билан тадқиқ этилмоқда. Эндиликда жуда мураккаб элементлар таркибида юзлаб-минглаб атомлар жойлашган тузилишларни ўрганиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Кристаллографик назариялар ва усуллар органик кимё, полимерлар кимёси, молекуляр ўсимликшунослик, суюқлик ва газларни тадқиқ этишда ҳам кенг қўлланилмоқда.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ ФАНИ РИВОЖИГА ДОИР ҚИСҚАЧА МАЪЛУМОТ

Кристаллография сўзи "кристалларнинг таърифи", деган маънода биринчи марта 1723 йилда швейцариялик олим М. Н. Капеллер томонидан татбиқ этилган бўлиб, ундан анча аввал, яъни 1698 йилда И. Готтингер томонидан бу фан "Кристаллология" деб аталган эди.

Кристаллография фанининг дунёга келиши ва унинг ривожланиши геологияга оид фанлар билан, аввало минералогия илми билан бевосита боғлиқ. Минералларнинг деярли ҳаммаси кристаллар, уларнинг баъзилари тўғри тузилган геометрик шакллари — қиёфаси билан машҳур бўлган эдики, минералогия фанининг тараққиёти тарихини кристаллография фанидан ажралган ҳолда тасаввур этиш мумкин эмас. Минералогия фанинигина эмас, балки умуман техника тараққиёти жараёнида кескин бурилиш ясаган қатор фанларнинг келажакдаги ривожланиш йўлларини ҳам кристаллография фани белгилаб бермоқда. Бунинг моҳияти ва сабабларини тушунтириш мақсадида унинг тарихига назар солайлик.

Кристаллар ҳақидаги фан фан сифатида дунёга келмасдан аввал минерал — маъданларни излаб топиш ва улардан

фойдаланиш мобайнида кристалларга хос бир қатор қонуниятлар кашф этилган бўлиб, улар ўша пайтлардаёқ минералларни ўрганишга татбиқ этилган эди. Жумладан, ўрта асрларнинг мингинчи йилларидаёқ Абу Райҳон Беруний минераллар — қимматбаҳо тошлар ва айрим тоғ жинсларини ўрганишда солиштирма оғирлигини аниқлаш усули асосида уларни бир-биридан ажратиш мумкинлигини кўрсатган эди. Бунинг учун у ўзи кашф этган солиштирма оғирликни ўлчаш асбобидан фойдаланган. Аллома биринчи бўлиб, оғирлиги 1 гр. га тенг бўлган 1 куб см сувнинг оғирлигини эмас, шунча ҳажмдагиси 19,2 гр. келадиган олтинни бирлик қилиб олган ва ўша пайтда маълум бўлган минералларнинг солиштирма оғирлигини шу асосда ҳисоблаб чиққан эди. Бунда олим тошларнинг кристалл тузилишларини ҳам ҳисобга олган эди. Абу Али ибн Сино ҳам ўзига маълум бўлган, тиббиётда қўллашни тавсия этган доривор минерал ва тошларни таърифлашда ҳам шу кристалларга хос хусусиятларни эслатиб ўтади. Узоқ ўтмишдагидек ўлкамизда кристалларга хос хусусиятлар, чунончи кристалларнинг шаффоф нур ўтказувчанлиги, минерал тола чидамлилиги, нодир тошларнинг заргарликда ишлатиш мумкинлиги, маъданлардан соф металл ажратиб олиш ва ундан буюмлар тайёрлаш имкониятлари аён эди. Бундан ташқари, минерал — тоғ жисмлари ҳосил бўлиши ва ўсиши жараёнида баъзан юзага келадиган тасодифлардан ҳам хабардор бўлинган.

Беруний ўша даврларда маълум бўлган, бошланғич манбаларда эътироф этилган олмос кристалларининг геометрик шакли ҳақида ўз мулоҳазаларини билдирди. Уларнинг ўзига хос аниқ геометрик шаклига, яъни учбурчакли ёнлардан ташкил топган ўткир учли, ўткир қиррали дипирамидага ўхшаш октаэдрик қиёфада бўлишини, аммо шунга ўхшатиб бошқа минераллардан, тоғ хрусталидан ясалган қалбаки "олмос"га алданиб қолмасликни таъкидлайди. Шу билан бирга кристалларнинг — қимматбаҳо тошларнинг ташқи қиёфаси, хусусиятлари, сифати шунга кўра уларнинг қиймати ҳам ўзи пайдо бўлган коннинг ўтмиши, "тарихи", муҳити билан боғлиқ эканлиги ҳақида фикр юритади. Шунингдек, Абу Али ибн Сино ҳам тиббиётда фойдаланиладиган минерал-кристаллар сифати, хусусиятларининг улар

топилган конга қараб ўзгаришини, қайси кондан олингани яхшию, қайсиси сифатсиз эканлигига баҳо беради. Демак, минерал-кристалларнинг таркиби ва хусусиятларини кон ҳосил қилувчи жараён муҳити билан боғлиқ эканлигига ишора қилади.

Ўрта асрларда шарқ мамлакатларида, жумладан Марказий Осиёда ҳам минерал, тоғ жинси ва ноорганик моддалар ҳақидаги фаннинг тараққиёти бутун дунё миқёсида бирмунча юқори босқичларга кўтарилган эди. Илм-фаннинг бу қадар ривожланиши учун ўша мамлакатлардаги муҳит-маданият шунга яраша бўлганди. Бундай муҳитда дунёга келган ва илм-фанни юқори чўққиларга кўтарган олимлар — эронлик кимёгар ал-Жобир (721—815); араб файласуфи, математик ал-Кинди (800—879) ва эронлик кимёгар-табиб Ар-Рози (864—925); озарбайжонлик Муҳаммад Насритдин (1201—1274), арабистонлик табиатшунос Захария Казвини каби алломалар яратган дурдона асарлар жаҳон тафаккур тараққиётида йўлчи юлдузлардек порлаб турибди. Афсуски, бу олимлардан қолган илмий мерос тўла сақланмаган, сақланганлари ҳам ўрганилмаган, кенг жамоатчиликка маълум эмас. Бу тўғрида украиналик олим, Тошкентда кончилик соҳаси бўйича таҳсил олган А. С. Поваренных гувоҳлик беришига қараганда (1965), "араб шарқи, Ўрта Осиёда айниқса минералларнинг таърифи соҳасида тўпланган асарлар қадимий Хитой ва антик дунё муаллифлари қолдирган илмий меросга нисбатан бирмунча юқори савияда ёзилган". Бу тарихни ўрганиш соҳасида ҳам амалга оширилган ишларнинг кенглигини билдиради.

1669 йилдан бошлаб фан оламида кристаллографияга оид илмий назариялар юзага кела бошлади. Шу йили даниялик шифокор Нильс Стенсен (1638—1686) кварц кристалларини ўлчаш устида олиб борган ишлари натижасида кристалларнинг мос ёнлари орасидаги бурчак, уларнинг каттакичиклиги, ташқи қиёфасидан қатъи назар доимийдир, деган хулосага келди.

Шундан юз йиллар чамаси кейин буюк рус олими М. В. Ломоносовнинг селитра кристалларини тадқиқ этиш борасида олиб борган изланишлари туфайли бурчакларнинг доимийлик қонуни қайтадан кашф этилди. Шу пайтдан бошлаб Стенсен-Ломоносовнинг бурчак доимийлиги

ҳақидаги хулосалари кристаллографиянинг биринчи асосий қонуни сифатида аниқ шаклланди. Шу билан бир даврда О. Бартолин томонидан исланд шпати кристалларининг нурни иккилантириб синдириш хусусияти кашф этилди ва бу кристаллнинг мавжуд уланиш текислиги аниқланди. Бу янгилик ҳам ўз ўрнида кристаллар оптик хусусиятларини ўрганиш учун асос бўлиб хизмат қилади. Кейинчалик голландиялик олим Х. Гюйгенс кристалларнинг иккилантириб синдириш хусусиятларини батафсил ўрганиб чиқиб, бу хусусиятлар кристалларнинг ички қонуний тузилиши билан боғлиқ, деб тахмин қилади. Ниҳоят ҳар бир кристалл ўзига хос шаклга эга бўлган бир турли заррачалардан ташкил топган, деган фикрга келди.

Рус кимёгар олими М. В. Ломоносов (1711—1765 йиллар) томонидан материя тузилишининг корпускуляр назарияси яратилди, материяни ташкил этувчи заррачалар — корпускулярлар шарсимон шаклда тасаввур этилди. Бу назария асосида юқорида айтганимиздек, кристалларнинг мос ёнлари орасидаги бурчакнинг доимийлик қонуни илмий жиҳатдан асослаб берилди. Кристалларнинг ўсиш жараёнида корпускулярлар устма-уст, қатор-қатор терилиб, кристалл ёнларини ҳосил қилади ва кристалл ёнлари аввалги — бошланғич ҳолатга параллел тарзда ўсади, деб кўрсатилади. Ломоносов кристалларнинг шакли ва физик хусусиятларини тадқиқ этиш билан ҳам шуғулланган. Олим мавжуд шароит ва муҳитнинг кристалларнинг ўсиши билан ўсиш тезлигига таъсири масалаларига алоҳида эътибор берган.

Француз минералоги Жан Батист Луи Роме де Лил (1736—1790 йиллар) ҳам бурчакларнинг доимийлик қонунини М. В. Ломоносов кашфиётидан 20 йиллар чамаси кейин, яъни Стенсен ва Ломоносов ишларидан бехабар ҳолда қайтадан кашф этади ва бу қонунни 1772 йили "Кристаллография ёки кристаллар, деб ном олган минераллар дунёсига хос ҳар хил жисмларнинг геометрик шаклларининг таърифи" деган китобида баён этади. Қизиғи шундаки, муаллиф ўз китобининг бир нусхасини "Императорликнинг С. Петербург Академиясига, муаллифдан", деб ёзиб, Россия Академиясининг кутубхонасига юборади. Шу вақтда Россия Фанлар академиясининг президенти, импе-

ратрица хоним Екатерина II томонидан тайинланган кутубхоначи княгина хоним Дашкова ўша Роме де Лил юборган китобни граф Строгоновга сотиб юборади. Кейинчалик эса эс-ҳушини йиғиб олиб, Строгоновдан китобни қайтариб олади. Лекин китобнинг бошланғич бети йиртиб олинган бўлади. Бу ўша даврда Россияда фанга бўлган муносабатни, Академия президентининг фан соҳасидаги "жонкуярлигини" кўрсатади. Бу ҳол фан ва ўша китоб тарихини тиклашда анча қийинчиликларга олиб келди.

Р. Ж. Гаюи (1743—1822) 1784 йилда кристаллографиянинг иккинчи асосий қонунини, кристалл ўлчамларининг мутаносиб нисбати ёки бутун сонлар қонунини кашф этади. Кальцит кристалларининг муайян йўналишлар бўйича текис юзалар ҳосил қилиб, синиш хусусияти (мавжуд ўта мукаммал уланиш текислигига кўра) бу кашфиётнинг очилиши учун асос бўлган эди. Гаюи — кристалларни ташкил этувчи молекулалар доимо параллелопипедлар қиёфасида бўлади деб тахмин қилади. Чунки ўша даврда кристалларнинг (ҳозирги кунда бизга маълум бўлган фазовий панжара ёрдамида тасвирланадиган) ички қонуний тузилиши назарияси ҳали кашф этилмаган эди.

Немис минералоги ва кристаллографи Х. С. Вейс (1780-1856) томонидан кристаллографиянинг учинчи асосий қонуни "зоналлар" ёки минтақалар қонунининг кашф этилиши ҳам шу даврга тўғри келади. Шу қонунга кўра кристаллнинг ёнлари билан қирралари орасидаги муносабат берилади. 1818 йили кристалларнинг ҳар бир ёни ва қирралари нисбий ўлчамларини — учта бутун сонлар билан ифодалаш биринчи марта ҳаётга татбиқ этилади.

Кристаллография фанининг бундан кейинги буюк тараққиёти тарихида кончи — геолог муҳандисларнинг хизматлари ҳам алоҳида диққатга сазовордир. Санкт-Петербург кончилик институтида Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев бошчилигида жуда кўпчилик кристаллограф-минералог олимлар етишиб чиқдилар. Уларнинг издошларидан бири машҳур кристаллограф Е. С. Федеров эди. Ундан кейин А. К. Болдырев, В. В. Доливо — Добровольский, В. И. Михеев ва уларнинг шогирдлари бутун дунёга машҳур бўлган, ҳозирги кунгача ҳам ўз моҳиятини йўқотмаган кашфиётларни яратдилар. Табиатда асосан қинғир-қий-

шиқ, биринчиси иккинчисига ўхшамайдиган, катта-кичик, хилма-хил кўп бурчакли ёнлардан иборат бўлиб кўринадиган минерал доналарида ҳозирги кунда бизга маълум қатъий қонуниятга асосланган аниқ геометрик шаклларни кўриш, ўз даврида ҳеч қандай воситалар билан аниқлаб бўлмайдиган кристалл доналарини ташкил этувчи моддий нуқталар геометриясини тасаввур қилиш, уларни тасвирлаш, ўша кашфиётларни рентген нури ёрдамида кўриб тасдиқ этиш ва ниҳоят, табиий қинғир-қийшиқ кристалл (минерал) доналари асосида шу аниқ геометрик қонуниятлар борлигини ўйлаб кўришнинг ўзи фанлар тараққиёти тарихида амалга ошиши мумкин бўлган кашфиётларнинг энг буюгидир. Бундай қонуниятларни кашф этиш шарафини муҳандисларга муяссар бўлиши тасодифий бир ҳол эмас, албатта. Улар кон қидирар эканлар, кристаллар — минераллар маъданларнинг физик хусусиятлари билан уларнинг геометрик шакли, кимёвий таркиби билан топилиш шароити, пайдо бўлиш муҳити ва жараёнлари орасида узвий боғланишга эътибор қилмасликлари асло мумкин эмас эди. XIX асрнинг биринчи ярмига келиб, минералларни батафсил текширишнинг асосий усулларидан бири сифатида табиий кристалл-минералларнинг ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш авж олиб кетди. Бу вазифани бажаришга кўп минералоглар, жумладан, В. И. Кокшаров (1818—1893), И. В. Еремеев (1830—1899) М. В. Ерофеев, кейинчалик Х. В. Вейс, Нейман, Науман, В. Гольдшмидт (1853—1930), Миллерлар ва бошқа олимлар ҳам қўшиладилар.

Миллер 1899 йили кристаллографияда аналитик геометрияни қўллаб, кристалл ёнларини махсус белги (индекс)лар ёрдамида ифодалаш учун мутаносиб рақамлар яратди.

1830 йили немис профессори — минерологи И. Ф. Гессель (1796—1872) кристалл шаклларининг симметрия кўринишлари (синфлари) чекланган, деган хулосага келади ва уларни 32 кўринишда бўлишини аниқлайди. Лекин бу янгиликнинг моҳияти қўллаш усулининг анчагина мураккаблиги туфайли ўз даврида замондошлари томонидан эътибор қозонмади. Шундан 40 йил чамаси кейин 1867 йили бундан бехабар бўлган рус олими, академик А. В. Гадолин (1828—1892) айнан шу кашфиётни такрорлаб, деяр-

ли ўхшаш хулосага келди ва бу кашфиёт шундан кейингина кристаллография фанида ўзининг тегишли ўрнини эгаллайди.

XIX асрнинг иккинчи яримларида сунъий кристалларни тадқиқ этиш бошланиб, кристаллар кимёси қонунлари (изоморфизм, полиморфизм ҳодисалари) кашф этилди. Кристалларнинг оптик хусусиятлари батафсил текширила бошланди. XIX асрнинг охирига келиб, кристаллар ички тузилишининг геометрик назариялари ишлаб чиқилди.

Буюк рус кристаллографи Е. С. Федоров бу соҳада ўзи эришган ютуқлари: "Симметрия правильных систем фигур" китоби, ўзи яратган микроскопнинг "Федоров столчаси", "Қўш доирали гониометри" билан жаҳонга машҳур бўлади. Кашф этилган кристалл тузилишига оид назариялар, кристалларнинг оптик (нур синдириш, ўтказиш) хусусиятларини текширишда муҳим аҳамиятга эга бўлган "Федоров столчаси" ва кристалл ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш асбоби — қўш доирали гониометр шу соҳада иш олиб бораётган ҳамма тажрибахоналарда, бутун дунё миқёсида, жумладан университет кафедраларида ҳам кенг қўлланиб келинади. Ниҳоят Е. С. Федоров (1853—1919) ҳаётининг охирида кристалларни аниқлаш учун кейинчалик қўлланма бўлиб қолган "Царство кристаллов", деган нодир асарини ёзиб тамомлайди. Бу китобда у кристалларнинг ташқи қиёфаси ва физик, жумладан оптик хусусиятларига қараб кимёвий таркибини аниқлаш мумкинлигини исботлайди. Шундай қилиб, кристалларни текшириш учун янги усул — кимёвий кристаллография таҳлил усулининг назарий ва илмий асоси ишлаб чиқилди.

Е. С. Федоров томонидан 1889 йили кашф этилган моддий нуқталар фазовий жойланишининг 230 қонуни, яъни кристалл ташкил этувчи моддий нуқталар жойланишининг 230 гуруҳи кристаллар тизимини таҳлил этиш учун математик асос бўлиб қолди. Бундай таҳлил усули шу кашфиёт матбуотда эълон қилинганидан 20 йиллар чамаси кейин қўллана бошлади ва бундай татбиқ ўша назариянинг мутлақо тўғри эканлигини кўрсатди. Е. С. Федоровнинг 230 гуруҳи "Кристалларнинг рентген тузилиш таҳлили учун жадваллар" китобига киритилган.

Бу ўринда бутун дунёга машҳур буюк олим, 500 дан ортиқ математика, кимё, геология, минералогия, петрография, кончилик ишига оид илмий асарлар муаллифи Е. С. Федоров олиб борган ишлар мисолида фаннинг ривожи доим равон йўлдан боравермаслигини кўрсатиб ўтиш ўринлидир. У беш ёшида тўрт амални яхши билар эди. Етти ёшида, эрмак учун ўқиб, геометрия дарслигини икки кунда ўзлаштириб олади. Кейинчалик ота касби бўйича ўқиб, ҳарбий муҳандис бўлиб ишлади, ҳарбий тиббиёт академиясида ўқишни давом эттириб, кимёгар-технологлик касбини эгаллади. Ниҳоят, 27 ёшида яна талаба бўлиб, энди у Петербург кончилик институтида ўқийди. Ўқишни тамомлагандан кейин геология комитетида ишлайди. Математика ва кристаллография соҳасида жуда кўп илмий асарлар ёзади, лекин олий илмгоҳда унга лоақал бепул бўлса ҳам маърузалар ўқишга рухсат берилмайди.

1901 йили Е. С. Федоров Россия Фанлар академиясига адъюнкт (академиянинг мухбир аъзосига яқин лавозим) қилиб сайланади. Бундан руҳланган олим тез орада яхши жиҳозланган тажрибахоналар билан бирга махсус минералогия илмгоҳини ташкил этиш, тегишли тажрибалар ўтказиш учун етарли даражада маблағга эга бўлиш имконияти яратилади, деб умид қилади ва енг шимариб ишга киришади. У орзуларини рўёбга чиқариш учун лойиҳалар тузади, Россия Фанлар академияси президенти номига таклифнома, хат ва арзномалар ёзади. Бу даврда Фанлар академиясининг президенти лавозимидаги Рус подшоҳининг амакиси бўлмиш, улуғ зот Константин Романов Федоровга лоақал жавоб қилишни ҳам лойиқ кўрмайди. Ниҳоят, Е. С. Федоров асло чўчимасдан К. Романовга қаҳрғазабга тўла аччиқ хат ёзиб мурожаат қилади:"Энди мен Фанлар академиясининг нима эканлигини билиб олдим. Мен бундай сайланишдан ўша вақтдаёқ бош тортишим керак эди. Лекин ҳали куч-ғайратим бор пайтда келажак авлоднинг минералогия институтини ташкил этишга уриниб кўришдан бош тортди, деган ҳаққоний таънасини қўзғатмаслик учун бундай қилмаган эдим". У яна, "менга ўхшаган оддий фан кишилари билан бюрократизмнинг машҳур намояндалари бўлмиш, жаноб академикларнинг дунёқараши: вазифа ва мақсадлари орасидаги мавжуд туб-

сиз жарлик" ҳақида янада ғазаблироқ фикрларни баён этади ва ниҳоят: "ўзимни шу жамоа аъзоси деган шарафга муяссар бўлишга йўл қўя олмайман", — деб ёзади ва: "Қандайдир лавозимда қолдирибгина эмас, балки менга Академияни эслатиб, илмий фаолиятимнинг сўнгги йиллари учун жуда-жуда зарур бўлган (бу вақтда у 52 ёшда эди) руҳий тинчлигимни бузмаслик учун ҳар қандай унвонларимни ҳам сақламасдан мени академиклар сафидан бутунлай чиқиб кетган, деб ҳисоблашларини" сўрайди.

Шундай қилиб, Е. С. Федоровнинг илтимоси қондирилади. У Россия Фанлар академияси жамоаси таркибидан чиқарилади. Аммо шу пайтга келиб, Федоровнинг номи Россияда ҳам, чет элларда ҳам ғоят машҳур бўлиб кетган эди. 1905 йили фақат Петербург кончилик институти ўзига мустақил директор танлаш ҳуқуқини олишга муваффақ бўлади. Федоровга шу лавозимни эгаллаш таклиф қилинади. Уч йилдан кейин у шу лавозимга иккинчи бор илмгоҳ кенгашида бир овоздан яна сайланади. Бироқ шоҳ вазири Илмий кенгаш қарорини тасдиқлашдан бош тортади, натижада энди у шу илмгоҳ кафедрасида оддий ходим лавозимида ишлашга мажбур бўлади.

1917 йилларда қайта қурилган Фанлар академияси яна хўрланган олим, буюк инсон Е. С. Федоровни бир овоздан ўзига аъзо қилиб сайлайди.

Шундай қилиб, фан тараққиёти йўлида жонини фидо қилган, фаннинг ривожи учун ватанининг, келажак авлоднинг тақдири учун ўз унвонидан, лавозимидан, моддий бойлигидан воз кечган олимнинг номи ҳамдўстлик мамлакатларида, қолаверса бутун дунё фани оламида бундан кейин ҳам ёруғ юлдуздек порлаб туради.

Ўша Федоров кашф этган кристалларнинг ички қонуний тузилиши назариясини кўп йиллар давомида ҳеч ким қайта исбот қила олмади; ҳаттоки, шу назариянинг тўғрилиги XIX аср охирига келиб, баъзи бир олимлар томонидан шубҳа остига ҳам олина бошлади. Ниҳоят, 1912 йилда немис олими, физик М. Лауэ бу назариянинг тўғрилигини амалий йўл билан яна бир бор исбот қилди. Бу вазифани бажаришда 1895 йили Рентген томонидан кашф этилган Х нурлари (рентген нури) асосий восита бўлди. Ўша қисқа тўлқинли нурларни фақат кристалл фазовий панжа-

ралари билан текшириш, шунингдек, кристалларнинг кўз билан кўриб бўлмайдиган ички қонуний тузилишини фақат рентген нурлари орқалигина исбот қилиш мумкин эди.

Бу кашфиётлардан сўнг машҳур физиклар ҳам, кристаллографлар ҳам кристалларни текширишда рентген нурларини қўллай бошладилар ва янгидан-янги, жуда кўп текшириш усулларини яратдилар. Собиқ СССРда Н.В. Вульф (1863—1935), Англияда ота-бола — В. Г. Брэгг ва В. Л. Брэгг кристалл фазовий панжарасининг текис тўрлари орасидаги масофани, шунингдек, тузилиш бирликларининг катта-кичиклигини (ион ва атом радиусини) ҳам аниқлаш мумкин бўлган тенгламани (формула) ни ишлаб чиқдилар. Ю. В. Вульф Россияда рентген нури ёрдамида кристалл тузилишини таҳлил этиш соҳасида иш бошлаган ва кристалларни график усулда ҳисоблаб чиқиш учун махсус тўр-сетка яратган кристаллограф-физик эди.

Шундай қилиб, россиялик иккинчи буюк олим Ю. В. Вульф бутун дунёга ном таратди. Лекин кўпчилик россиялик кристаллограф олимларнинг буюк назарий кашфиётлари ўша даврда амалий ишлардан жуда узоқ ва халқ хўжалигидан ажралган ҳолда эди. Иккинчи томондан, кристаллография соҳасида иш олиб бораётган олимлар нисбатан камчиликни ташкил қилар эдилар. Лекин шунга қарамай мамлакатда фан-техника тараққиётига ва хусусан халқ хўжалигини ривожлантиришга алоҳида эътибор берилди. Фан-техника тараққиётининг асоси бўлмиш физика, математика каби аниқ фанлар қаторида кристаллография фанининг тараққиёти учун ҳам кенг йўл очиб берилди. Бироқ бошланғич даврларда собиқ иттифоқ миқёсида кристаллограф мутахассисларнинг етишмаслиги ва шу соҳада иш олиб бора оладиган тўла жиҳозланган илмий муассасаларнинг йўқлиги туфайли фанимиз анча суст ривожланди. Яна бир сабаб ўша пайтда ишлаган кристаллограф олимларнинг деярли ҳаммаси Ленинград, ҳозирги Санкт-Петербург ва қисман Москва шаҳрида (Ленинградда фақат кончилик илмгоҳида ва университет тасарруфидаги кристаллография кафедраларида ва собиқ СССР Фанлар академияси минералогия музейи қошида 1925 йили ташкил этилган А. В. Шубниковнинг ягона кристаллография лабораториясида) тўпланган эди.

Бу даврда Санкт-Петербург кончилик илмгоҳида А. К. Болдирев (1883—1946) раҳбарлигида В. В. Доливо-Добровольский, И. И. Шафрановский ва бошқа кристаллографлар Е. С. Федоров мерос қилиб қолдирган илмий ғояларни ривожлантириш устида иш олиб бордилар. Шу илмгоҳда кристаллар геометрик шаклларининг ва кристалл тузилишлари андоза (модел)ларини ишлаб чиқиш А. К. Болдирев раҳбарлигида йўлга қўйилган бўлиб, бу кристаллография фанини чуқурроқ ўрганиш ва ўқитиш ишларини такомиллаштиришда муҳим аҳамият касб этди. Ленинград университетида эса Е. С. Федоровнинг шогирди О. М. Аншелес (1885—1957) В. Б. Татарский ва В. А. Франк-Каменецкийлар билан бирга илмий иш олиб борди.

Собиқ СССР Фанлар академияси қошидаги кристаллография лабораториясида машҳур олим Ю. В. Вульфнинг шогирди ва издоши А. В. Шубников раҳбарлигида пьезокварц кристаллари устида тадқиқот олиб борилди ва биринчи бўлиб жаҳон миқёсида собиқ иттифоқда сунъий пьезокварц ишлаб чиқариш саноатига асос солинди. Бу кристаллография фани билан техника тараққиёти соҳасида илк боғланган алоқа эди. У биринчи бўлиб, техника ва физика асбоблар учун ниҳоятда зарур ҳисобланган монокристаллар ўстириш мумкин бўлган махсус лаборатория яратди ва шу кристалларнинг ўсиш шарт-шароитлари билан улардаги физик хусусиятларнинг ҳам нисбитенглик (симметрия) қонуниятига бўйсунишини пухта тадқиқ этди. У кристаллар нисбитенглигига оид жуда кўп илмий назариялар ишлаб чиқди. Жумладан, кристалларнинг ўзини кристалланган муҳит, деб қараб, дисконтиниум — чексиз геометрик шаклга қарама-қарши қилиб қўйилган континиум — чекланган геометрик шакллар нисбитенглик соҳасида тадқиқотлар олиб борди ва ниҳоят, "Чекланган шаклларнинг симметрия ва антисимметрияси" деган китобини нашр эттирди. Шубниковнинг шу 1651 нисбитенглик (симметрия) ва акс нисбитенглик (антисимметрия) гуруҳлари Федоровнинг 230 фазовий гуруҳини ҳам ўз ичига олади.

А. В. Шубников жаҳон кристаллографлар жамияти ташкилий комитети ва шу ташкилотнинг органи — "Acta Crystallographica" журнали ишларида фаол иштирок этади

(Шубников таклифига кўра халқаро миқёсда нашр этилган журналга шундай ном берилган эди).

О. М. Аншелес (1885—1957) Е. С. Федоровнинг истеъдодли шогирдларидан бири бўлиб, устози вафотидан кейин унинг ишларини давом эттирди. Кристаллографиянинг ҳамма соҳаларига оид масалаларни ҳисоблашни чизма (графика) усулида ечиш бўйича у олиб борган тадқиқотлар ҳозирги кунда ҳам фанда кенг миқёсда қўлланилмоқда. Бундан ташқари, кристаллогенезис соҳасида ҳам жуда катта назарий илмий тадқиқот ишлари олиб борди ва саноатимиз учун ғоят муҳим аҳамиятга эга бўлган йирик монокристалларни тезкорлик билан ўстириш усулини ишлаб чиқди. Эндиликда техника учун зарур ҳисобланган монокристаллар саноат миқёсида у кашф этган усул билан олинмоқда. Санкт-Петербург физика-техника илмгоҳида ва кейинчалик Москва кристаллография институтида сунъий кристаллар олишни биринчи марта йўлга қўйганлиги учун олим 1950 йили Давлат мукофотига сазовор бўлган эди.

Асосан кристалларнинг нисбитенглиги муаммолари соҳасида минерал хом ашёлар институтида Е. Е. Флинт билан А. Н. Лямин, рентгенометрик ва гониометрик текширишлар бўйича кристаллографларнинг бошқа гуруҳи кристалларни оптик текшириш аппаратлари ва усуллари соҳасида тадқиқот олиб борадилар.

Бу даврда кристалл панжараларининг қувват назарияси геокимёгарлар диққатини ўзига жалб этди. А. Ф. Капустинский томонидан кашф этилган қувватни ҳисоблаш тенгламаси кристаллографлар билан кимёгарлар томонидан қўллаб-қувватланди. А. Е. Ферсман панжаралар қуввати соҳасидаги таълимотни геокимё фанида қўллаш йўлини очиб берди.

Собиқ СССР Фанлар академиясининг 1934 йили Санкт-Петербургдан Москвага кўчирилиши, кейинчалик эса 1937 йили геология институти қошидаги кристаллография секторининг Академияга мансуб алоҳида, мустақил кристаллография лабораториясига айлантирилиши уни физика, кимё фанлари ва бошқа техникага оид фанлар билан янада яқиндан алоқа боғлаши учун муҳим асос бўлди.

Шу даврдан бошлаб собиқ иттифоқда кристаллография фанининг ривожланишида кескин кўтарилиш юз берди. Бу йиллар давомида кашф этилган муҳим илмий назариялар ва кристаллография фани эришган ютуқларни техникага татбиқ қилиш соҳасида олимлар олиб борган амалий ишлар кристаллография фанининг халқаро миқёсларда ҳам шуҳрат қозонишига олиб келди.

Эндиликда кристаллография соҳасида назарий ва илмий тадқиқот ишлари олиб борилаётган илмий марказлар, замонавий асбоб-ускуналар билан жиҳозланган лабораториялар Москва билан Санкт-Петербургдагина эмас, балки МДҲдаги марказий шаҳарларда, шунингдек, йирик саноат марказларига эга бўлган жуда кўп шаҳарларда ҳам мавжуддир. Бу соҳада иш олиб бораётган илмий ходимлар сони тобора ортиб бормоқда.

В. Т. Михаев (1912—1956) ҳам минералларни рентгенометрик текшириш соҳасида ғоят самарали иш олиб борган олимлардан. Унинг шахсан ўзи томонидан (III қисм) ва фаол иштирокида ёзилган ҳамда нашр қилинган 4 томлик "Минералларни рентгенометрик аниқлаш" китоби машҳурдир. Шу қўлланма ёрдамида минералларни аниқлашнинг назарий асоси В. И. Михеев билан унинг устози А. К. Болдирев томонидан ишлаб чиқилган эди. Булардан ташқари, у нисбитенглик назариясига оид кристаллар гомологияси — Е. С. Федоров яратган назариялардан бирининг устида самарали тадқиқот олиб борди.

Ю. В. Вульфнинг шогирди ва издоши Е. Е. Флинт асосан кристаллар гониометрияси ва рентгенометриясини тадқиқ этди. "Минералларни рентгенометрик аниқлаш" китобини яратишда фаол иштирок этди. Гониометрларнинг жуда кўп турини яратдики, олий илмгоҳ ва илмий текшириш ишларида ҳозир ҳам уларнинг моҳияти йўқолмаган.

Бундан ташқари машҳур педагог сифатида Е. Е. Флинт кристаллографиядан жуда кўп дарслик, қўлланма ёзди. "Кристаллография асослари" (А. В. Шубников ва Г. Б. Бокий билан ҳамкорликда), "Кристаллографиядан танланган лекциялар", "Бошланғич кристаллография" каби қўлланмалари орасида унинг "Геометрик кристаллографиядан амалий қўлланма" (1956 йилда босмадан чиқарилган 3-нашри) ки-

тоби қисқа вақт ичида жуда катта педагогик маҳорат ила ёзилганлиги билан ажралиб туради.

Н. В. Белов биринчилар қаторида кристаллар тузилиши соҳасида иш олиб борган ғоят катта тадқиқотлари туфайли бутун дунёга танилди. У "Ионли кристаллар ва металл фазалар" устидаги илмий ишларига якун ясаб, тузилиш бирликларининг зич жойланиш назариясини янгича асос билан тараққий эттирди. Кристаллокимёвий тузилма тушунчалар Н. В. Белов олиб борган назарий ишлар туфайли органик ва ноорганик кимёга, минералогия ва геокимё фанларига сингиб кетди. Айниқса, силикатлар тузилишини ўрганишда у катта маҳорат кўрсатди. Шу туфайли силикат бирикмаларнинг кимёвий таркибини тўғри тасаввур этишга илмий назарий жиҳатдан пухта асос солинди.

Н. В. Белов А. В. Шубниковнинг антисимметрия назариясини кристаллар тузилишини тадқиқ этишда қўллаб, "кўп рангли" симметрия гуруҳларини тадқиқ этиш йўли билан бу назарияни ривожлантириш мумкинлигини кўрсатди.

Н. В. Белов халқаро кристаллографлар жамиятининг ташкилий ишларида А. В. Шубниковдан кейин фаол иштирок этди. Ҳаётининг сўнгги дақиқаларигача шу жамиятнинг раиси муовини лавозимида ишлади.

* * *

1920—1930 йилларга қадар Ўрта Осиёда, жумладан Ўзбекистонда ҳам кристаллография фани соҳасида илмий тадқиқотлар олиб борадиган биронта махсус илмий марказ ташкил этилмаган эди. Шу боис мутахассислар, айниқса минерологлар ўз илмий изланишларини (ҳозирги Ўзбекистон Миллий университети) Тошкент Давлат университети ва Тошкент Давлат техника университети (собиқ САГРИ — Ўрта Осиё Геология-разведка институти), САИИ — Ўрта Осиё Индустриал институти, САПИ — Ўрта Осиё Политехника институти (ТашПИ — Тошкент Политехника институти) геология ва кончилик факультетлари тасарруфида бўлган минералогия ва кристаллография, минералогия ва геокимё, кристаллография ва кристаллокимё кафедраларида амалга оширишган. Бундан ташқари, баъзи бир кристаллографияга хос минералогик ва геокимёга оид

масалалар бўйича САИГМС — Ўрта Осиё Минерал хом ашёлар (ҳозирги Ўзбекистон Республикаси Минерал ресурслар) институтида ҳамда Ўзбекистон Фанлар академиясининг Ҳ. М. Абдуллаев номли Геология ва геофизика институтлари қошидаги лабораторияларда турли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилди. Кўпчилик ҳолларда эса зарур тадқиқотларни бажариш учун "марказга" — Москва ва Санкт-Петербургдаги тегишли ташкилотларга мурожаат этилар эди.

Маълумки, машҳур олим — академик Ҳ. М. Абдуллаев Ўзбекистон Фанлар академиясининг Президенти, йирик давлат арбоби — Ўзбекистон Министрлар кенгаши раисининг ўринбосари (1942), Ўзбекистон Давлат Режа комиссиясининг раиси (1944), Геология ва геофизика институтининг асосчиси ва биринчи директори, Ўрта Осиё индустриал институтининг директори (1941), геология факультетининг профессори, Ўзбекистонда бошқа фан-саноат тармоқларини, жумладан конлар геологиясини ўрганиш, қидириш-чамалаш ишлари ҳамда кончилик саноатини ривожлантириш режаларини тузиб, уни амалга оширишни бошқарган эди. Шу билан бир қаторда минералогия-геокимё фанларининг равнақига ҳам кенг имкониятлар яратиб берган ва энг муҳими, маҳаллий миллат ёшларидан мутахассислар тайёрлашга айниқса катта эътибор қаратган эди.

Ўрта Осиёга кристаллография, минералогия ва геокимё каби фанларнинг кириб келиши, илмий тадқиқот ишларининг ривожи, шу соҳага оид таҳсилгоҳнинг Тошкент Давлат университети тасарруфида 1920 йили ташкил этилиши академик А. С. Уклонский номи билан бевосита боғлиқдир. Машҳур олим умрининг охиригача бутун Ўрта Осиё миқёсида жумладан, Ўзбекистонда ана шу йўналишлар бўйича амалга оширилган илмий тадқиқот ва амалий ишларни бошқариб келди. Бу соҳалар бўйича етук мутахассислар тайёрлаш ишига илмий раҳбарлик қилди.

Республикамиз миқёсида минералогия ва геокимёга оид барча илмий ишлар кристаллография ҳамда кристаллокимёвий тушунчалар ва назарияларга асосланган ҳолда олиб борилмоқда.

Сайёрамизнинг биз яшаб турган энг юқори қобиқ қисмини ташкил этувчи минераллар ва тоғ жинслари таркиби, саноатимиз ривожи учун энг керакли фойдали қазилма бойлик ҳисобланувчи маъдан жисмларнинг деярли ҳаммаси мазкур қўлланманинг асосий мазмуни бўлган кристаллардан иборатдир.

КРИСТАЛЛ ҲАҚИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

1. Кристалл ва унинг хусусиятлари

Кристалл нима? Маълумки, табиий ёки сунъий йўл билан олинган кимёвий бирикма ва кимёвий элементларнинг ҳаммаси кристалланган (кристалл — қадимий юнон тилида, муз демакдир) ёки аморф (аморф — шаклсиз демакдир) моддалардан иборат.

Ер шарининг устки қисми — тоғ жинсларини ташкил этувчи минералларнинг деярли барчаси, жумладан тоғ жинслари орасида қидириб-топиб, қазиб олинадиган маъдан (кўмир ва нефтдан ташқари), баъзи завод-фабрикаларда ишлатилаётган хом ашё, тайёрланаётган маҳсулотлар — металл қотишмалари ва улардан ҳозирланган асбоб-ускуналар, ҳаттоки озиқ-овқат маҳсулотлари, тиббиётда қўлланиладиган дори-дармонлар ҳам, қишлоқ хўжалигида фойданиладиган минерал ўғит ва кимёвий моддаларнинг ҳамма-ҳаммаси кристаллардан ташкил топган. Шуни ҳам айтиш керакки, ташқи қиёфасига қараб кристалл, деб аташ мумкин бўлган аниқ геометрик шаклга эга текис, силлиқ ёнлари кўриниб турадиган кимёвий моддалар табиатда ҳам, саноатда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар орасида ҳам кам учрайди. Бу кимёвий моддаларнинг ҳаммасини кристалл, деб аташ учун уларнинг геометрик шаклидан ташқари, улар бошқа ўзига хос белгилари билан ажралиб туриши керак.

Кристаллар қуйидаги белгилари билан аморф моддалардан фарқ қилади:

1. Ҳар қандай жисмнинг кристалланган ҳолати ўша жисмни ташкил этувчи модданинг термодинамик мувозанатдаги ҳолатидир. Муайян кимёвий таркибли модданинг қаттиқ

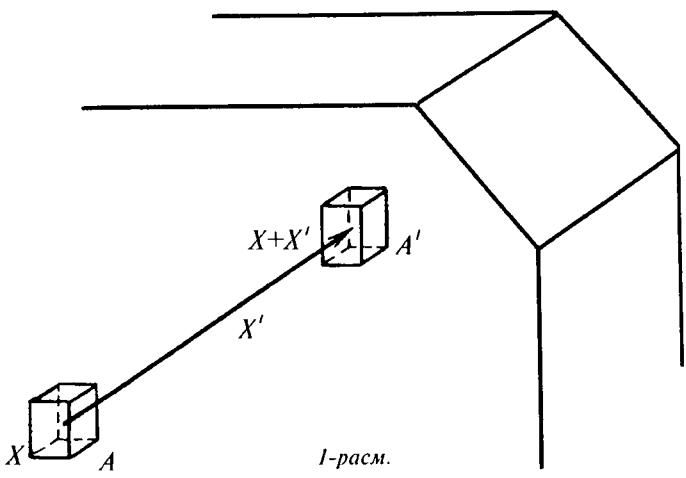
ҳолати — муайян босим, ҳарорат, термодинамик шароитга мос келадиган атомларининг ўзига хос геометрик шакл тузилишига, яъни кристалл шаклига эга бўлади.

Демак, кристалл ўз ҳолича, кишиларнинг иштирокисиз, табиатда тўғри қирралар ҳосил қилувчи текис-силлиқ ёнлари билан чекланган қаттиқ жисм, кимёвий бирикма ёки элементдир.

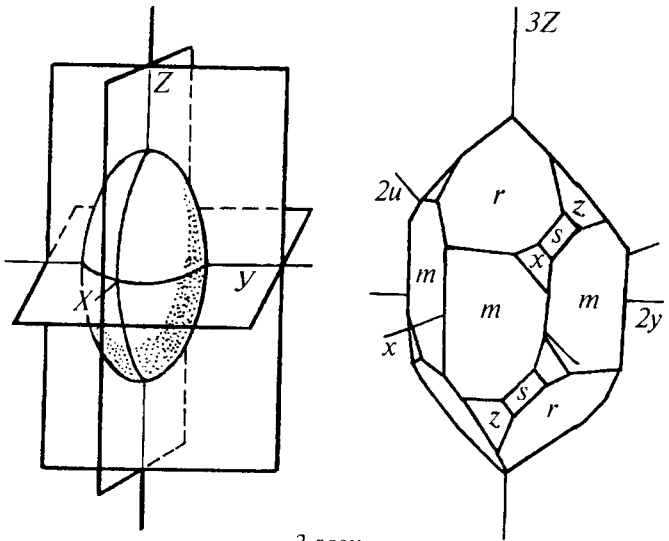
Кристалл парчаси, шу кристалл таркибидаги модда эритмасида ўзининг маълум қонуниятларга асосланган шу модда учун хос кристалл шаклини олишга интилади ва зарур физик-кимёвий муҳит ва жараён мавжуд бўлганда ўша кристалл қиёфасида ўз-ўзидан шаклланади.

2. Кристаллнинг кимёвий таркиби ва солиштирма оғирлиги каби хусусиятлари ҳамма қисмида ҳам бир хил бўлади, демакки, у бир жинслидир. Кристаллнинг исталган жойидан бир хил катталикда, бир хил йўналишда олинган бўлаги бир хил физик, физик-кимёвий хусусиятларга, бир хил кимёвий таркибга эга (1-расм). Бундай бир хиллик, яъни ўзгармас хусусиятлар фақат муайян муҳитда босим, ҳарорат ва бошқа сабаблар таъсирида ўз кучини сақлайди.

Яққол кўриниб турадиган бундай бир жинслилик хусусиятига кўра, кристалларни фазода узлуксиз давом этадиган чексиз муҳит деб қараш мумкин. Бир жинслилик аморф



1-расм.



2-расм.

жисмларда ҳам, суюқликларда ҳам, газларда ҳам бўлади. Лекин кристалларга хос бир жинслилик ўзининг анизотроплиги (муайян йўналишлар бўйича физик хусусиятларининг бир хиллиги) билан ажралиб туради. Кристаллардаги анизотроплик хусусият уларнинг геометрик шаклидан ҳам яққол кўриниб туради (2-расм).

3. Кристаллнинг синдириш кўрсаткичи, қаттиқлиги каби қатор физик хусусиятлари муайян йўналишлар бўйича бир хил қимматга эга, яъни кристалл анизотроп физик жисмдир.

4. Кристалланган моддалар муайян — ҳар бири ўзига хос ҳароратда эрийди. Масалан, муз 0° да эрийди ва ҳ.к.

5. Кристалл — бир хил таркибли, ўхшаш — тенг қисмлардан иборат анизотроп муҳитдир.

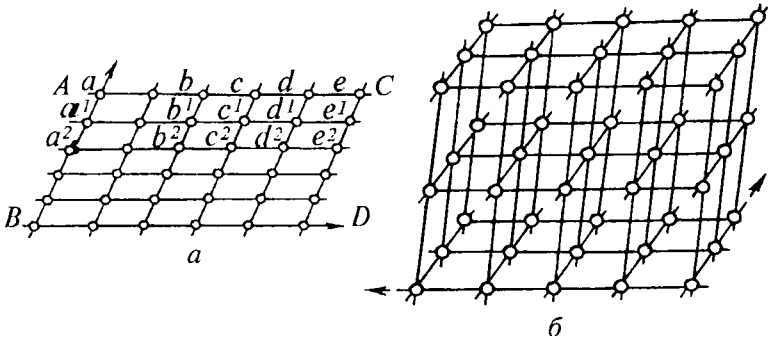
Кристаллар маълум тартиб-қоида асосида такрорланадиган қўшимча геометрик воситалар ёрдамида аниқланадиган ўхшаш тенг қисмлардан иборат, яъни симметрик (нисбитенг) жисмдир. Масалан, ош тузи — галитнинг кристалли куб шаклида бўлиб, ўша кубнинг ёнлари ўртасидан ўтказилган

ўқ атрофида уч марта ва қирралари устидан олинган ўқлари атрофида икки мартадан такрорланади.

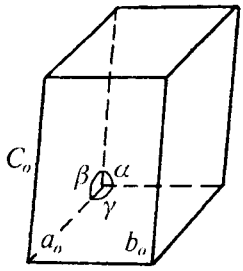
Симметрия (нисбитенглик) тушунчаси кристаллография фани туфайли ўзининг мантиқий ривожини топди ҳамда кенг қўлланиладиган бўлиб қолди. Шунингдек, кристаллографик симметрия назарияси ҳам ҳаётда, жумладан ўсимликлар ва жондорлар дунёсида ҳам ўз нисбатини топди.

6. Кристалл даврий ички қонуний тузилишига эга бўлиб, бу қонуният кристалл ҳосил қилувчи кимёвий бирикма таркибига кирадиган молекула, атом, ионларнинг, бошқача қилиб айтганда, шу кристалл тузилишини ташкил этувчи моддий нуқталарнинг даврий, маълум тартиб билан чексиз такрорланишида ўз аксини топади. Бундай қонуний ички тузилишни "фазовий панжаралар" шаклида тасаввур этамиз ва тушунтира оламиз. Кристалларнинг юқорида келтирилган хусусиятлари улардаги мана шу ички қонуний тузилишининг кўзга кўринадиган оқибатларидир.

Аморф моддалар ички, узлуксиз қонуний тузилишга эга бўлмайди ва юқорида санаб ўтилган хусусиятлар уларда мутлақо кўринмайди. Масалан, шиша — аморф моддадир. 3-расмда кристаллнинг фазовий панжараси, текис тўри кўрсатилган. Фазовий панжарада ионлар ёки умуман шу фазовий панжараларни ташкил этувчи бирлик — моддий нуқталарнинг жойлашган ўрни фазовий панжара тугунчаларидир (A°, A, A′A″ ... нуқталар). Бу тугунчаларни бирлаштирувчи тўғри



3-расм.



в

4-расм.

чизиқ — фазовий панжаранинг қатори ва бир текисликда ётган ўзаро кесишувчи қаторлардан иборат тўр (катак) фазовий панжаранинг текис тўри деб аталади. Учларида жойлашган фазовий панжара тугунчалари билан ташкил этилган параллелопипед фазовий панжаранинг кичик бўлагига фазовий панжаранинг элементлар ячейкаси деб айтилади (4-расм).

Демак, кристаллнинг тасаввур этилган ички қонуний тузилиши тасвирланган фаразий шаклга фазовий панжара, деб айтилади. Ҳар қайси кристалл ўзини ташкил этувчи моддий нуқталарнинг шу кристаллга хос жойлашиш тартиби, яъни фазовий панжара элементар ячейкасининг, кристалл тузилишида чексиз такрорланувчи параллелопипеднинг шакли катта-кичиклиги билан ажралиб туради. Ҳар қайси модда кристаллига хос равишда элементар ячейкалар қирраларининг (a_0, $в_0$, c_0) узунлиги билан ва шу қирралар орасидаги бурчак — α, β, γ қиймати билан бир-биридан фарқ қилади.

2. Кристаллнинг вужудга келиши ва ўсиши

Кристаллнинг вужудга келиши ва ўсиши масалалари жуда катта илмий-назарий, шунингдек, амалий аҳамиятга эга. Шу соҳада олиб борилган илмий-тадқиқот ишлари кейинги пайтларда фан ва техниканинг кескин тараққиёти билан боғлиқ равишда халқ хўжалиги, жумладан, саноат талабига мувофиқ ривожланмоқда. Бу талаб биринчи навбатда, белгилаб қўйилган муайян хусусиятларга эга кристалларни, хусусан, турли қаттиқ қотишмаларни, ярим ўтказгичларни, юқори сифатли пьезоэлектрик ва оптик хусусиятларга эга бўлган кристалларни сунъий йўл билан тайёрлаш усулларини ишлаб чиқишдан иборат. Бундан ташқари, жуда кўп металлар ва металл қотишмаларнинг сифати уларнинг кристалланиш муҳити — шароити, қотишмада иштирок этувчи атомларнинг фазовий панжарада тут-

ган ўрни билан боғлиқ. Шунинг учун ҳам бу масала металлурглар билан металлшунослар эътиборини ўзига тортади. Шунингдек, кристаллогенезис соҳаси бўйича иш олиб бораётган геологлар билан минералоглар ҳам кристалларнинг вужудга келиши ва ўсишини ўрганадилар ҳамда шу соҳада илмий-тадқиқот ишлари олиб борадилар. Пировардида вужудга келишини ҳеч ким кўрмаган ва кўриш мумкин бўлмаган тоғ жинслари ҳамда минераллар ҳосил қилиб, уларнинг пайдо бўлиши учун қандай муҳит — шароит зарурлиги ва қайси моддалар иштирок этишини аниқлаб оладилар. Шуни ҳам эслатиб ўтиш керакки, кристаллар ўсишининг ҳозиргача ҳал қилинмаган жуда кўп, ўзига хос назарий ва амалий муаммолари бор.

Кристаллар табиатда содир бўладиган ёки лабораторияда ҳосил қилинадиган фаза алмашиниши натижасида юзага келади.

Кристаллар эритмадан чўкиш йўли билан (масалан, ҳар хил тузлар), эриган модданинг қотиши (металл ва металл қотишмалари), буғ ҳолатидаги моддаларнинг қотиши (масалан, йод, қор ва бошқалар) натижасида ҳосил бўлади. Бундан ташқари, баъзи аморф қаттиқ моддалар вақт ўтиши билан ёки баъзан ҳарорат ва босим таъсирида ҳам кристалланган моддага айланиши мумкин.

Кристалларни вужудга келиши ва ўсиши билан боғлиқ баъзи бир амалий ва назарий масалалар ечимини эритмада чўкаётган кристаллар мисолида аниқ кўриш ва тасаввур этиш мумкин.

Кристалларнинг эритмада шакллана бошлаши учун шу муҳитда (муайян ҳарорат ва босимда) ўша эритма ўта тўйинган бўлиши керак. Маълумки, 100 $см^3$ ҳажм бирлигидаги суюқликни (эритувчини) тўйинтириш учун эритилиши зарур бўлган модда миқдори ўша модданинг эрувчанлиги, деб айтилади ва бу миқдор асосан ҳароратга (босим деярли таъсир кўрсатмайди) боғлиқ равишда ўзгаради. Ҳарорат кўтарилиши билан у кўпинча ортиб боради, баъзан эса камайиб боради (масалан, Na_2CO_3, NaF, K_2SO_4 ва ҳ.к.). Баъзи моддаларнинг эрувчанлик даражаси 1-жадвалда келтирилган.

Кристалл ўстириладиган модданинг эрувчанлик хусусияти номаълум бўлганда у амалда синаб кўриб, аниқланади. Бунинг учун 100 мл ҳажмда эритувчи — сув олинади ва унда ўша модда (оғирлиги ўлчаниб) оз-оздан солиб эритилади. Ниҳоят ортиқча эримайдиган ҳолатга етгунча сарфланган модда миқдори ўша модданинг эрувчанлик даражасини ташкил этади. Ўта тўйинган эритма ҳосил қилиш учун эритмада яна бир неча фоиз модда иситиб қўшимча равишда эритилади.

Ўта тўйинган эритмаларни тўйинган эритмада совутиш, яъни ҳароратини пасайтириш, тўйинган эритмани буғлантириш, шунингдек, кимёвий реакциялар йўли билан ҳам ҳосил қилиш мумкин.

1-жадвал

Тузларнинг эрувчанлиги
(100 см³ сувда, грамм ҳисобида берилган)

Тузларнинг номи	Ҳарорат				
	0°	10°	20°	30°	40°
Алюминий калийли аччиқ тош	3,90	9,52	15,13	22,01	30,92
Мис купороси (тўтиё)	31,61	36,95	42,31	48,81	56,90
Магний сульфат	76,9	96,5	119,5	146,3	179,5
Натрийли селитра	73,0	80,6	88,5	96,6	104,9

Масалан, аччиқ тош 40° гача иситилган 100 см³ сувда 30,92 г миқдорда эрийди, эритманинг ҳарорати 20° гача совитилса, у ўта тўйинган эритмага айланади. Чунки бундай ҳароратли сувда аччиқ тошнинг 15,13 г миқдори эрийди. Демак, ҳарорати пасайтирилган эритмада 15,79 г. ортиқча эриган модда бор. У маълум пайтгача эритмада чўкмаган ҳолда сақланиши, кейинчалик эса вақт ўтиши билан крис-

талл "куртакча" лар ҳосил қилиб бирмунча йириклашгандан сўнг чўкиши мумкин.

Тайёрланган тўйинган эритма ўша ҳароратда вақт ўтиши билан эритувчининг буғланиши натижасида ўта тўйинган эритмага айланади. Бунда эритувчининг ўзи буғланиб камаяди, эриган модда эса буғланмайди ва деярли камаймайди.

Тўйинган эритмадаги яхши эрувчан моддалар орасида кечаётган кимёвий реакциялар натижасида қийин эрувчи модда ҳосил бўлар экан, бу эритма шу қийин эрувчи модда учун ўта тўйинган эритма бўлиб қолади. Масалан, K_2SO_4 билан $BaCl_2$ каби яхши эрувчан тузлар эритмаси бир-бирига қўшилар экан 2KCl билан $BaSO_4$ қийин эрувчан бирикма бўлганлиги учун у эритмада кристаллар ҳолида чўкма ҳосил қилади.

Тўйинмаган эритмаларда кристалл ҳосил бўлмайди, аксинча шундай эритмага туширилган кристаллнинг ўзи эриб кетади.

Тўйинган эритмада кристалл ҳосил бўла бошламайди, бунинг устига қўшилган ортиқча модда эримайди ҳам.

Табиатда ҳам, саноатда ҳам ўта тўйинган эритмалардан жуда кўп кристалланган моддалар ҳосил бўлади. Масалан, ош тузи қатламлари, калий тузи, глаубер тузи ва бошқалар шўр сувли табиий кўлларда чўкади.

Қолдиқ магма билан боғлиқ гидротермал жараёнда юқори босим ва ҳарорат таъсирида тоғ хрустали, флюорит, исланд шпати кристаллари вужудга келади. Шунингдек, завод-фабрикаларда ҳам эритмадан кристалл моддалар чўктириб олинади.

Қизиб эриб турган моддалар ҳам ҳароратнинг пасайиши — совиши натижасида кристалланган моддаларга айланади. Бироқ бундай йўл билан юзага келган кристаллар табиатда қанчалик кўп тарқалган бўлишига қарамай, уларнинг ташқи кўринишида кристалларга хос белгилари кўринмайди. Улар жуда майда, ҳаттоки, оддий кўз билан кўриб бўлмайдиган, нотўғри шаклли кристалл доналаридан иборат жисм ҳосил қилади. Кундалик ҳаётимизда техникада кенг қўлланилаётган металлар би-

лан металл қотишмалари ва қайноқ магманинг ўзидан пайдо бўлган магматик жинслар қизиб-эриб турган моддаларнинг совиши натижасида юзага келган кристалл жисмлар қаторига киради. Жуда кўп металл ва металл қотишмаларининг физик хусусиятлари (жумладан, пишиқлиги ҳам) бир томондан, шу кристалл таркибида иштирок этаётган атомлар хоссалари билан, иккинчи томондан эса, эриб турган модда ҳароратининг қандай йўсинда пасайишига боғлиқ.

Газ-буғ ҳолатидаги моддаларнинг суюқликка айланмасдан тўғридан-тўғри қаттиқ ҳолатга ўтиши жараёнида юзага келадиган кристалл моддалар табиатда унчалик кўп эмас. Вулкан моддалари билан бирга чиқадиган газ ва буғдан нашатир (NH_4Cl_2), ош тузи ($NaCl$), йод (I), олтингугурт (S) ва темир хлориди ($FeCl_2$) каби модда кристаллчалари ҳосил бўлади. Қор ҳам табиий йўл билан сув буғларидан худди шундай ҳосил бўлган кристалл скелетидир. Баъзи бир завод маҳсулотлари ҳам газ-буғдан бунёд этилган кристаллардир. Масалан, кристалл ҳолатидаги магний, корборунд ва ҳ.к.

Бундан ташқари, қаттиқ ҳолатдаги аморф моддалар ҳам кристалл тузилишига эга бўлган ҳолатга ўтиши мумкин. Чунки оҳак тош ($CaCO_3$) қатламлари маълум шароитларда вақт ўтиши билан мармартошга, кремнезем (силиций оксиди опал, халцедонлар — SiO_2) эса кварцга айланади ва ҳ.к.

Шунингдек, жуда майда кристаллардан иборат бўлган жисмларни ташкил этувчи ўша кристалл заррачалари ҳарорат, босим ва бошқа омиллар таъсирида йириклашиши мумкин. Кристалларнинг бундай катталишиши — кичикларининг ейилиб кетиши ҳажм бирлигига тўғри келадиган кристаллчалар сонининг камайиши билан боғлиқ равишда юз беради. Баъзан металл буюмлар, кўп ишлатилиши натижасида машина айрим қисмлари пишиқлигини йўқотишини, яъни "қариб қолиши"ни шу билангина изоҳлаш мумкин. Бундай ҳодиса табиатда ҳам учраб туради. Майда донадор оҳактош йирик донадор мармар тошга айланади.

3. Кристалларнинг вужудга келиши сабаблари ва ўсишига оид назариялар

Маълумки, молекулалар суюқ ҳолатда доимо ҳаракатда бўлади. У газ ҳолатига ўтар экан, бу ҳаракат янада тезлашади. Аморф қаттиқ моддаларда айрим молекулаларнинг ҳаракати ўша молекулалар ўз қонуний барқарор ўрнини ишғол этмагунча секин ва қийинчилик билан давом этади. Кристалл моддаларда эса молекулалар ҳаракатда бўлиб, бир жойдан бошқа бир жойга силжимайди. Балки кристалл моддаларнинг атом, молекулалари фақат ўз ўрнида тебранма ҳаракатда бўлади. Бундан ташқари, қандайдир кристалл жисмга иссиқлик кучи (қувват) таъсир этар, яъни қиздирилар экан, у маълум ҳарорат таъсирида эрий бошлайди. Шу модда ҳарорати қанчалик кўп қиздирилмасин, у тамом эриб бўлмагунча юқори кўтарилмайди, яъни кристалл модда бутунлай эриб кетгандан кейингина ҳарорати кўтарилиши мумкин. Масалан, муз кристаллига берилган иссиқлик шу кристаллнинг эриши учун сарф бўлади ва муз бутунлай эриб сувга айланмагунча ҳарорат кўтарилмайди. Бу мисолдан маълум бўладики, кристалл ҳолатидаги модда бошқа ҳолатдагисига қараганда, энг кичик (минимум) ички қувватга эга. Демак, ҳар қандай ҳолатдаги модда кристалл ҳолатига ўтишга интилади ва бунинг учун зарур шарт-шароит вужудга келиши билан муҳитнинг ўзгариши туфайли кристалланган моддага айланади.

Мана шу кристалл қандай қилиб, нимадан вужудга келади ва ўсади? — деган масала ҳам назарий, ҳам амалий жиҳатдан жуда кўп олимлар эътиборини халқаро миқёсда ўзига тортиб келади. Аммо бу масаланинг ҳали ҳам ниҳоясига етказиб, ҳал этилмаган томонлари бор.

Ҳароратнинг пасайиши билан эриган модда заррачалари (молекула, атом ёки ионлар) ҳаракати сусая боради, манфий ва мусбат зарядли заррачалар орасидаги тортиш кучига асосан, аввало бир ўлчамли, кейинчалик эса икки ўлчамли "куртакча"лар юзага келади. Бу кристалл заррачалари кристалланиш марказлари ўсиб етиладиган бўлажак кристаллар учун "асос" ҳисобланади, шу тариқа кристалланиш марказлари ўта тўйинган эритмалардагина барқарор бўлиб қолади.

Тўйинган ёки тўйинмаган эритмаларда бундай "куртакча"-лар баъзан бунёдга келса ҳам улар жуда тез эриб кетади. Мавжуд назарияларга кўра ҳар томонлама ёпиқ беркитилган идишларга ўта тўйинган, ўта совиган эритмалар кристалланиш марказлари четдан келиб тушмагунча кристалланмасдан жуда узоқ вақт сақланади, деб тушунилади. Бироқ амалда бундай эритмалардан барибир, "куртакча"лар — кристаллар ўз-ўзидан юзага келаверади.

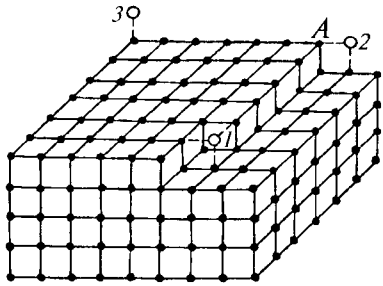
Кристалл марказининг ўсиш-ривожланиш жараёни ҳам олимларимизни кўп жиҳатдан қизиқтириб келади. Кристалл эритмада ўсар экан, манфий ва мусбат зарядланган ионлар ўзаро тортиш қонунига кўра, ўша кристалланиш маркази билан бирин-кетин тортилади ва маълум тартиб бўйича кристалл устида жойлашади. Кристалларнинг кейинги ўсиши жараёни ана шундай тасаввур этилади.

Кристаллар ўсиши жараёнини бошқачароқ изоҳлаш ҳам мумкин. Эритмада бўлган ионлар ўзаро бирлашиб, бир ёки икки ўлчамли бирмунча йирик бирликлар: "кристаллча"-лар — "протокристалл"лар ҳосил қилади. Шу бир қанча ионлардан иборат йирик бирликлар кристалланиш марказлари атрофида маълум тартиб билан тўпланиб, йирик кристалл ҳосил қилади.

Кристалланиш марказининг ўзи эса шу модда кристаллининг майда заррачаси ёки шу модда билан изоморф бўлган бошқа модда заррачаси бўлиши ҳам мумкин. Бу моддалар эритма ёки эриб турган қотишмага ҳаводан чанг-гард сифатида тушган ёки кристалланишни тезлаштириш мақсадида атайин эритмага солиб қўйилган бўлиши мумкин.

Бундан ташқари, эритманинг тез-тез аралаштирилиши — чайқалиши, эритма солинган идишнинг тебратилиши ёхуд урилиши ҳам кристалл марказлари вужудга келишини тезлаштиради, бунда эриган модда ёки эритмадаги заррачалар ҳаракати тезлашиб, улар бир-бирига нисбатан тезроқ йўналиш олиб яқинлашади ва тузилмада барқарор боғланган ҳолатда жой олади.

Демак, кристалл шаклидаги модда заррачалари (ионлар, атом молекуласи) бошқа суюқ, газ ва буғ ҳолатидаги заррачаларга қараганда ҳаракатсиз ҳолатда бўлади. Кристаллан-



5-расм.

ган моддада жуда кичик ички қувватга эга мувозанатдаги ҳолатга ўтишга интилаётган заррачаларнинг шу муҳитдаги барқарор тутган ўрни, мавқеи акс этади. Кристаллнинг ҳосил бўлиши табиий куч — ички қувват билан боғлиқ экан, унинг сўнгги ўсиши ҳам муайян куч-қувват таъсирида маълум қонуният асосида кечади.

Кристаллар ўсиши назариясига кўра ўша заррачаларнинг ўсаётган кристалл сиртига қай тартибда ёндошиши ҳам муҳим аҳамиятга эга. Пировард натижада кристаллнинг ташқи қиёфаси мана шу кристалл ёнларининг ўсиш тартиби билан боғлиқдир (5-расм).

Ўсаётган кристаллнинг ёнида А ҳолатда жойлашган –1 ионлар шу юзага уч йўналиш бўйича, Б ҳолатидаги –2 ионлар икки йўналиш бўйича, С ҳолатида жойлашган –3 ионлар бир йўналиш бўйича тортилади. Бундай эритмада эркин равишда ҳаракат қилаётган ион биринчи навбатда, уч йўналиш, кейин икки йўналиш ва ниҳоят бир йўналиш бўйича тортилган ҳолатдаги ўринни эгаллайди. Демак, ўсаётган кристалл ёнида ҳар қайси ион ўса бошлаган қаторни, ўша қатор тўлганидан кейин эса ўша қаватдаги янги қаторни тўлдиради. Ниҳоят шу ёндаги ҳамма қатор тўлгандан кейин кристаллнинг янги қавати ўса бошлайди. Қатор ва қаватлар қалинлиги ион, атом ёки молекула тузилма бирликларининг катталиги билан ўлчанади.

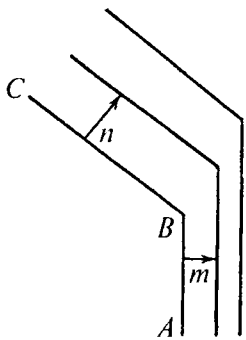
Демак, назарий жиҳатдан қаралганда кристалл ўса бошлаган қават тўлмагунча янги қаватда ўсиш рўй бермайди.

Бу кристаллар ўсиш жараёни тартибига асосан тўғри ўсган кристаллар — текис-силлиқ ёнлар билан чекланган, ёнлари

эса текис қирралар билан кесишган бўлади. Бу қонун кристалларнинг текис ён ва қирралар билан чекланиш қонуни деб аталади.

4. Кристалл ёнларининг ўсиш тезлиги ва кристалларнинг ташқи қиёфаси

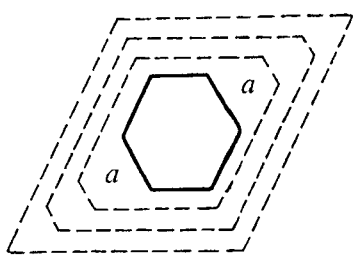
Кристалларнинг текис, силлиқ ёнлар ва тўғри қирралар билан чекланган, ажойиб шакли кишилар эътиборини ўзига жалб этиб келаётганлигини китобимизнинг кириш қисмидаёқ эслатиб ўтган эдик. Бунинг асосий сабаби ёхуд нега шундай эканлиги кристалларнинг ўсиши назариясида тушунтириб берилади. Кристаллнинг ёни кристалл ташкил этувчи заррачалар жойлашган текис юзадан, яъни фазовий панжаранинг текис тўридан иборат. Қирралар эса текис силлиқ ёнлар кесишадиган тўғри чизиқ, яъни фазовий панжаранинг қаторидир. Шундай экан, юқорида айтиб ўтилганидек, кристаллнинг ўсаётган ёни аввалги ҳолатига параллел равишда сурилади.



6-расм.

Кристалл ёнининг ўсиш тезлиги деб, шу ённинг вақт бирлиги ичида шу ёнга тик йўналиш бўйича сурилиш (силжиш) масофасига айтилади. Бу тезлик кристалл ёни устида вақт бирлиги ичида ўсган қаватнинг қалинлиги билан ўлчанади. AB ёнининг ўсиш тезлиги m, BC ёнининг тезлиги n ҳарфи билан кўрсатилган (6-расм).

7-расмдан кўриниб турибдики, кристаллнинг тез ўсган ёни *a* кейинчалик йўқолиб кетади (унинг ўрнида кристаллнинг учи юзага келади), секин ўсаётган ёни эса доимо сақланиб ривожлана боради. Бундан кристалл ўсиш тезлиги кичик бўлган ёнлар билан чекланади, деган хулосага келиш мумкин.



7-расм.

Демак, эркин ўсаётган кристаллнинг шакли шу кристалл ёнларининг ўсиш тезлигига боғлиқ. Бу эса ўз ўрнида ион, атом ёки молекулаларнинг ҳар қайси кристалланаётган модданинг ўзига хос муайян йўналишлар бўйича жойланиш тартиби билан белгиланади. Тажрибалардан маълум бўлишича, кристалл ёнлари ретикуляр зичлиги катта (ортиқ) бўлган юзалар билан мос келади. Маълум кристалл ёнидаги юза бирлиги ичида жойлашган моддий нуқталарнинг (ион, молекула, атом) сони шу ённинг ретикуляр зичлиги дейилади. Кристаллар ретикуляр зичлиги катта бўлган ёнлар билан қопланади. (Бравэ (1811—1863) қонуни). Бундан кристаллнинг ташқи қиёфаси ўша кристалл ёнларининг ўсиш тезлигига боғлиқ деган хулосага келиш мумкин.

5. Кристалларнинг геометрик шакли ва унга ташқи муҳитнинг таъсири

Маълумки, табиатда кристалланган моддалар жуда кенг тарқалган, лекин улар орасидан аниқ геометрик шаклга эга бўлганларини қидириб топиш жуда қийин. Бунинг сабаблари жуда кўп ва асосан ўша кристалларнинг пайдо бўлиш ва ўсиш муҳити билан боғлиқдир. Буни қуйидаги мисоллардан ҳам кўриш мумкин.

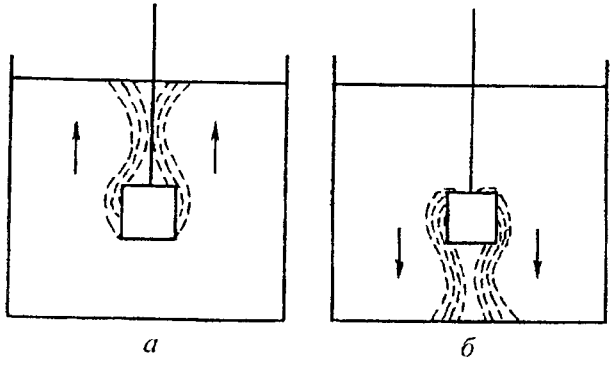
1. Эритма ўта тўйинган, қуюқ бўлса, кристалланиш марказлари — "куртакча"лари жуда кўп ва майда бўлиб, зичлиги туфайли уларнинг биронтаси ҳам тўғри геометрик шакл ҳосил қила олмайди.

2. Эритманинг ҳарорати кескин пасайиб кетса ҳам биринчи мисолдаги каби кристалл "куртакча"лари жуда кўплаб пайдо бўлади, шу туфайли ўша доналар ўсиб тўғри геометрик шаклга эга йирик кристалл ҳосил қила олмайди.

3. Табиий шароитда ҳам, тажрибахоналарда ҳам ўсаётган кристалл тўғри геометрик шаклга эга бўлиши учун ўша кристалл жойлашган ўрнига кўра ҳамма томондан модда билан бир меъёрда узлуксиз таъминланиб турилиши керак. Лекин маълум сабабларга кўра бундай шарт-шароит юзага келмайди. Кристаллизатор тубида ўсаётган кристалл донаси эритмадаги модда билан фақат юқоридан ва ён атрофдан

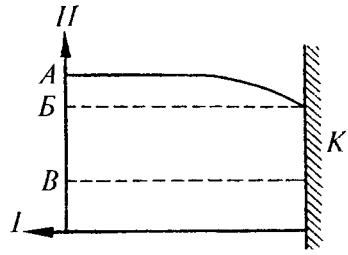
таъминланади ва ўсади. Кристалл доналарининг кристаллизаторга тегиб турган ёнлари эса ўсмайди. Фақат кристаллизаторга осиб қўйилган муаллақ кристалл донаси ҳар томонлама баробар ривожланиши мумкин. Кристалл осиб қўйилганлиги туфайли эритмадаги модда билан ҳамма томондан баробар таъминланиб турилади. Демак, биронта жисм сиртига тегиб турган кристалл доналари тўғри геометрик шаклга эга бўлолмайди. Шуниси маълумки, кристалл ўсиши давомида унга тегиб турган эритмадаги модда миқдори ва айни пайтда унинг солиштирма оғирлиги ҳам камаяди. Енгиллашиб қолган эритма юқорига кўтарилади, унинг ўрнига яна тўйинган эритма оқиб келади. Натижада 8-расмда кўрсатилганидек, эритмада моддалар оқими юзага келади. 9-расмда К кристаллнинг ўсиши пайтида эритма таркибининг ўзгариши акс эттирилган. А-ўта тўйинган, В-эса тўйинган эритмада эриган модданинг миқдори. Кристаллнинг ўсиши пайтида кристаллга яқинлаша борган сари эритмадаги эриган модданинг миқдори камаяди. Кристалларнинг ўсиш жараёнида эритмада камайган модданинг Б сатҳида кўрсатилган миқдори билан А сатҳида кўрсатилган ўта тўйинган эритмада эриган модда миқдори орасидаги фарқ шу эритмада моддалар оқимини вужудга келтиради.

4. Эритма таркибида баъзан фоизнинг юздан, мингдан бир улуш миқдоридаги аралашмалар ҳам кристалл ёнлари-

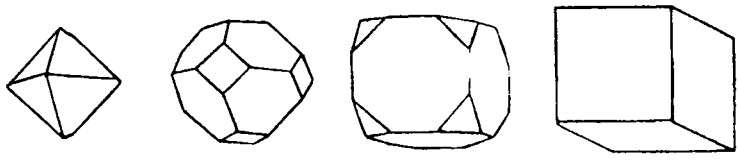


8-расм.

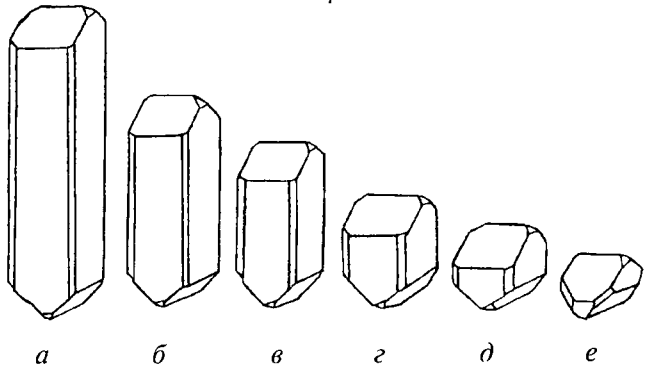
нинг ривожланиш тезлигига ва ниҳоят кристалл ташқи қиёфасининг ўзгаришига олиб келади. Масалан, аччиқ тошнинг эритмаси таркибида танакор (бура) аралашмаси бўлса, унинг октаэдр қиёфасидаги кристаллари куб шаклига айланади (10-расм). Шунингдек, магний сульфати ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) эритмасида 0,01 фоиз миқдорида бўлган танакор аралашмаси иштирокида ўсган кристаллнинг қиёфаси ҳам бошқачадир. Ниҳоят, эритмадаги танакор миқдори бир фоизгача ортиши натижасида чўзиқ, призма ёнлари ривожланган кристалл калта, изометрик тетраэдр ёнлари ривожланган крис-



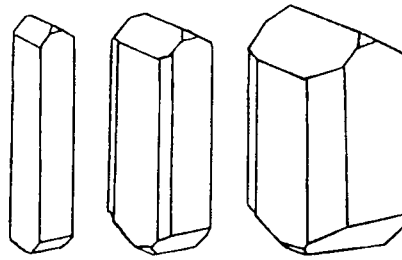
9-расм.



10-расм.



11-расм.



12-расм.

талл қиёфасига киради (11-расм). Шунга ўхшаш галит эритмасида $CO(NH_4)_2$ аралашмаси иштирок этганда унинг кристаллари куб эмас, октаэдр кўринишида бўлади.

5. Кристалл ўсаётган муҳит ҳарорати ўзгариши натижасида ҳам ўз қиёфасини ўзгартиради. Масалан, эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ кристаллари юқори ҳароратда чўзиқ призматик, нисбатан паст ҳароратда калта изометрикга яқин қиёфада ўсади (12-расм).

Кристалларнинг ташқи қиёфаси ўзгаришига сабаб бўладиган жуда кўп асосларни кўрсатиш мумкин. Лекин ҳар бир модда кристалл қиёфасига таъсир этувчи, ўша модда учун хос бўлган асос-восита амалда синаб кўриб билинади.

I бўлим
ГЕОМЕТРИК КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

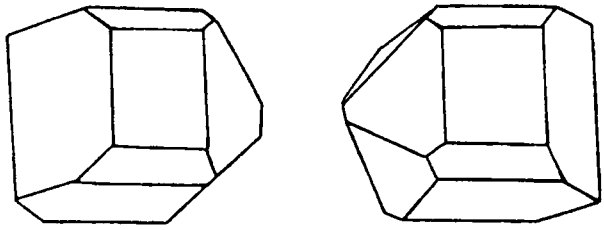
Чекланган кристаллографик шакллар геометрияси

Кристалл, юқорида айтиб ўтилганидек, ўзи учун хос муҳитда вужудга келган, қонуний тартиб билан даврий жойлашган тузилма бирликлари — атом ёки ионлардан ташкил топган, текис ёнлар билан чекланган жисмга оид геометрик шаклдир. Шунинг учун ҳам уларнинг шакли тасодифий кўринишга эга эмас. Аксинча у шу кристаллни ташкил этган кимёвий бирикма таркибига кирадиган элемент ва ниҳоят, кристалл ҳосил бўлаётган муҳит билан боғлиқ равишда юзага келади. Н. В. Белов ибораси билан айтганда, "йирик макрокристалл минералог учун очиқ китоб бўлиб, унда минералнинг ўз тарихи ва у топилган коннинг тақдири ёзилгандир". Китобнинг бу бобида ўша Н. В. Белов айтган "очиқ китоб саҳифаларини" варақлай бошлаймиз. Кристаллар геометрик шакллардир, лекин геометрия фанидан таниш шаклларнинг ҳаммаси ҳам кристалл шакллари бўлавермайди.

Кристалл аниқ геометрик шаклга эга бўлганлиги туфайли уни ўрганиш қадимдан математика-геометрия қонунларига асосланади. Шунинг учун ҳам китобнинг ушбу боби кристалларнинг геометрик хусусиятларини ўрганишга бағишланади.

I боб
КРИСТАЛЛАР СИММЕТРИЯСИ ВА УНИ ЎРГАНИШ

Кристаллар шаклини текшириш ва ўрганишда, уларни бир-биридан фарқ қилишда кўзга яққол ташланадиган белгиларидан бири улардаги симметрик (симметрия — қадимий



13-расм.

юнон тилида тенг, ўхшаш демакдир) тузилишдир. Агар икки шаклнинг бири иккинчисига ўхшаш, тенг ва мос келар экан, улар ўзаро симметрик шакллар ҳисобланади. Улардан бири иккинчисининг ойнадаги аксидек бўлар экан, бундай шакллар энантиморф шакллар дейилади (13-расм). Агар бир шаклнинг ўзи ўхшаш, тенг ва мос бўлаклардан ташкил топса, у ҳолда бундай шаклнинг ўзи симметрик шаклдир. Шакл бўлаклари орасидаги мана шу тенг ва ўхшашликни, мосликни геометрик воситалар ёрдамида тасаввур қилиш мумкин. Бунда шаклларнинг мос бўлаклари (қисмлари) орасидаги ўхшаш ва тенгликни тасаввур этишда қўлланиладиган геометрик воситалар — симметрия воситалари дейилади. Қуйида мана шу симметрия воситалари ҳақида тушунчалар берилади.

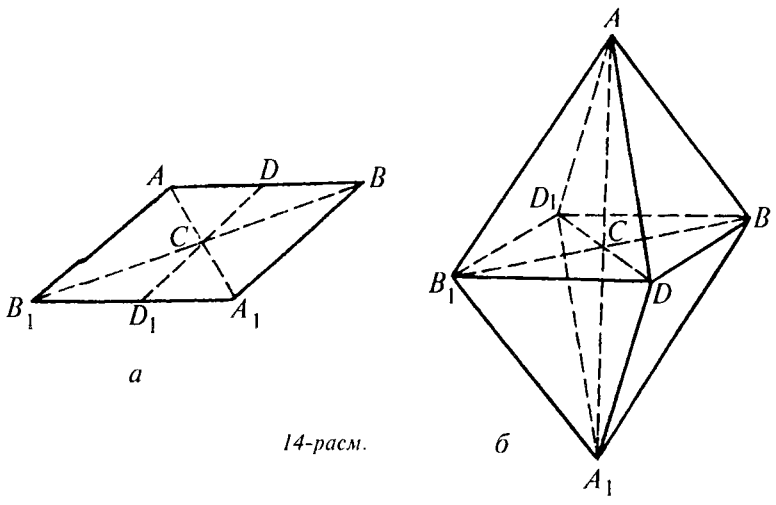
1. Симметрия воситалари

Ҳар қандай кристалл шаклининг ўзи учун хос симметрия воситалари бўлиб, кристалл шаклининг қай даражада симметрик тузилганлиги ҳақида шу кристаллда аниқланган симметрия воситаларининг тури ва сонига қараб хулоса чиқарилади. Шунга қараб улар маълум тартиб билан синфларга, сингония ва табақаларга ажратилади.

Биз бу ўринда фақат чекланган геометрик шакллар учун макро — кўзга кўринадиган симметрия воситаларини кўриб чиқамиз, чексиз-узлуксиз давом этадиган шакллар учун хос микро, яъни кўзга кўринмайдиган симметрия воситалари ҳақида китобнинг кейинги бобларида сўз юритиб, умумий тушунчаларнигина келтирамиз.

Шундай қилиб, кристалл — ўхшаш ва тенг қисмлардан иборат шакл. Шу ўхшашлик ва тенгликни маълум геометрик воситалар ёрдамида изоҳлаш мумкин. Бундай геометрик воситалар текислик, тўғри чизиқ ёки нуқта бўлиши мумкин. Агар кристаллнинг ўхшаш-тенг қисмлардан иборат эканлиги маълум текисликка нисбатан аниқланар экан, ўша текислик симметрия текислиги; тўғри чизиққа нисбатан аниқланар экан, у чизиқ симметрия ўқи ва ниҳоят, нуқтага нисбатан аниқланар экан, бу нуқта симметрия маркази дейилади. Қуйида симметрия воситалари симметрия марказидан бошлаб таърифланади.

а) **Симметрия маркази.** Кристалл шакли орасида — марказида ундаги симметрия ўқлари (агар улар мавжуд бўлса) кесишган ўрнида жойлашган деб тасаввур этиладиган нуқта бўлиб, шу нуқта симметрия маркази бўлар экан, у ҳолда кристалл шаклининг ҳар қайси учи, қирраси ва ёнлари қарама-қарши йўналишда ўзига мос, ўхшаш ва тенг уч, қирра ва ёнларга, яъни ўз аксига эга бўлади. Демак, симметрия маркази кристалл шаклининг ҳар бир нуқтаси аксини қарама-қарши томонига қайтариб-кўчириб, такрорлаб беради. Масалан, (14-*а*, расмда) А нуқта берилган, шу нуқтанинг С маркази орқали акси A_1 деб олинади; С нуқтанинг симметрия маркази бўлиши учун АС билан A_1C кесмалари бир тўғри

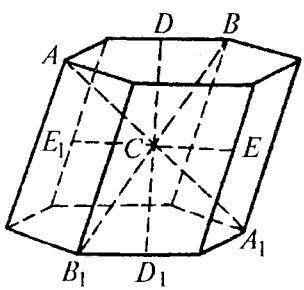


14-расм.

чизиқ устида ётиши, иккинчидан шу кесмалар тенг, яъни $AC = A_1C$ бўлиши керак. Расмда кўрсатилган B ва B_1 нуқталар ҳам ва A_1 нуқталар каби шундай шартга жавоб беради, яъни BC ва B_1C кесмалари бир тўғри чизиқ устида ётар ва $BC = B_1C$ бўлар экан, геометрия қонунларига мувофиқ AB кесмаси билан A_1B_1 кесмаси бир-бирига параллелдир. Бундан симметрия марказига эга кристалл қирраси қарама-қарши томонда ўзига тенг ва параллел аксига эга бўлиши керак деган хулосага келиш мумкин. Шундай экан, 14-*б* расмда кўрсатилган кристаллнинг ёнини чеклаб турган AB, BD ва AD кесмалар қирралар ҳам C маркази орқали ўзига тенг ва параллел аксига A_1B_1, B_1, D_1 ва A_1D_1 кесмаларга эгадир. Геометриядан яна шу нарса маълумки, кесмалар қарама-қарши томонга ўзига параллел ҳолда кўчар экан, шу кесмалар билан чекланган текислик ҳам қарама-қарши томонга ўзига параллел равишда кўчади. Кўрилган мисолда ABD ва $A_1B_1D_1$, яъни кристаллнинг ёни, C симметрия маркази мавжуд ҳолда қарама-қарши томонда ўзига тенг параллел аксига эга бўлади.

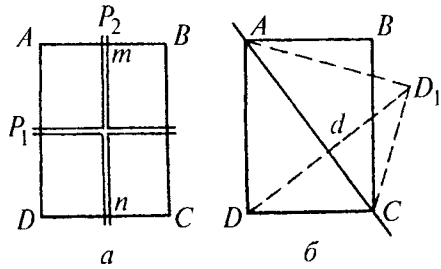
Демак, симметрия марказига эга ҳар қандай кристалл шакли қарама-қарши томонда жойлашган мос, тенг ва параллел ёнлардан ташкил топган бўлиши керак. Шунга мувофиқ амалий иш пайтида берилган кристалл шаклида симметрия марказининг бор-йўқлиги ҳақида қарама-қарши ёнларнинг бир-бирига тенг ва паралеллигига қараб хулоса чиқарилади (15-расм).

Симметрия маркази C ҳарфи билан белгиланади. Кристаллар симметриясини таърифлашда кристаллография ва минералогияга оид махсус китобларда симметрия маркази — C ёзилмайди. Лекин мавжуд бошқа симметрия воситаларининг тенг таъсир этувчиси сифатида геометрик (2-жадвалга қаралсин) тасаввур этилади ёки шаклда, фақат симметрия марказининг ўзи бўлса I шаклида ёзилади.



15-расм.

б) **Симметрия текислиги.** Кристалл шаклида симметрия текислиги мавжудлигини аниқлаш учун шу шакл устидан уни тенг икки қисмга



16-расм.

ажратадиган қандайдир текисликни ўтказиш тасаввур этилади. Масалан, 16-расмда АВСД кристалл кўрсатилган ва бундан шу кристаллни икки қисмга ажратадиган P_2 ва P_1 текисликлар тасвир этилади. Р текислиги ўтказилган шу кристаллнинг биринчи ярмидаги А учи билан иккинчи ярмидаги В учи, шунингдек, С учи билан D учлари бир-бирига мос ва ўхшаш учлардир. Шу кўрсатилган Р ва P_1 текисликларнинг симметрия текислиги бўлиши учун қуйидаги шартлар бажарилиши керак:

а) Кристаллнинг мос учларининг бир текисликда ётиши, яъни А билан Б ва С билан D мос учларининг Р ва P_1 текисликдаги сояси (расмда кўрсатилганидек) бир нуқтада бўлиши керак. Ана шунда кристалл А ва В учларининг сояси *n* нуқтага, Е ва D учларининг сояси эса *m* нуқтага тушади ва ҳ.к.

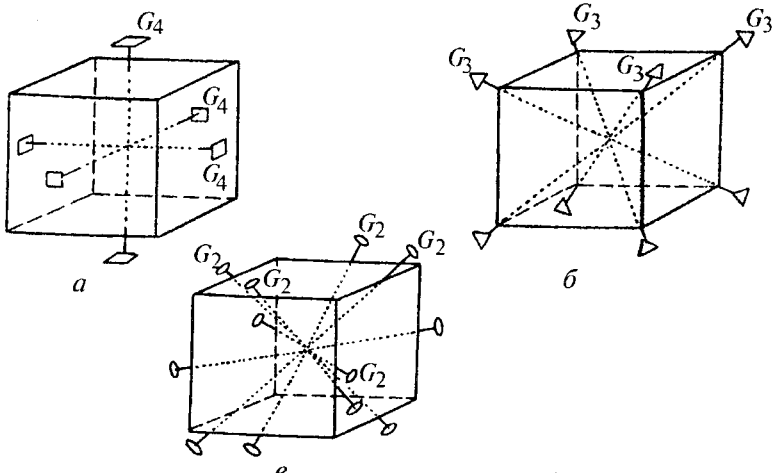
б) Кристаллнинг ҳар бир мос учлари билан шу учларининг тасаввур этилган симметрия текислигидаги соялари орасидаги масофа ҳам тенг, яъни Am = Bm; Cn = Dn каби, яъни кристаллнинг Р ва P_1 текислиги билан ажратилган иккала қисми бир-бирига тенг бўлиши шарт. Демак, симметрия текислиги деб, берилган кристалл шаклининг тенг ва ўхшаш, биринчи ярми иккинчи ярмининг кўзгудаги акси каби икки қисмга ажратадиган текисликка айтилади. 16-расмда кўрсатилган ABCD кристалл устидан ўтказилган AC текислиги симметрия текислиги бўла олмайди. Чунки А, С билан В, D мос учлар бир текисликда эмас, уларнинг d текислигидаги сояси ҳам бир нуқта устига тушмайди, яъни кристалл тенг қисмларга бўлингани билан бу қисмларнинг бири иккинчисининг кўзгудаги акси бўла олмайди. Сим-

метрия текислиги ўқув машғулотларида “P” махсус китобларда “m” ҳарфи билан ифодаланади.

в) **Симметрия ўқлари.** Геометрия умуман, қандайдир жисм ёки чизма устида ихтиёрий танланган икки нуқтани бирлаштирувчи тўғри чизиқ — ўқ деб аталади. Шунга ўхшаш кристаллографияда ҳам кристалл шакли устида ихтиёрий икки нуқта танланиб, уларнинг бири иккинчиси билан туташтирилиб, шу нуқталар орқали қандайдир ўқ ўтказилган, деб фараз қилинади. Бироқ кристалл шакли устида танланган бу нуқталар тасодифий эмас, балки улар туташтирилиши натижасида ҳосил бўлган; тасаввур этиладиган ўқ симметрия ўқи бўла олади, деган фикрга асосланиб танланади ва ана шу фараз этилган ўқ симметрия ўқи эканлиги исботланади. Бу симметрия ўқи қуйидаги шартларга жавоб бериши керак:

а) симметрия ўқи атрофида айлантирилганда кристалл шаклининг ўхшаш нуқталари (кристалл қирраси, ёни ва учлари) тенг бурчаклардан кейин бутун сонга тенг марта шу ўқ атрофида такрорланади; б) кристалл шаклининг шу ўқ атрофида такрорланиб келаётган ўхшаш — тенг нуқталари бир текисликда ётади (17-расм).

Кристалл шаклининг симметрия ўқи атрофида такрорланадиган ўхшаш нуқталари орасидаги энг кичик бурчак 60°; 90; 120° ёки 180° бўлиб, улар элементар бурчак, деб аталади.



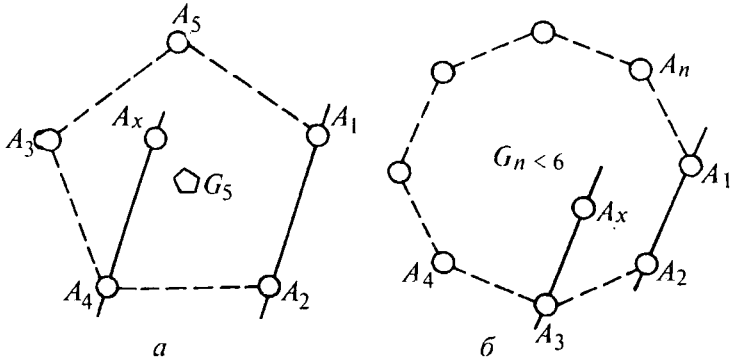
17-расм.

Элементар бурчак 60° га тенг бўлгани ҳолда кристалл шаклининг ўхшаш нуқталари шу тасаввур этилган симметрия ўқи атрофида олти марта такрорланади, яъни кристалл шакли бир марта 360° га айлантирилганда 60° ли бурчаклар олти марта такрорланади. Элементар бурчак 90° га тенг бўлса, кристалл шаклининг ўхшаш нуқталари тўрт марта такрорланади. Шунингдек, элементар бурчак 120° бўлса, кристалл шаклининг ўхшаш нуқталари уч марта, 180° бўлганда эса икки марта такрорланади.

Кристалл шаклини симметрия ўқи атрофида бир марта — 360° айлантирилганда такрорланиб келаётган ўхшаш нуқталарининг сони шу симметрия ўқининг даражаси, дейилади. Демак, симметрия ўқи биринчи ҳолда олтинчи даражали, иккинчи ҳолда — тўртинчи даражали ва шунингдек, учинчи даражали ҳам, иккинчи даражали ҳам бўлади. Кристаллографияда симметрия ўқлари машғулот пайтида L, G ёки g ҳарфлари билан белгиланади ва уларнинг даражаси шу ҳарфларнинг ўнг томонига, пастга L_2; L_3; L_4; L_6 ёҳуд g_2; g_3; g_4; g_6 (G_2; G_3; G_4; G_6) ёки юқорида L^2; L^3; L^4; L^6 ёхуд g^2; g^3; g^4; g^6 (G^2; G^3; G^4; G^6) каби ёзилади.

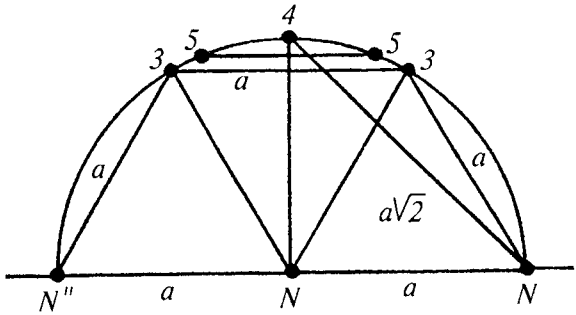
Лекин кристаллографияга, минераллар таърифига оид махсус китобларда симметрия ўқи — фақат даражаси 1, 2, 3, 4, 6 каби ёзилади.

Кристалл шаклларида бешинчи даражали, еттинчи ва ундан ортиқ юқори даражали ўқларнинг бўлиши мумкин эмас. Кристалл фазовий панжаралари элементар ячейкаси-



18-расм.

нинг параллелепипедлар шаклида тасаввур этилиши юқорида айтиб ўтилган эди. Шундай кристалл фазовий панжарасининг текис тўри параллелограммлардан ташкил топган бўлиши керак. Шунга асосан кристалларда бешинчи, олтинчи ва ундан юқори даражали ўқларнинг бўлиши мумкин эмаслиги 18-расмда кўрсатилган. Бунда чизма текислиги фазовий панжаранинг текис тўри билан мос келиши, фараз қилинган бешинчи даражали симметрия ўқи эса шу текисликка тик йўналишда О нуқтадан ўтиши керак. Шаклнинг ўхшаш учлари A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 шу ўқ атрофида ҳар 72° да такрорланиб келади. Бундай ўқнинг мавжуд бўлиши учун расмда кўрсатилган тенг томонли беш бурчак параллелограммларга бўш оралиқ қолмасдан ажратилиши, яъни параллелограммлардан ташкил топган бўлиши керак. Лекин бу шаклни параллелограммларга ажратиш мумкин эмаслигини расмдан билиб олса бўлади. 18-расмда фазовий панжаранинг текис тўри ва унинг такрорланиши учун айлантирувчи текислик тасвир этилган. Агар симметрия ўқи мавжуд экан, унинг ўзи шу текисликдан тик йўналишда ўтади. Нуқталарнинг кўчиш масофаси ўша мос нуқталарнинг такрорланиш имкониятини яратади. Бироқ такрорланган A_1-A_5 нуқталарни бирлаштириб, параллелограм ҳосил қилиб бўлмайди. Демак, улар элементар ячейкаларни ташкил этмайди. Шу такрорланиши мумкин бўлган шундай нуқталар орасидаги энг кичик масофа *a* бўлиб, N ўқи атрофида N′ ва N″ нуқталар такрорланади. Демак, N нуқтаси N′ ва N″ ҳолатига ўтади. Бунда L_2 мавжуд бўлиб N = 3 (ёки 6) бўлса, у ҳолда шу ўқ атрофида N_1 ёки N_2 асосида 3 нуқта юзага келади ва бу нуқталар орасидаги масофа а га тенг бўлади. Шундай қилиб, L_3 ва L_6 ҳам мавжуд бўлиши мумкин. Агар N_4 бўлса, чизмада 4 нуқта вужудга келади. N′ ва N″-4 оралиғи $a\sqrt{2}$ га тенг, яъни а дан каттадир. Демак, L_4 ҳам бўлиши мумкин. Лекин, N_5 бўлса, юзага келган 5-5 нуқталар оралиғидан масофа N′ ва N″ орасидаги масофадан (а дан) кичик, яъни L_5 кристалларда бўлиши мумкин эмас; N_7 бўлса ҳам шундай натижага эришилади. Кристалл шаклларида бешинчи даражали ўқларнинг мавжуд эмаслигини бошқа усуллар билан ҳам тушунтириш мумкин, лекин бу китобда шунинг ўзи билан чекланиб қоламиз (19-расм).



19-расм.

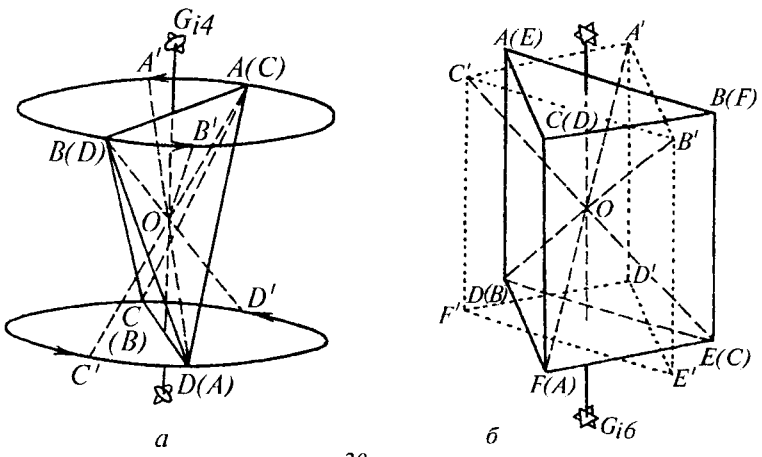
Шуни ҳам эслатиб ўтиш керакки, баъзи бир табиий органик жисмларда, шунингдек, жуда мураккаб органик модда кристалл тузилишларида бешинчи даражали симметрия ўқлари мавжуд бўлиши мумкин. Масалан, наъматак ва шунга ўхшаш бошқа ўсимлик гулбарглари бештадан бўлиб, булар марказида тасаввур этилган бешинчи даражали ўқ бор. Кейинги йиллар давомида ноорганик дунё кристалл шаклларида ҳам бешинчи даражали ўқнинг мавжудлиги ҳақида кристаллограф олимлар орасида баҳс бормоқда. Лекин бу мунозараларнинг қандай якунланиши минеролог-геокимёгар мутахассисларнинг амалий ишлари учун ҳеч қандай таъсир кўрсатмайди.

Кристалларда юқорида таърифлаб ўтилган оддий айланма симметрия ўқларидан ташқари, яна транслацион ёки бурама ўқлар ҳам бўладики, бу тўғрида кейинчалик умумий тушунча бериб ўтилади. Яна мураккаб "марказли" ва "текисликли" айланма (зеркально-поворотные) симметрия ўқлари ҳам мавжуддирки, қуйида шулар ҳақида гап боради.

"Марказли" симметрия ўқлари. Номидан ҳам кўриниб турибдики, айрим кристалл шаклларида симметрия ўқи ҳам, симметрия маркази ҳам бир пайтнинг ўзида тенг таъсир этувчилар бўлиб қолади. 20-*а*, расмда кўрсатилган шаклда G_{i4} симметрия ўқининг мавжудлиги шубҳасиздир. Бироқ, шу шаклнинг ўзида симметрия маркази — С ҳам бор, деб фараз қилайлик. У ҳолда юқоридаги А ва В учларининг акси пастда D_1 ва C_1 нуқталарида, пастки D ва С учларнинг акси эса юқорида A_1 ва B_1 нуқталарда такрорланади. Шундан кей-

ин юқорида иккинчи даражали деб фараз этилган симметрия ўқи тўртинчи даражали ўқ бўлиб қолади. Чунки кристалл шаклининг юқоридаги ABA_1B_1 ва пастдаги $D\ D_1C_1C$ учлари бир текисликда ётади ва шу нуқталар орасидаги бурчак бир-бирига тенг — 90° дир. Демак, кўрсатилган иккинчи даражали симметрия ўқи бир пайтнинг ўзида, симметрия маркази ҳам бор, деб ҳисобланганда тўртинчи даражали симметрия ўқи ҳам бўлиб қолади. Бундай ўқлар "Марказли" симметрия ўқлари, дейилади. Шунга ўхшаш 20-расм, *б* да учинчи даражали симметрия ўқи — G_3 бўлган кристалл шакли тасвир этилган. Унда ҳам симметрия маркази бор деб фараз қилинар экан, у ҳолда шу симметрия ўқининг ўзи олтинчи даражали симметрия ўқига айланади, яъни учинчи даражали ҳақиқий ва олтинчи даражали "марказли" ўқ бўлиб қолади. "Марказли" симметрия ўқларини турли китобларда турлича ёзиш тавсия этилади, L_2^4, Gi_4 ёки L_3^6, G_{i6}. Кристалл шаклларида шу кўрсатилган даражалилардан бошқача даражали "марказли" симметрия ўқлари мавжуд эмас. Бундан ташқари, оддий симметрия ўқлари билан симметрия текислиги шундай "марказли" ўқларнинг тенг таъсир этувчиси бўлиши мумкинлигини ҳам унутмаслик керак.

"Текисликли" айланма симметрия ўқлари. Бундай симметрия ўқларини оддий айланма симметрия ўқи билан симметрия текислигини бир пайтнинг ўзида тенг таъсир



20-расм.

эттириш йўли билан тасаввур этилади. 20-*а* расмдаги АВДС кристалл шакли устида Gi_4 С симметрия ўқига перпендикуляр йўналиш бўйича ўтказилган симметрия текислиги — Р тасвир этилган. Кристалл шакли учларининг акси шу Р симметрия текислиги устига туширилар экан, у ҳолда шу текислик устида ётувчи $А_1В_1Д_1$ ва $С_1$ нуқталарига эга бўламизки, бу нуқталар ўтказилган оддий, иккинчи даражали ўқ атрофида 90°ли элементар бурчак ҳосил қилиб тенг масофадан кейин такрорланади. Шунга кўра бу расмда тасвир этилган оддий, иккинчи даражали айланма симметрия ўқи бир пайтнинг ўзида текисликли, тўртинчи даражали, айланма симметрия ўқи бўлади ва юқорида кўрсатилганидек L_2^4 шаклида ёзилади. Демак, Р-текислик билан бирга иккинчи даражали симметрия ўқи Gi_4 тўртинчи даражали инверсион ўқнинг тенг таъсир этувчисидир.

Юқорида таърифлаб ўтилган иккала ҳолда ҳам тасаввур этилган "марказли" ва "текисликли" симметрия ўқи мавжуд деган хулосага келинди. Бунинг учун эса икки усул — қўшимча "симметрия" маркази ва симметрия "текислиги"-дан фойдаланилди.

2. Симметрия воситаларини геометрик усулда жамлаш

Тасаввур этилаётган кристалл шаклларидаги симметрия воситаларининг сони битта ва бир нечта бўлиши мумкин. Шунга ўхшаш бир шаклнинг ўзида бир неча даражали симметрия ўқларининг ҳар бири ҳам, симметрия текислиги ҳам бир нечтадан топилиши мумкин. Албатта, бир кристалл шаклида бўлиши мумкин шу симметрия воситаларининг тури ва сони маълум геометрик қонунларга мувофиқ ҳолда бири иккинчиси билан боғлиқ равишда намоён бўлади.

Симметрия воситаларини жамлаш тўғрисида сўз очилмасдан аввал, шу масалага оид, математик йўл билан исбот этилган, табиий кристалл шаклларида синаб кўрилган бир қатор қоидаларни эслатиб ўтамиз. Аммо бу ўринда қисқалик учун уларни исбот қилиб ўтирмасдан қабул қилаверамиз. Айни пайтда шу қоидаларни унутмаслик ва табиий кристалл шаклларини, шунингдек, ясама шаклларни ўрга-

наётганда уларнинг қанчалик тўғри эканлигини текшириб кўришни талабаларнинг ўзларига ҳавола қиламиз. Қуйида келтирилган қоидалар худди шу усулда ҳар бир кристалл шаклида тасаввур этишимиз мумкин бўлган симметрия воситаларини аниқлаш — математик йўл билан ҳисоблаб чиқишга имкон беради.

Симметрия воситаларини жамлашга оид, улар орасидаги боғланишни кўрсатувчи қоидалар

а) Эйлер қоидаси. Иккита иккинчи даражали симметрия ўқи мавжуд шаклда шу икки симметрия ўқи кесишган нуқтадан ўтадиган учинчи иккинчи даражали симметрия ўқининг бўлиши шарт (26-расм, *а* қаранг).

б) Биринчи қоида. Бир неча симметрия текислиги кесишган тўғри чизиқ симметрия текисликлари билан тенг таъсир этувчи симметрия ўқидан иборат бўлиб, бу ўқнинг элементар бурчаги симметрия текисликлари ҳосил қилган бурчакдан икки марта каттадир. Бошқача қилиб айтганда, симметрия ўқининг даражаси шу ўқ устида кесишувчи симметрия текисликларининг сонига тенг.

в) Иккинчи қоида. Симметрия маркази ва жуфт даражали симметрия ўқи мавжуд шаклларда шу симметрия ўқига тик йўналган симметрия текислиги ҳам ўтади (27-расмга қаранг).

A_1 нуқтани кристаллнинг учи деб фараз қилайлик (24-расмга қаранг) шу нуқта иккинчи даражали симметрия ўқи — L_2 орқали A_2 нуқтага, симметрия маркази — С орқали A_3 нуқтага, A_1 нуқта эса A_4 нуқтага кўчирилади. Шундай экан, албатта симметрия маркази С устидан симметрия ўқига тик йўналган симметрия текислиги Р ҳам мавжуддир. Чунки A_1 билан A_2 ва A_3 билан A_4 нуқталар шу текисликдан тенг узоқликда ва бир тўғри чизиқ устида ётади, шу мос нуқталарнинг Р текисликдаги тасвири бир нуқтага тушади. Акс ҳолда иккинчи қоидада айтиб ўтилган симметрия воситаларининг бири мавжуд бўлмас эди. Бундан шундай хулосага келиш мумкин:

1) Кристалл шаклларида симметрия маркази ва шу марказ устидан ўтган симметрия текислиги бўлса, у ҳолда шу симметрия текислигига тик йўналган жуфт даражали симметрия ўқи ҳам мавжуд.

2) Кристалл шаклларида симметрия текислиги билан шу текисликка тик йўналган жуфт даражали симметрия ўқи мавжуд экан, у ҳолда симметрия маркази ҳам бўлади (24-расм, *б, в, г* га қаранг).

3) Симметрия маркази мавжуд кристалл шаклларида жуфт даражали симметрия ўқларининг сони симметрия текисликларнинг сонига тенг бўлиб, бу симметрия текисликларининг ҳар бири жуфт даражали симметрия ўқларига тик йўналишда ўтади.

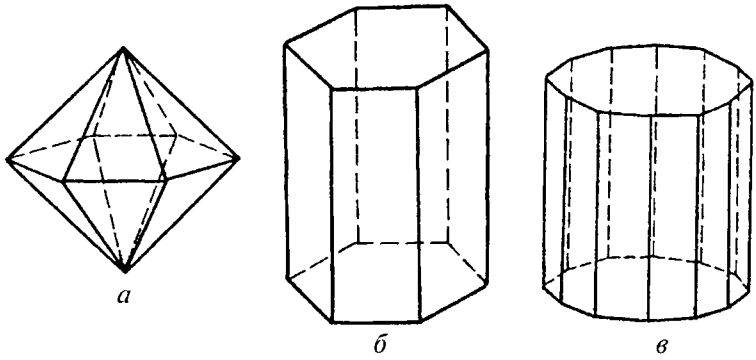
г) Учинчи қоида. Юқори даражали ва шунга тик йўналишда ўтган иккинчи даражали симметрия ўқлари бўлган кристалл шаклларидаги иккинчи даражали симметрия ўқларининг сони юқори даражали симметрия ўқининг даража сонига тенгдир, масалан, $L_3 3L_2$; $L_4 4L_2$; $L_6 6L_2$ каби бўлади (26-расмга қаранг).

Юқори даражали симметрия ўқи ўрнида иккинчи даражали симметрия ўқи мавжуд экан, у ҳолда $L_2 + 2L_2$, яъни $3L_2$ бўлади ва улар бир-бирига тик йўналишда ўтади.

3. Симметрия воситаларининг табиий кристаллардаги қаторлари

Кристалл шакллари ташқи қиёфасига кўра икки гуруҳга бўлинади. Биринчи гуруҳи ягона йўналишли, иккинчи гуруҳи ўхшаш йўналишли ёки кўп йўналишли, деб аталади.

Кристалл шаклларидаги бошқа такрорланмайдиган бирдан бир йўналиш ягона йўналиш, дейилади. Олтинчи даражали симметрия ўқи (L_6 ва L_3; L_4; L_2^4) йўналиши ягона йўналишдир (21-расм), чунки бундай йўналиш шаклда бошқа такрорланмайди. Ягона йўналишли кристалл шаклида симметрия маркази, симметрия текислиги ва иккинчи даражали симметрия ўқлари бўлиши мумкин. Улар ягона йўналишга тик ёки унинг устидан шу йўналишга мос равишда ўтади. Ягона йўналиш юқори даражали ўқ йўналиши билан мос келади, яъни шу ўқ устига тушади (юқори даражали ўқлар кўп бўлган шакллар — кўп йўналишли шакллардир). Демак, ягона йўналишли кристалл шаклларида шу йўналишга нисбатан 90° дан бошқача бурчак ҳосил қилиб ўтадиган симметрия ўқининг ҳам, симметрия текислигининг ҳам бўлиши мумкин эмас. Акс ҳолда шу ўқ ёки текислик атрофида ягона йўналиш, деб аталган йўналиш икки ёки



21-расм.

ундан ортиқ марта такрорланар ва у ягона йўналиш бўлиб қола олмас эди (22-расм).

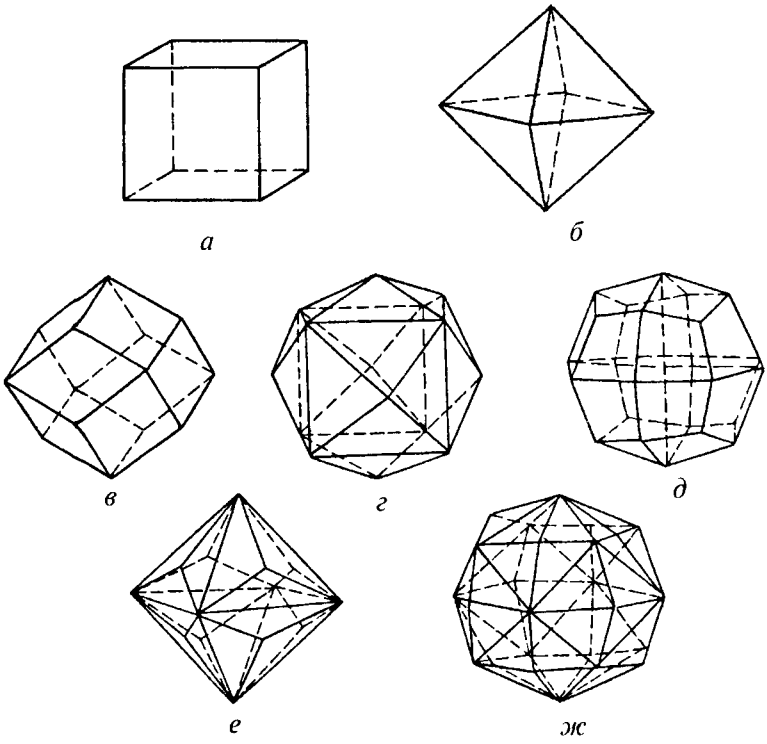
I. Паст табақа кристалларида — триклин сингония кристалларида тенг ўхшаш йўналиш мавжуд эмас, яъни улардаги ҳамма йўналишлар ягона йўналишлардир. Моноклин сингония кристалларида ягона йўналиш ҳам, такрорланувчи тенг — ўхшаш йўналишлар ҳам бор. Масалан, бунда L_2 ягона йўналишдир, унга тик йўналган текислик юзасидан ўтган йўналишлар ҳам ягона йўналишдир, лекин у билан маълум бурчак ҳосил қилиб ўтадиган йўналишлар ягона йўналиш эмас — L_2 атрофида икки мартадан такрорланади. Ромбик сингония кристалларида ягона йўналиш учта бўлиб, улар учта L_2 устидан, ёки L_2 ва унга тик йўналган симметрия текислиги устидан ўтади.

II. Ўрта табақа кристалларида ягона йўналиш биттадан, юқори даражали симметрия ўқлари L_3; L_2^4; L_3^6; L_6 йўналишлари билан мос ўтади.

III. Юқори табақа — кубик сингония кристалларида ягона йўналиш йўқ. Бу сингония кристалларида ўхшаш у тенг йўналишлар камида 3 марта такрорланади ва $3L_4$ ёки $3L_2$ билан мос ўтади.

4. Ягона йўналишли кристалл шакллари симметрия воситаларини жамлаш

Симметрия воситаларининг мана шу ягона йўналишли шаклларга хос бошланғич қаторлари қуйидагича бўлиши мумкин:



22-расм.

1. Ягона йўналиш билан мос ўтувчи симметрия ўқларининг ўзидан иборат қаторлар.

2.Симметрия маркази ҳам иштирок этувчи қаторлар.

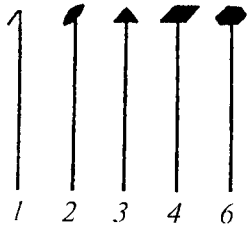
3. Бошланғич ҳолатдаги ягона йўналишга нисбатан тик йўналган симметрия текислиги мавжуд қаторлар.

4. Бошланғич ҳолатдаги ягона йўналишга нисбатан мос йўналган симметрия текислиги мавжуд қаторлар.

5. Бошланғич ҳолатдаги ягона йўналишга нисбатан тик йўналган, иккинчи даражали симметрия ўқлари иштирок этган қаторлар.

6. Тасаввур этиш мумкин бўлган ҳамма симметрия воситалари жамланган қаторлар.

Биринчи тартиб бўйича ягона йўналишга мос қўйилган симметрия ўқлари бешта, яъни L_1; L_2; L_3; L_4; L_5; 1; 2; 3; 4; 6 симметрия воситалари қаторини ҳосил қилади. Булардан L_1



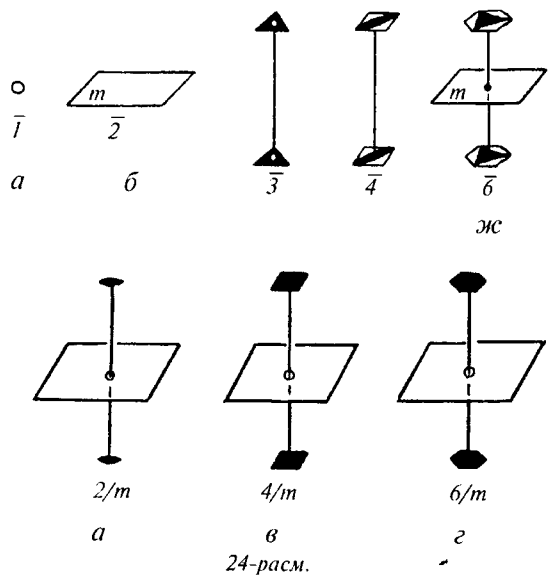
23-расм.

шартли равишда олинган бўлиб, у кристалл шаклида чексиз марта такрорланиши мумкин. Бундай шаклда ягона йўналиш кўп бўлади. Симметрия воситаларининг юқорида кўрсатилган биргина ўқдан ташкил топган қаторлари "содда" — "примитив" қаторлар — симметрия кўринишлари ёки синфлар деб аталади (23-расм).

Тартиб бўйича иккинчи навбатда ҳосил қилинган бешта қаторнинг ҳар бирига симметрия марказини қўшиб ёзамиз. Бундан қуйидаги янги қаторлар олинади.

Биринчи даражали ўқ L_1 ни ҳисобга олмаганда биринчи қатор С-шаклида ёзилади (24-расм).

Иккинчи қоидага мувофиқ (57-бет) жуфт даражали симметрия ўқи ва симметрия маркази бўлган шаклларда симметрия ўқига тик йўналишда ўтган симметрия текислиги бўлиши шарт. Шунга кўра L_2C ўрнида L_2PC қатори, L_4C ўрнида L_4PC ва L_6C ўрнида L_6PC қаторлари юзага келади. Демак, иккинчи амал натижасида симметрия воситалари-



24-расм.

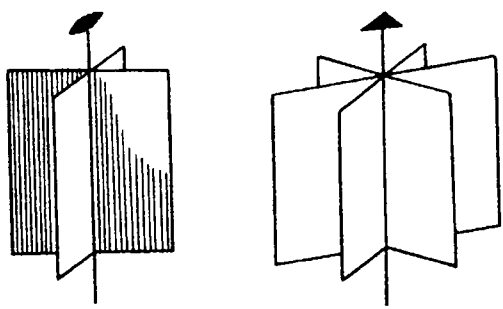
нинг $C(\bar{1})$; $L_2PC(2/m)$; $L_3C(\bar{3})$; $L_4PC(4/m)$; $L_6PC(6/m)$ каби қаторлари ҳосил бўлади ва бу қаторлар — "марказли қаторлар", деб айтилади. 24-расмдаги L_3C қатори Эйлер қоидасига зиддек бўлиб туйилади. Бундай шаклда L_3 билан мос келадиган инверсион, олтинчи даражали ўқ L_3^6 мавжудлигини, яъни шу ўқнинг ўзини олтинчи даражали инверсион симметрия ўқи бўлишини эътиборга олсак, бундай шубҳага ўрин қолмайди.

Учинчи тартиб бўйича бошланғич ҳолатга ягона йўналишга тик ўтувчи симметрия текислигини қўшамиз. Лекин аввалги амалда иккинчи қоидага мувофиқ жуфт даражали ўқлиларга нисбатан бу олдин бажарилган ва $L_2PC(2/m)$' $L_4PC(4/m)$; $L_6PC(6/m)$ қаторлари юқорида ёзилган эди.

Тоқ даражали симметрия ўқлари эса $L_1P = P(m)$; $L_3P = L_3^6(\bar{6})$ қаторларини берадики, бу тўғрида қуйида батафсил тўхтаб ўтамиз.

Тўртинчи тартибга кўра, бошланғич ҳолатга ягона йўналиш устидан унга мос йўналган симметрия текисликлари қўшиб олинади. Бунинг учун биринчи қоидадан фойдаланиб, симметрия текисликлари сони юқори даражали ўқ даражасига тенг қилиб олинади ва бундан қуйидаги қаторлар келиб чиқади: $L_1P = P(m)$; $L_22P(mm2)$; $L_33P(3mm)$; $L_44P(4mm)$; $L_66P(6mm)$.

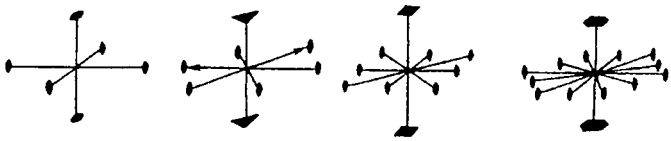
Бу қаторлар "планал" — текисликли симметрия кўринишлари дейилади (25-расм).



2 mm *3 m*

а *б*

25-расм.



222 *322* *422* *622*

а *б* *в* *г*

26-расм.

Навбатдаги тартиб билан ягона йўналишга тик йўналган иккинчи даражали ўқлар ёзилади. Буларнинг сони учинчи қоидага мувофиқ юқори даражали (ягона йўналиши билан мос қўйилган) симметрия ўқининг даражасига тенг, яъни $L_1L_2 = L_2(2)$; $L_22L_2 = 3L_2(222)$; $L_33L_2(32)$; $L_44L_2(422)$; $L_66L_2(622)$ бўлади (26-расм).

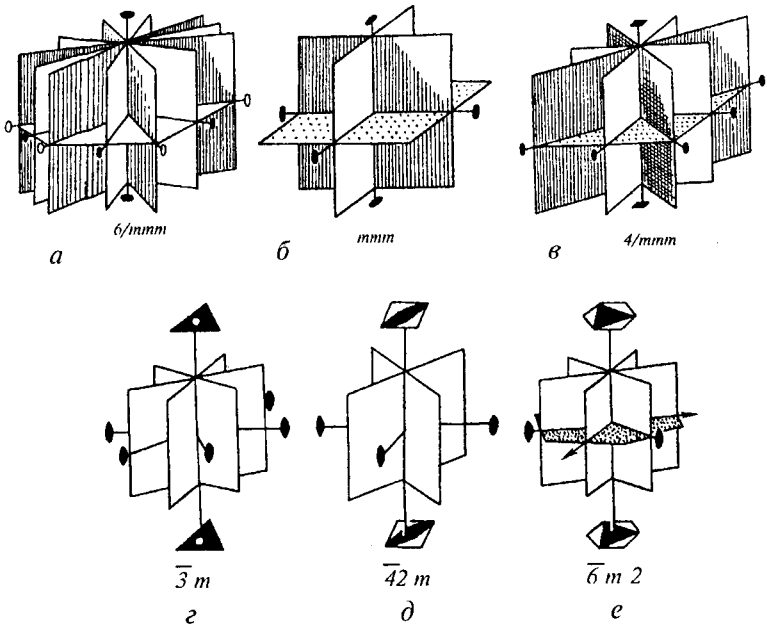
Симметрия воситаларининг бу қатори "аксиал" — ўқли симметрия қатори деб аталади.

Энди бошланғич ҳолатга ҳамма симметрия воситаларини, яъни симметрия маркази (С), симметрия текислиги (Р) ва ягона йўналишга тик йўналган иккинчи даражали симметрия ўқларининг ҳаммасини қўшамиз. Юқорида келтирилган қоидаларга мувофиқ қуйидаги янги симметрия кўринишларини ҳосил қиламиз (27-расм):

$$L_1C + P + L_2 = L_2PC(2/m_7);$$
$$L_2C + P + 2P + 2L_2 = 3L_23PC(mmm);$$
$$L_3C + 3P + 3L_2 = L_23L_23PC(3m);$$
$$L_4C + P + 4P + 4L_2 = L_44L_25PC(4mmm);$$
$$L_6C + P + 6P + 6L_2 = L_66L_27PC(6mmm).$$

Булар "планаксиал" симметрия воситалари қатори дейилади. Ниҳоят, ягона йўналиш билан инверсион ўқлари мос қўйилса, қуйидаги "гироидопримитив" (инверсион ўқли содда) симметрия воситалари қатори: $L_{i1} = C(\bar{1})$; $L_{i2} = P(m)$; $L_{i3} = L_3C(\bar{3})$; $L_{i4} = L_2^4(\bar{4})$; $L_{i6} = L_3P(\bar{6})$.

(27-расм) ва шу ягона йўналишга мос қўйилган инверсион симметрия ўқлари устидан унга мос йўналган текисликлар қўшилса, қуйидаги "гироидопланал" симметрия воситалари қатори:



27-расм.

$L_{i4}\,2L_2 2P = L_2^4 2L_2 2P(\bar{4}2m)$;

$L_{i6}\,3L_2 3P = L_3^6 3L_2 4P(\bar{6}m2)$;

$L_{i6}\,3L_2 3P = L_3^6 3L_2 3PC(\bar{3}m)$ ҳосил қилинади.

Симметрия воситаларининг бу 27 қатори ягона йўналишли кристалл шакллари учун хосдир.

Ягона йўналишга эга бўлмаган шакллар симметрия воситалари қатори

Қуйида ягона йўналишсиз кристалл шакллари учун хос симметрия воситалари қатори кўриб ўтилади. Ягона йўналишга эга бўлмаган кристалл шаклларининг кубик тетраэдр, куб, октаэдр каби шакллардан иборат эканлиги элементар геометриядан маълум. Бу ўз пайтида математик йўл билан исбот этилган. Ушбу китобда бу исботлар ҳақида тўхта-

либ ўтирмасдан, тўғридан-тўғри ўша шаклларнинг бири — тетраэдрга мансуб энг "оддий" (примитив) симметрия воситаларига бошқа симметрия воситалари қўшилса, ягона йўналишга эга бўлмаган кристалл шакллари учун хос симметрия воситаларининг ҳамма қатори келиб чиқади:

1) Тетраэдрда тасаввур этиладиган симметрия ўқлари — $4L_3 3L_2$ (23) бўлиб, симметрия воситаларининг бу қатори оддий қатор деб қабул қилинади.

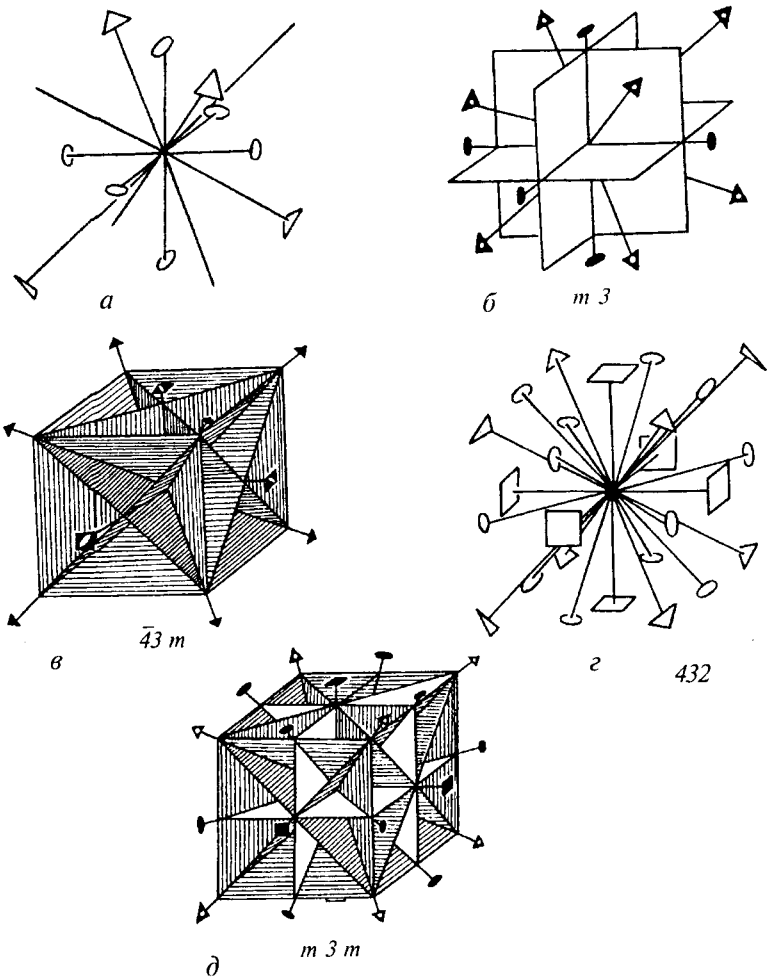
2) Унга симметрия марказини қўшиб, "марказли симметрия воситалари қатори ҳосил қилинади, бунда иккинчи қоидага мувофиқ иккинчи даражали ўқларга нисбатан тик йўналган симметрия текислиги ҳам бўлиши керак. Натижада $4L_3 3L_2 3PC(m^3)$ қатори юзага келади.

3) Ҳар қайси учинчи даражали ўқлар бўйлаб ўтувчи симметрия текислигини ҳисобга олсак, "планал" симметрия воситалари қатори ҳосил қилинади. Ҳар қайси L_3 устидан ўтувчи симметрия текисликларининг сони учта бўлиши ва шу билан бирга ҳар қайси симметрия текислиги иккита L_3 устидан ўтишини ҳисобга олинар экан, у ҳолда қуйидаги симметрия воситалари қатори: $3L_2^4 4L_3 6P(\bar{4}3m)$ келиб чиқади.

4) Ҳар қайси учинчи даражали ўқ устидан ўтувчи, шу ўқларга тик йўналган учтадан иккинчи даражали симметрия ўқлари қўшилса, "аксиал" симметрия воситалари қатори ҳосил бўлади. Бунда ҳар қайси L_2 иккита L_3 устидан ўтади ва "оддий" симметрия воситалари қаторидаги $3L_2$ бу ерда $3L_4$ га айланади. Натижада симметрия воситаларининг бу қатори қуйидаги кўринишга эга бўлади: $3L_4 4L_3 6L_2$ (432).

5) Ниҳоят, бу охирги қаторга симметрия маркази қўшилса, иккинчи қоидаги мувофиқ қуйидагича, "планаксиал" симметрия воситалари қатори олинади: $3L_4 4L_3 6L_2 9PC$ (m3m) (28-расм).

Шундай қилиб, симметрия воситаларининг табиий кристалларда тасаввур этиш мумкин бўлган 32 қатори қатъий математик асосда кўриб чиқилди. Демак, шу кўриб ўтилган қаторларга қандайдир тузатиш киритиш мумкин эмас. Симметрия воситаларининг бу 32 қатори 1830 йилда Гессел томонидан биринчи марта жуда мураккаб усул билан иш-



28-расм.

лаб чиқилган бўлиб, у ўз даврида кишилар эътиборидан четда қолиб кетган эди. Кейинчалик 1869 йилда шу қаторлар А. В. Гадолин томонидан қайтадан кашф этилиб, рус олими жаҳонга машҳур бўлди. Шуни унутмаслик керакки, симметрия воситаларининг юқорида санаб ўтилган 32 қатори — чекланган геометрик шакллар синфи кристалл шакллари учунгина хосдир.

Симметрия кўриниши — синфлар, сингония ва табақалар

Юқорида кўриб ўтилган симметрия воситаларининг 32 қатори симметрия кўриниши ёки синфи, деб аталади. Бошқача қилиб айтганда, симметрия воситаларининг тугалланган қаторлари симметрия кўриниши ёки синфидир. Симметрия воситалари қаторига синчиклаб қарар эканмиз, уларнинг орасида қандайдир ўхшашлик борлигини кўрамиз. Масалан, шу симметрия воситалари қаторларининг муайян гуруҳида фақат биттадан L_2, бошқа гуруҳида фақат L_3 ёки L_4, бошқа гуруҳида L_6 бордирки, бу ўқларнинг ҳаммаси ҳам ягона йўналишга мос ўтади. Ягона йўналишга эга бўлмаган кристалл шаклларининг бошқа гуруҳида $3L_4$ ёки $3L$ билан $4L_3$ мавжуддир.

Симметрия кўринишларининг ўхшашлигига қараб ажратилган гуруҳлари — сингония (ўхшаш бурчакли демакдир), деб аталади. Шу билан бирга, ҳар қайси сингония кристаллари ўзига хос геометрик шакллари ва ўша кристалларни ташкил этувчи фазовий панжараси, элементар ячейкасининг қиёфаси билан ҳам бошқа сингония кристалларидан фарқ қилади. Сингонияларнинг жами еттита бўлиб, уларнинг номи фазовий панжара — элементар ячейкасининг — элементар параллелопипедларнинг геометрик хусусиятларига асосланади. Қуйида шу сингонияларнинг қисқача таърифи берилади.

1. Триклин сингония. Номи юнонча три — уч ва клин — қийшиқ деган сўзлардан ташкил топган, чунки бу сингония кристалларининг элементар ячейкаси параллелопипедларида қирралар орасидаги бурчакларнинг учтаси ҳам тўғри эмас (90° га тенг эмас).

2. Моноклин сингония (юнонча моно — бир демакдир). Элементар ячейкаси қирралари орасидаги бурчакнинг иккитаси тўғри (90°ли) учинчиси эса 90° га тенг эмас.

3. Ромбик сингония. Бу сингония кристалларининг кўпчилигида иккинчи даражали симметрия ўқига тик олинган кўндаланг кесими ромб кўринишида бўлганлиги учун шундай ном берилган.

4. Тригонал сингония. Бу сингонияда биттадан учинчи ёки инверсион олтинчи даражали симметрия ўқи мавжуд.

5. Тетрагонал сингония кристалларида биттадан расмий ёки инверсион тўртинчи даражали симметрия ўқи бўлиши шарт.

6. Гексагонал сингония кристалларида биттадан олтинчи даражали расмий ёки инверсион симметрия ўқи мавжуд.

Бу сўнгги уч сингониянинг номи шу сингония кристалларининг ўзига хос симметриялик даражасига қараб берилган.

7. Кубик сингония. Бу сингония кристалларининг элементар ячейкаси куб шаклида бўлади, мавжуд $4L_3$ ва $3L_2$ ёки $3L_4$ билан ажралиб туради. 3-жадвалда шу сингонияларнинг Петербург кон-металлургия институти ва Федоров номидаги кристаллография институти жамоаси томонидан ишлаб чиқилган янги номлари берилган. Бу номлар ҳар қайси сингония учун асосий, деб қабул қилинган симметрия ўқларининг даражасига қараб белгиланган.

Юқорида санаб ўтилган сингониялар симметриялик даражасига қараб қуйидагича учта табақага бўлинади: I) симметриялик даражаси паст табақа; II) симметриялик даражаси ўртача ва III) симметриялик даражаси юқори табақа.

Табақалар ва сингонияларнинг ҳар бири ўзига хос симметрия кўринишлари — синфи билан бирга 2-жадвалда кўрсатилган. Бундан қуйидагича хулосага келиш мумкин: симметриялик даражаси паст табақага мансуб кристалларда ҳар бир йўналиш уч ёки ундан ортиқ марта такрорланади, демак буларда ягона йўналиш бўлмайди. Шунга кўра, шу табақа кристалл шаклларида симметрия воситаларининг бўлмаслиги ва айни пайтда бўлиши ҳам мумкин. Мавжуд симметрия ўқларининг даражаси иккидан ортмайди; симметриклик даражаси ўртача табақа кристалл шаклларида ягона йўналиш мавжуд бўлиб, у юқори даражали симметрия ўқи билан мос йўналишда ўтади. Демак, шу табақа учун хос кристалл шаклларида юқори даражали битта симметрия ўқининг бўлиши шарт. Симметриклик даражаси юқори табақа кристалл шаклларида ягона йўналиш ва юқори даражали ўқларнинг сони биттадан ортиқ — демак, кўп бўлади.

Ўша ҳисоблаб чиқилган 32 симметрия кўринишининг номи ва белгилари махсус кристаллография ва минералогияга оид китобларда халқаро миқёсда қабул қилинган Гер-

ман-Моген белгилари кўринишда ёзилади (3-жадвал). Бундан ташқари, яна Грот, Шенфлис ва Шубников белгилари ҳам мавжуд.

Юқорида симметрия воситалари аниқланиб, улар Грот томонидан ишлаб чиқилган белгилар билан ёзилган — осон бўлиши учун шундай қилинган эди. Қуйида кристаллар синфини халқаро миқёсда қўлланиладиган мавжуд белгилари, усуллари ҳақида умумий тушунчалар берилади. Герман — Моген белгилари 3-жадвалда келтирилади. Бунда А. В. Шубников белгиларида ҳам симметрия ўқлари даражасининг ўзигина ёзилади. Иккинчи даражали ўқларнинг сони ва шу юқори даражали симметрия ўқлари устидан ўтган симметрия текисликларининг (m) сони ёзилмайди, чунки уларнинг сони ўша юқори даражали ўқ даражаси сонига тенг; $\bar{1}$, $\bar{2}$ ишораси симметрия маркази, $\bar{6}$, $\bar{4}$, $\bar{3}$ ишораси эса инверсион ўқлар мавжудлигини кўрсатади.

Герман — Моген белгиларидаги симметрия текислиги симметрия ўқларига мос йўналишда ўтган бўлса, рақам ёнида ҳеч қандай ишора қўйилмайди ва у шу ўққа тик йўналган бўлса, каср чизиғидан кейин 2/m шаклида ёзилади, 2/m2/m2/m симметрия кўриниши қисқача mmm шаклида кўрсатилиши мумкин. Бу симметрия кўринишидаги мавжуд $3L_2$ ва С хаёлан тасаввур этилади. Шунга ўхшаш $4/m\bar{3}2/m$ шаклида ёзилиши лозим бўлган гексаоктаэдрик симметрия кўриниши қисқача m3m шаклида ёзилиши мумкин. Умуман бундай белгилашда, биринчи навбатда симметрия воситалари ўзининг фазода тутган ўрнига қараб кристаллографик ўқлар билан мос қўйиладиганлари ёзилади.

А. В. Шубников белгиларида симметрия ўқларига нисбатан тик йўналишда ўтган симметрия текислиги қўш нуқтадан (:) кейин ёзилади. Шу ўқлар билан мос йўналишда ўтган текислик билан ўқнинг даражаси орасига нуқта (.) қўйилади. Рақамлар орасидаги каср чизиғи (-) бу симметрия элементларининг бир-бири билан нотўғри бурчак ($< \neq 90°$) ҳосил қилиб кесишини кўрсатади.

Шенфлис белгиларидаги C_1, C_2, C_3 ва C_6 (немисча Цирк — Cyrk сўзининг бош ҳарфи) каби ёзилган ишоралар симметрия кўринишларида кўрсатилган даражали биттадан қутбланмаган симметрия ўқлари борлигини билдира-

ди. Шу ўқларга тик йўналган симметрия текислиги мавжуд бўлса, у шу белгиларга қўшиб C_{2h}; C_{3h}; C_{4h}; C_{6h} (h олмонча "horisontal" сўзининг бош ҳарфи) каби ёзилади. Натижада ўша симметрия ўқларига мос йўналган симметрия текисликлари қуйидагича қўшимча v (вертикал) ҳарфи билан белгиланади ва C_{2v}; C_{3v}; C_{4v} ва C_{6v} кўриниши каби ёзилади. Моноклин сингониядаги ўқсиз диэдрик симметрия кўриниши C_s шаклида ифодаланади. Бундаги s (spigelaxe — олмонча кўзгу сўзининг бош ҳарфи) симметрия текислиги борлигини кўрсатади. Қутбланган симметрия ўқлари ва унга тик йўналган иккинчи даражали ўқларнинг сони қуйидагича ёзилади: D (Diëder — икки ёндан иборат, деган маъно англатувчи олмонча сўзнинг бош ҳарфи) — D_2; D_3; D_4; D_6 каби, ромбик сингониядаги D_2 симметрия кўриниши, баъзан v шаклида ёзилади. Шу белгиларга h ҳарфининг қўшиб ёзилиши бу синфларда ҳам симметрия текислиги ҳам иккинчи даражали симметрия ўқлари мавжудлигини англатади. Ромбик сингониядаги D_{2h}, баъзан v_h каби кўрсатилади.

Тетрагонал скаленоэдрик ва дитригонал скаленоэдрик синфлари D_{2d} (ёки v_d) ҳам D_{3d} ишоралари билан кўрсатилади. Бунда симметрия текислигининг симметрия ўқига нисбатан ҳолати (d-diagonal) ҳисобга олинган $\bar{2}$ ва $\bar{3}$ даражали инверсион симметрия ўқи бўлган симметрия кўринишлари s_4 ва s_6 шаклида ифода этилади.

Шунингдек, ромбоэдрик симметрия кўриниши бошқача C_{3i} кўринишда ифодаланиши ҳам мумкин, чунки бунда ўзига хос симметрия маркази бўлган пинакоидал симметрия кўриниши шаклида ёзилади. Кубик сингония симметрия кўринишлари белгиларида T (тетраэдр) ва O (октаэдр) ҳарфлари ишитирок этади ва зарур ўринларда уларга жадвалда кўрсатилгандек h ва d ҳарфлари қўшиб ёзилади.

32 симметрия кўриниши — синфлар

2-жадвал

Табақа-си	Сингонияси	Симметрия кўриниши синфи						
		примитив (содда)	маркази	планал-текисликли	аксиал-ўқли	планаксиал-ўқли-тек-кли	инверсион примитив (содда)	инверсион-планал-текисликли
паст	Триклин	1 L_1 1	2 C 1					
	моноклин			3 P 2m	4 L_2 2	5 L_2PC 2/m		
	ромбик			6 L_22P mm2 mm	7 $3L_2$ 222	8 $3L_23PC$ mmm		
ўрта	тригонал	9 L_3 3	10 L^6_3 C 3	11 L_33P 3m	12 L_33L_2 32	13 L_33L_23PC 3m		
	тетрагонал	14 L_4 4 L_4PC 4/m	15 L_4PC 4/m	16 L_44P 4mm 4m	17 L_44L_2 422 42	18 L_44L_25PC 4/mm	19 L_4 $\bar{4}$	20 L_42L_22P $\bar{4}2m$
	гексагонал	21 L_6 6	22 L_6PC 6/m	23 L_66P 6mm	24 L_66L_2 622 62	25 L_66L_27PC 6/mm	26 $L_6=L_3P$	27 L_33L_24P
юқори	кубик	28 $4L_33L_2$ 23	29 $4L_33L_23PC$ m3	30 $4L_33L^4_26P$ $\bar{4}3m$	31 $3L_44L^6_3$ $6L_2$ 43^2 43	32 $3L_44L^6_3$ $6L_29PC$ m3m		

3-жадвал

32 симметрия кўриниши (синфлар) ва уларнинг белгилари

Сингонияси	Симметрия кўринишининг номи	Белгилари			
		Грот бўйича	Шенфлис бўйича	Герман-Моген бўйича	Шубников бўйича
I.Триклин	1. Моноэдрли		C_1	1	1
	2. Пинакоидли	C	C	$\bar{1}$	$\bar{2}$
II.Моноклин	3. Диэдр укли	L_2	C_2	2	2
	4. Диэдр уксиз	P	C_2	m	m
	5. Призмали	L_2PC	C2h	2/m	2:m
III.Ромбик	6. Ромботетраэдрли	$3L_2$	D_2=v	222	2:2
	7. Ромбопирамидали	L_22P	C2v	mm2	2m
	8. Ромбодипирамидали	$3L_23PC$	$D_2h=v_h$	mmm	m×2:m
IV.Тригонал	9. Тригонал-пирамидали	L_3	C_3	3	3
	10. Ромбоэдрли	L_6^3C	$C_{3i}=S_6$	$\bar{3}$	$\bar{6}$
	11. Тригонал-трапецоэдрли	L_33L_2	D_3	32	3:2
	12. Дитригонал-пирамидали	L_33P	C_{3v}	3m	3×m
	13. Дитригонаклскаленлэдрли	$L_6^33L_23PC$	D_{3d}	$\bar{3}$	$\bar{6}$

V.Тетрагонал	14. Тетрагонал-пирамидали 15. Тетрагонал-дипирамидали 16. Тетрагонал-трапецоэдрли 17. Дитетрагонал-пирамидали 18. Дитетрагонал-дипирамидали 19. Тетрагонал-тетраэдрли 20. Тетрагонал-скалендрли	L_4 L_4PC L_44L_2 L_44P L_44L_25PC L_2^4 $L_2^42L_22P$	C_4 C_{4h} D_4 C_{4v} D_{4h} S_4 $D_{2d}=v_d$	4 4/m 422 4mm 4mmm $\bar{4}2m$	4 4:m 4:2 4·m m·4:m $\bar{4}\cdot m$
VI.Гексагонал	23. Гексагонал-трапецоэдрли 24. Дигексагонал-пирамидали 25. Дигексагонал-дипирамидали 26. Тригонал-дипирамидали	L_6 L_6PC L_66L_2 L_66P L_66L_27PC L_3P L_33L_24P	C_6 C_{6h} D_6 C_{6v} D_{6h} C_{3h} D_{3h}	6 6/m 622 6mm 6mmm $\bar{6}$ $\bar{6}m2$	6 6:m 6:2 6·2 m·6:m $\bar{3}:m$ m·3:m
VII.Кубик	28. Пентагон-тритетраэдрли	$4L_33L_2$ $4L_3^53L_23PC$ $3L_44L_36L_2$ $3L_4^24L_36P$ $3L_44L_36L_29Pc$	T T_h O T_d O_h	23 m3 432 $\bar{4}3m$ m3m	3:2 $\bar{6}/m$ $\bar{3}/4$ $\bar{3}/\bar{4}$ $\bar{6}/\bar{4}$

II б о б

КРИСТАЛЛАРНИНГ ГЕОМЕТРИК ШАКЛЛАРИ

Кристаллар бир-биридан симметриялик даражаси, симметрия воситаларининг тури ва сони билан фарқ қилади. Лекин кўпинча турли-туман шаклдаги, ташқи қиёфаси — кўриниши бошқа-бошқа кристаллар ҳам, масалан, октаэдр билан куб бир хил симметрия воситаларига эга. Шунинг учун ҳам кристалларни геометрик текширишда симметрия воситалари билан бир қаторда уларнинг шаклини ҳам ўрганиш зарурияти туғилади.

Эркин ўсаётган кристалл ниҳоят ҳар хил ёки бир хил кўринишдаги бир неча ён билан чегараланади. Шунга қараб кристалл шакллари содда ёки мураккаблашган, деб аталади.

Кристаллнинг шакли фақат бир хил тур ёнлардан ташкил топган бўлса, бунда унинг шакли содда шакл дейилади. Куб, тетраэдр, дипирамида содда шаклга мисол бўла олади.

Кристаллнинг шакли бир неча хил, турли туман кўринишидаги ёнлардан ташкил топган бўлса, у мураккаблашган шакл дейилади. Масалан, пирамидалар ва призмалар ва ҳ. к. Чунки уларнинг асослари бир хил, пирамида ёки призма ҳосил қиладиган ёнлар эса бошқа хил кўринишга эга бўлади.

Бундан ташқари, содда шаклларнинг ўзи ҳам икки хил — очиқ ва ёпиқ шаклларга бўлинади.

Кристалл фақат бир хил ёнлар билан чегараланган бўлса ёки кристаллнинг бир-бири билан кесишмайдиган бир хил ёнлари кесишгунча давом эттирилгач, улар кристалл устини ҳар томонлама ўраб келса, бундай ёнлардан тузилган шакл ёпиқ шакл дейилади. Масалан, куб бир хил, олтита тўғри тўртбурчакли ёндан иборат ва бошқалар.

Очиқ шакллар ёпиқ шаклларнинг акси бўлиб, бунда кристаллнинг бир хил тур ёнлари кристалл устини ҳар томонлама ўраб келмайди. Шунга ўхшаш бир-бири билан ёндошмайдиган шундай ёнлар бир-бири билан кесишгунча давом эттирганда ҳам кристалл усти бир хил ёнлар билан ўралмайди. Демак, ҳар қандай шароитда ҳам кристалл усти-

ни ҳар томонлама ўраб келмайдиган бир хил тур ёнлардан иборат шакл очиқ шаклдир. Масалан, призма ва пирамидалар. Шу призма ёки пирамидаларни ташкил қилувчи ёнлар ўзаро кесишар экан уларнинг асослари очиқ қолади. Шунингдек, ундаги асосларнинг ўзи ҳам ҳар томонлама очиқдир. Очиқ, содда шакллардан биттасининг ўзи бир бутун кристалл шаклини ҳосил қилолмайди. Бир бутун кристалл шакл ҳосил бўлиши учун очиқ, содда шаклларнинг сони иккита ёки ундан ортиқ бўлиши керак.

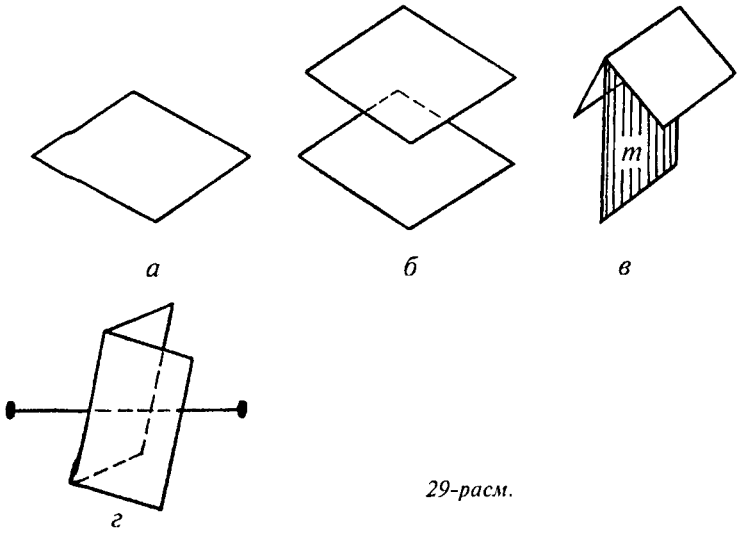
Кристалларда очиқ шаклларнинг ўзи ҳам, ёпиқ шаклларнинг ўзи ҳам, очиқ шакллар билан бирга ёпиқ шакллар ҳам комбинациялар, мураккаб шакллар ҳосил қилиши мумкин. Кристалл шаклларининг ҳар бири кристаллдаги содда шаклларнинг ташқи қиёфасига, шу шаклни ташкил этувчи ёнларнинг бир-бирига нисбатан тутган ўрнига ва ниҳоят, уларнинг ўзи эса шу шаклдаги мавжуд симметрия воситаларига боғлиқ. Симметрия кўринишларининг ҳар бири учун хос умумий шакллар бўлиши мумкин. Хусусий шаклларнинг ҳаммасини назарий-математик йўл билан ҳисоблаб чиқиш мумкин. Симметрия воситаларига нисбатан тик ёки мос йўналган, ёки бир хил симметрия воситаларини тенг кесмалар ҳосил қилиб кесувчи ёнлардан иборат содда шакллар хусусий шакллар дейилади. Бунинг аксича симметрия воситаларига мос ёки тик йўналишда ўтмайдиган ёки шу симметрия воситаларида тенг кесмалар ҳосил қилмайдиган ёнлардан иборат содда шакллар умумий шакллар дейилади. Кристалларнинг симметрия воситалари билан содда шаклари орасидаги мавжуд боғланиш ҳар қайси сингония ва симметрия кўринишларининг батафсил таърифида берилади.

Қуйида кристалларда бўлиши мумкин содда шаклларнинг таърифи (очиқ, содда шакллардан бошлаб) берилади.

1. Очиқ содда шакллар

Моноэдр — фақат бир кристалл ёни (моно-юнонча бир, эдр — кристалл ёни) дан иборат содда шакл (29 *а*-расм).

Диэдр — иккита (ди-икки) бир-бирига тенг, ўхшаш, ўзаро кесишадиган ёнлардан иборат содда шакл (29-*г*, *в*-расм).

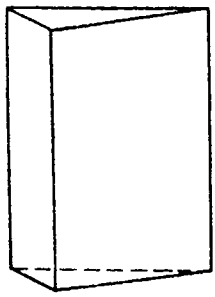


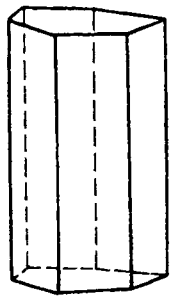
29-расм.

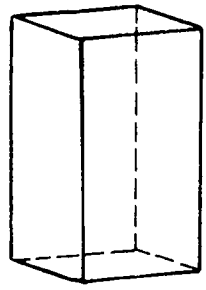
Пинакиод — иккита бир-бирига тенг, ўхшаш, параллел ёнлардан ташкил топган (пинакс — юнонча сўз бўлиб, тахта демакдир) содда шакл (29-*б*, расм).

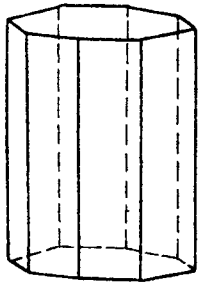
Призмалар — параллел қирралар ҳосил қилиб, кесишадиган уч ва ундан ортиқ ўхшаш ҳамда тенг ёнлардан тузилган содда шакллардир. Призмалар уч ёнли, тўрт ёнли, олти ёнли бўлади. Бунда биринчиси тригонал призма, иккинчиси — ёнлари орасидаги бурчак 90° бўлса, тетрагонал призма ва ёнлари орасидаги бурчак 90° бўлмаса — ромбик призма (30, *ж*-расм), шу призманинг ёнлари билан асоси орасидаги бурчаги 90° га тенг бўлмаса, моноклин призма (30-*з* расм), олти ёнли учинчиси гексагонал призма дейилади (30-*а, в, д*-расм).

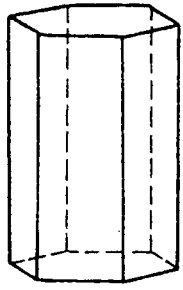
Призмаларнинг ҳар қайси ёни ўртасидан кичик қирра бўйича ажралган — иккиланган бўлиши мумкин. Бундай призмаларни аташда ёнларини кўрсатадиган сонга "ди" олд қўшимчаси қўшилади. Иккиланган ёнлардан иборат уч ёнли призма дитригонал призма, тўртта иккиланган ёнлардан тузилган призма дитетрагонал призма, олтита иккиланган ёнлардан иборат призма дигексагонал призма дейилади (30-*г, б, е*-расмлар).

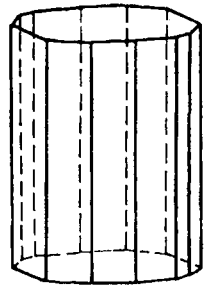


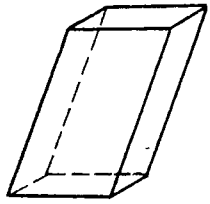








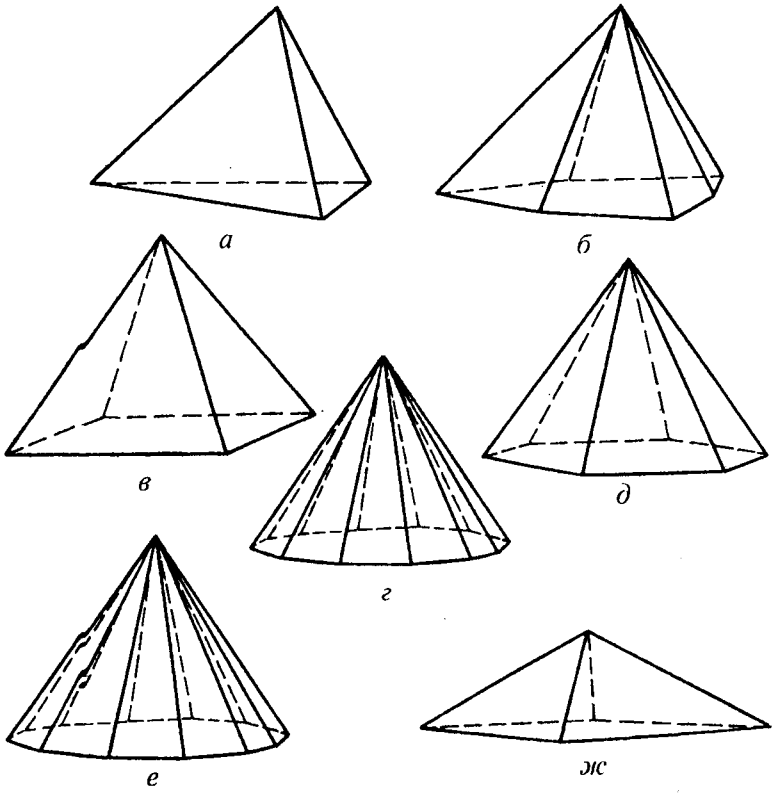




30-расм.

Пирамидалар — қирралари бир нуқтада кеси шадиган уч ва ундан ортиқ тенг ва ўхшаш ёнлардан ташкил топган содда шакллардир. Пирамидалар ҳам призмаларга ўхшаш бир неча хил бўлади:

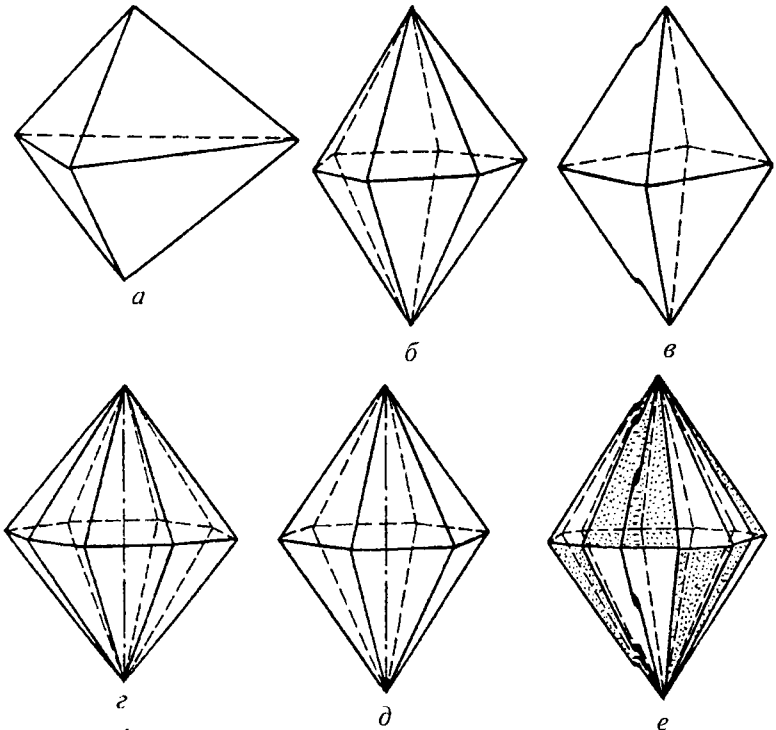
а) тригонал (уч ёнли) пирамида; б) тетрагонал (тўртта ёнли) пирамида; в) гексагонал (олти ёнли) пирамида; г) дитригонал пирамида, д) дитетрагонал пирамида; ж) дигексагонал пирамида (31-*а, б, в, г, д, е, ж*-расмлар), ромбик пирамида очиқ шакллардир.



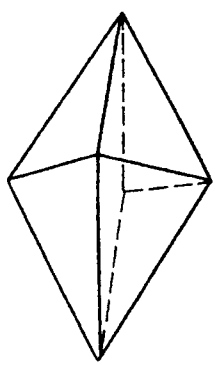
31-расм.

2. Ёпиқ содда шакллар

Ёпиқ содда шакллар фақат бир хил ёнлар билан чекланган бўлиб, улар қуйидагилардир: дипирамидалар — асослари билан қўшилган тенг ва ўхшаш икки пирамидадан иборат содда шакллардир. а) тригонал дипирамида; б) тетрагонал дипирамида: в) гексагонал дипирамида; д) ромбик дипирамида, ва ёнлари иккиланган бўлса, е) дитригонал дипирамида; ж) дитетрагонал дипирамида; и) дигексагонал дипирамида (32-расм).

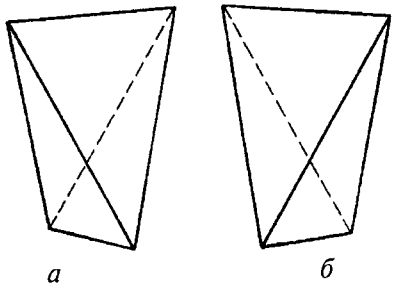


32-расм.



Тетраэдрлар бир-бирига тенг, ўхшаш бўлган тўртта учбурчакли ёнда н тузилган содда шакл. Тетраэдрларнинг ҳар қайси ёни тенг томонли учбурчак шаклида бўлса, кубик тетраэдр (40-расмга қаранг) тенг ёнли учбурчак қиёфасида бўлса, тетрагонал тетраэдр (33-расм), турли томонли учбурчаклардан иборат бўлса, ромбик тетраэдр дейилади. Кубик тетраэдр фақат кубик сингония кристалл шаклларига мансубдир. Шунингдек, ромбик тетраэдр ромбик сингония кристалл шаклларига, тетрагонал тетраэдр эса тетрагонал сингония кристалларига хос шакллардир.

Ромбоэдр — олтита ўхшаш ва тенг ромб кўринишдаги ён билан чекланган шакл бўлиб, қийшиқ кубни эслатади (34-

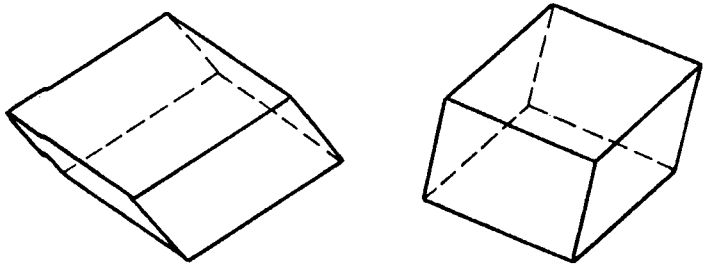


33-расм.

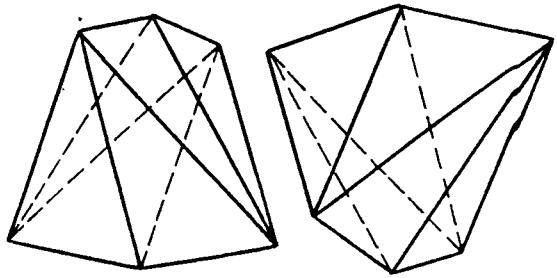
расм). Куб шакли қирраларини симдан ясаб, қарама-қарши учларидан чўзилса, шундай шакл ҳосил бўлади.

Скаленоэдрлар тетрагонал ҳамда дитригоналдир. Тетрагонал тетраэдрларнинг ҳар қайси ёнларини ўртасидан кичик қирра ҳосил қилиб, симметрия текислиги бўйича бўлиниши — иккиланишидан тетрагонал скаленоэдр (35-расм), ромбоэдр ёнларининг шунга ўхшаш иккиланишидан дитригонал скаленоэдр вужудга келади. Демак, тетрагонал скаленоэдр, саккиз ёнга, дитригонал скаленоэдр эса ўн икки ёнга эга бўлади (36-расм).

Трапецоэдрлар дипирамидаларга ўхшаш, лекин симметрия текисликлари ўтказишни тасаввур этиб бўлмайдиган шакллардир. Улар ҳам икки пирамиданинг асослари билан қўшилишидан ҳосил бўлади. Бироқ бунда биринчи пирамиданинг қирраси иккинчи пирамиданинг қиррасига мос эмас, балки ёнига тўғри келади, яъни биринчи пирамида иккинчисига нисбатан бирмунча бурилган, бурилиш бурчаги элементар бурчакнинг ярмидан кичикдир (37-расм).

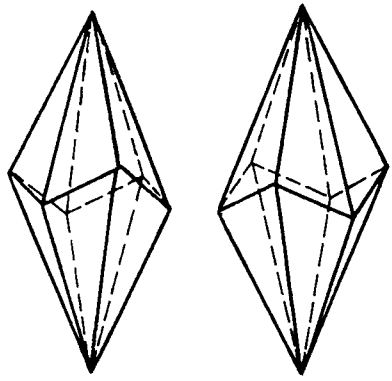


34-расм.



а *б*

35-расм.

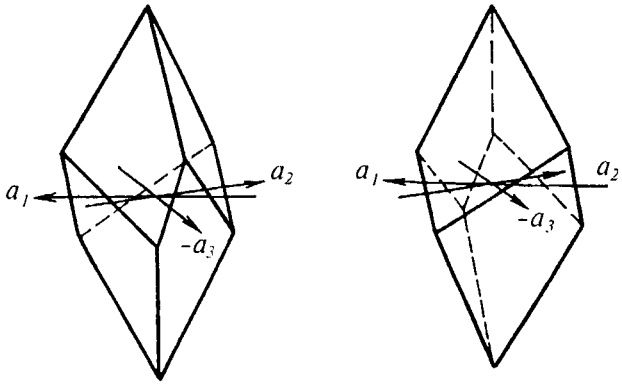


а *б*

36-расм.

Трапецоэдрларнинг тригонал — олти ёнли (37-расм), тригонал дипирамидага ўхшаш, тетрагонал саккиз ёнли, тетрагонал дипирамидага ўхшаш (38-расм), гексагонал ўн икки ёнли, гексагонал дипирамидага ўхшаш хиллари (39-расм) учрайди. Бундан ташқари, улар энантиморф шакллар бўлганлиги учун чап ва ўнг қиёфада кўринади (37, 38, 39-расмлар).

Юқорида келтирилган содда шаклларнинг аввал таърифланган бештаси моноэдр, диэдр, пинакоидлар ҳамда ромбик призма, ромбик пирамида ва ромбик дипирамида (34, 35-расмлар) симметриклик даражаси паст бўлган табақа кристаллари учун хосдир. Улар ва улардан кейинги ҳамма шакллар (кубик тетраэдрдан ташқари) симметриклик дара-



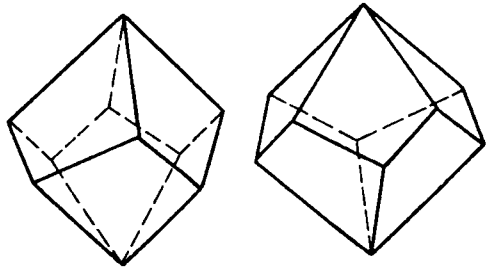
37-расм.

жаси ўртача табақа кристаллари учун хос шакллардир (30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39-расмлар).

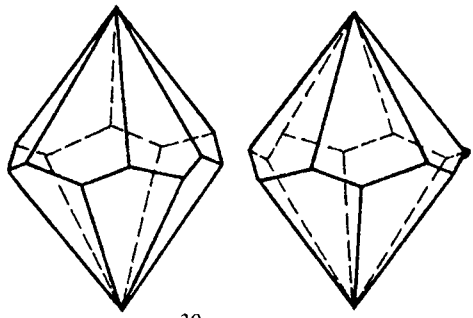
Кубик сингония содда шаклларининг ташқи қиёфаси юқори даражали мавжуд симметрия ўқлари билан белгиланади. Кристаллнинг ҳар қайси ёни шу сингонияда мавжуд бир неча симметрия ўқи атрофида такрорланади. Шунинг учун симметриялик даражаси юқори — кубик сингонияга мансуб кристаллар ўзига хос шаклларга эга. Уларни шу сингониянинг ўзидагина кўриш мумкин. Кубик сингонияда қуйидаги содда шакллар кўрилади:

тетраэдр — тенг, ўхшаш тўртта тенг томонли учбурчакли ёнлардан иборат шакл (40-*а*, расм);

октаэдр — тенг ва ўхшаш саккизта тенг томонли учбурчак ёндан тузилган шакл (40, *ж*-расм). Бу ёнларининг тенг томонли учбурчак кўринишида бўлиши билан тетрагонал



38-расм.



39-расм.

дипирамидадан фарқ қилади. Тетрагонал дипирамида эса саккизта тенг ёнли учбурчак қиёфасидаги ёнлардан иборат шакл эди.

Куб — гексаэдрнинг мураккабланишидан ҳосил бўладиган шакллар (40-*н, о, п, р, с* расмлар):

Тетрагексаэдр — кубнинг ҳар қайси тўғри тўртбурчак кўринишдаги ёнларнинг ҳар бири тўртланган, яъни кичик қирралар билан тўртта учбурчакликка бўлинган (40, *о*-расм).

Ромбододекаэдр — ўн иккита ромб кўринишидаги ўхшаш ва тенг ёнлардан иборат шакл (40, *п*-расм).

Пентагон додекаэдр — ўхшаш, тенг ўн иккита беш бурчакли ёнлардан тузилган шакл (40, *р*-расм).

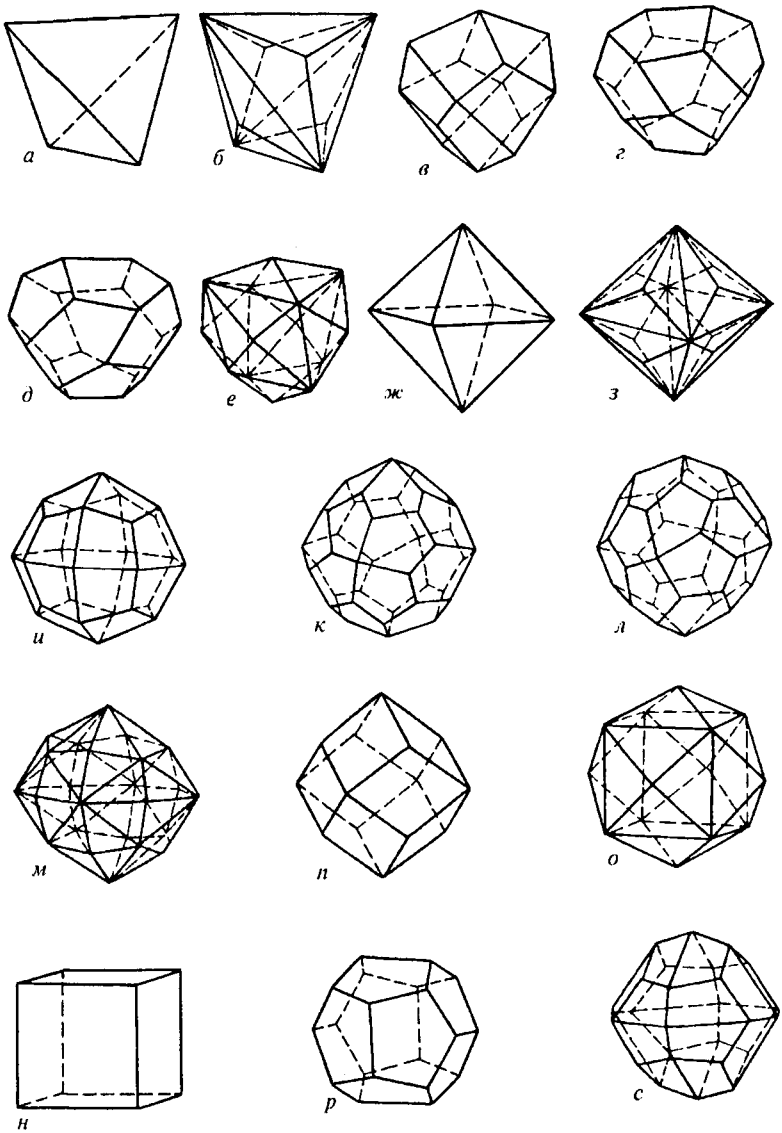
Дидодекаэдр пентагон додекаэдрнинг ҳар қайси ёнларининг иккиланишидан ҳосил бўлган шакл (40, *с*– расм).

Тетраэдр (*а*) ва унинг мураккабланишидан иборат шакллар (40-*а, б, в, г, е, д*-расмлар).

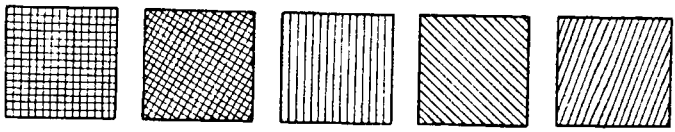
Тригон тритетраэдр (*б*) — тетраэдрдаги учбурчак кўринишдаги ёнларнинг ҳар бирининг учланиши, яъни кичик қирралар билан учта учбурчакликка ажралишидан ҳосил бўлган шакл.

Тетрагон тритетраэдр (*в*) — бунда ҳам тетраэдр ёнларининг ҳар бири учланган, яъни кичик қирралар билан учта тўрт бурчакликка ажралгандир.

Пентагон тритетраэдр (*г, д*) — бунисида ҳам тетраэдрнинг ёнлари учланган, ёнларининг ҳар бири учтадан беш бурчакликка ажралгандир. У ҳам энантиморф шакл бўлиб, чап ва ўнг кўринишларда учрайди.



40-расм.



41-расм.

Гексатетраэдр (*е*) — тетраэдр ёнларининг ҳар бири олтитадан, яъни олтита учбурчакларга ажралганидир (40, *е*-расм).

Октаэдр (ж) ва унинг мураккабланишидан иборат шакллар (40-*з, и, к, л, м*-расмлар):

Тригонтриоктаэдр (*з*) — октаэдрнинг учбурчаклик кўринишидаги ҳар бир ёни учта учбурчакликка ажратилган, яъни учлангандир.

Тетрагонтриоктаэдр (*и*) — бунда ҳам октаэдрнинг ёнлари учланган, яъни учта тўрт бурчакликларга ажралган, бу ҳам йигирма тўрт ёнли шаклдир.

Пентагонтриоктаэдр (*к*) — октаэдрнинг ёнлари учланган — учта беш бурчакликка ажралган энантиморф шаклдир. Шунинг учун чап ва ўнг кўринишлари ҳам мавжуд.

Гексаоктаэдр (*м*) — октаэдр ёнларининг олтиланиши — кичик қирралар билан олтита учбурчакликларга ажралишидан ҳосил бўлган шакл.

Баъзан, кристалл ёнлари чизиқчалар билан қопланган бўлиб, симметрия воситаларини аниқлашда уларни ҳам эътиборга олиш керак. Кубик сингония кристаллари ёнларидаги чизиқчаларнинг хиллари 41-расмда кўрсатилгандек, булар бошқа-бошқа синфларга мансубдирлар.

3. Симметриялик даражаси паст табақа кристалларнинг геометрик шакллари

Бу табақа кристалларида фақат 2/m, 2, m, $\bar{1}$, 1 каби симметрия воситаларини тасаввур этиш мумкин. Шунга кўра, бу табақа кристалл шакллари асосан очиқ содда шакллар-нинг мураккабланишидан иборат, ёпиқ шакллар эса содда шакл тарзида ёки мураккаблашган бўлиб, анча кам кўринади (29, 30-расмга қаранг).

1. Триклин сингония. Биринчи моноэдрик симметрия кўринишида ҳеч қандай симметрия воситалари йўқ. Баъзан унинг симметриклик даражаси 1 шаклида ҳам ёзила-

ди — бу, кристалл шаклининг ҳар қайси учи, қирраси ва ёнлари шакли 360° га айлантирилганда фақат бир марта такрорланади, симметрия воситалари йўқ демакдир. Демак, кристаллнинг ҳеч бир ёни симметрия воситалари атрофида бошқа такрорланмайди. Бундан, моноэдрик симметрия кўриниши кристалларида содда шакллардан, фақат моноэдрларнинг ўзи бўлиши мумкин, деган хулосага келинади.

Иккинчи — пинакоидал $\bar{1}$ симметрия кўринишидаги мавжуд симметрия маркази "С" кристалл шаклининг ҳар қайси ён аксини қарама-қарши томонга ўзига тенг ва мос йўналган тарзда кўчириб беради. Демак, бу симметрия кўринишида ҳам содда шаклларнинг фақат биттаси — пинакоидлар иштирок этиши мумкин.

2. Моноклин сингония. 1) Ўқли диэдрик симметрия кўринишида биргина иккинчи даражали симметрия ўқи — 2 бўлиши мумкин. Шу билан боғлиқ равишда бу синф шаклларида симметрия ўқига тик йўналган моноэдр, бундан ташқари, пинакоид билан диэдр иштирок этади. 2) Ўқсиз диэдрик симметрия кўринишида биргина симметрия текислиги — m бўлиб, шунга кўра бу симметрия кўриниши кристалл шаклларида пинакоид ва моноэдр (симметрия текислигига тик йўналган хусусий умумий шаклли диэдрлар ҳам иштирок этади. 3) Призматик симметрия кўринишида симметрия воситаларида 2m қатнашади. Кристалл шакли ёнларининг шу симметрия воситалари таъсирида такрорланишидан умумий шакли моноклин призма билан хусусий шакли пинакоидлар юзага келади.

3. Ромбик сингония. 1) Ромботетраэдрик симметрия кўринишида бир-бирига нисбатан тик йўналган учта иккинчи даражали симметрия ўқларини 222 тасаввур этиш мумкин. Ромбик тетраэдр ёпиқ шакл, бу унинг кўринишининг умумий шакли бўлади. Бундан ташқари, ромбик призма ва пинакоидлар ҳам мураккаблашган шаклларда иштирок этиши мумкин. 2) Ромб пирамидали 2m симметрия кўринишида очиқ, содда шаклларнинг мураккабланишидан иборат кристаллар мавжуд: умумий шакллари — ромбик пирамида, хусусий шакллари — ромбик призма, пинакоид, диэдр ва моноэдрлардан иборат. 3) Ромб дипирамидали — mmm симметрия кўринишига мансуб кристалларда фақат жуфт

ёнлардан иборат содда шакллар: ромбик дипирамида умумий шакли, ромбик призма (тўрт ёнли) ва пинакоидлар — иккита мос ёнли, хусусий шакллар иштирок этади. Шу билан бу табақа кристаллар симметрия кўринишлари орасида ажралиб туради ҳамда осонликча аниқланади.

4. Симметриялик даражаси ўртача табақа кристалларнинг геометрик шакллари

Бу табақа кристалл шаклларида биттадан, ягона йўналиш, деб аталадиган йўналиш билан мос ўтадиган юқори даражали симметрия ўқлари — 3, 4, 6, $\bar{3}$: $\bar{4}$: ёки $\bar{6}$ бўлиши шарт. Улардан бошқа яна иккинчи даражали симметрия ўқлари бўлар экан, улар фақат юқори даражали симметрия ўқи билан 90° ли бурчак ҳосил қилиб кесишади (30, 31, 32, 33, 34, 35, 38-расмлар).

Маълумки, бу табақа кристаллари қуйидагича: тетрагонал, тригонал ва гексагонал сингонияларга ажратилади.

Тригонал ва гексагонал сингония. Бу сингония кристалларида ягона йўналиш 3, 6, $\bar{6}$ ва $\bar{3}$ каби юқори даражали симметрия ўқларининг бири йўналиш билан мос келади. Шунинг учун ҳам кристаллнинг ташқи қиёфаси асосий симметрия ўқининг даражасига мувофиқ содда шаклларнинг ёнлари олтитадан ёки учтадан бўлади. Тригонал ва гексагонал сингонияларнинг ўзига хос шакллари ромбоэдр билан дитригонал скаленоэдрлардан иборатдир. Қуйида шу сингониялар симметрия кўринишлари учун хос бўлиши мумкин содда шакллар кўрсатиб ўтилади. Бу икки сингония кристаллари симметриялик даражаси ва содда шакллари билан шу қадар бир-бирига яқин турадики, шунинг учун ҳам улар жуда кўп китобларда битта гексагонал сингония, деб қараб, тригонал ва гексагонал деган кичик сингонияларга ажратилади. Қуйидаги шу икки сингония содда шакллари тригонал сингониядан бошлаб таърифланади.

1. Тригонал пирамидали — 3 симметрия кўринишли кристалларида тасаввур этиладиган симметрия воситаси фақат учинчи даражали симметрия ўқидан иборатдир. Шунга кўра бу симметрия кўриниши кристалларида моноэдр, тригонал призма каби хусусий шакллар билан умумий шакл — тригонал пирамидалар мажмуаси иштирок этади.

2. Ромбоэдрли — $\bar{3}$ симметрия кўриниши кристалларида содда шакллардан ромбоэдр (умумий шакли), хусусий шакллардан гексагонал призма ва пинакоидлар иштирок этиши мумкин. Бу синф кристалл шаклларида симметрия маркази — С мавжудлиги учун бу симметрия кўринишида моноэдр ва пирамидалар бўлиши мумкин эмас.

3. Дитригонал пирамидали — 3m симметрия кўриниши кристалларида содда шаклларнинг хили анча кўп ва улар очиқ шакллар бўлганлиги учун фақат мураккаблашган ҳолда иштирок этади. Бу шакллар — моноэдр, тригонал призма, дитригонал призма, гексагонал призма, дигексагонал призма, тригонал пирамида каби хусусий шакллар билан умумий шакли дитригонал пирамидалардир.

4. Тригонал трапецоэдрли — 32 симметрия кўриниши. Бу симметрия кўриниши шаклларида қуйидаги содда шакллар иштирок этиши мумкин: пинакоид, тригонал призма, гексагонал призма, тригонал дипирамида, трапецоэдр, ромбоэдр. Булардан ташқари умумий шакли тригонал трапецоэдр кўринишидаги кристаллари ҳам мавжуд.

5. Дитригонал скаленоэдрли — $\bar{3}$m симметрия кўринишига мансуб кристалларда қуйидаги содда шакллар: пинакоид, гексагонал призма, дигексагонал призма, гексагонал дипирамида, ромбоэдр ва дитригонал скаденоэдрлар (умумий шакли) иштирок этиши мумкин.

Тетрагонал сингония. 1. Тетрагонал пирамидали — 4 симметрия кўринишида асосий симметрия ўқи — 4 билан кесишадиган умумий шакли тетрагонал пирамида ва хусусий шакллардан ягона йўналишга тик ўтадиган моноэдр билан шу йўналишга мос ўтадиган тетрагонал призма ёнлари мажмуасидан иборат бўлиши мумкин.

2. Тетрагонал дипирамидали — 4/m симметрия кўринишида тўртинчи даражали симметрия ўқини тўғри бурчак ташкил қилиб кесувчи симметрия текислиги — m ёки унинг тенг таъсир этувчиси симметрия маркази оркали шакл ёнларининг такрорланиши натижасида тетрагонал пирамида — дипирамидага (умумий шакли) моноэдр — пинакоидга айланади, призма эса ўз ҳолича қолаверади. Демак, бу симметрия кўриниши кристалларида умумий шакл — тетрагонал дипирамида, хусусий шакллардан пинакоид ва тетрагонал призмалар иштирок этади.

3. Дитетрагонал пирамидали — 4 mm симметрия кўринишида, маълумки тўртта симметрия текислиги кесишган тўғри чизиқ асосий тўртинчи даражали симметрия ўқи йўналиши билан мос келади. Демак, тетрагонал пирамида ва призма ёнлари иккиланган, асоси тетрагон ва дитетрагон шаклида бўлиши мумкин. Асосий ўқ — ягона йўналишга тик ўтувчи симметрия текислиги ёки иккинчи даражали симметрия ўқлари бўлмаганлиги учун, бу симметрия кўриниши кристалларидаги асосий ўқнинг икки учи бир-бирига ўхшамайди. Шу ва бунга ўхшаш икки учи бошқа-бошқа кўринишга эга бўлган шаклларни — гемиморф шакллар дейилади. Юқори даражали ўққа тик йўналган симметрия текислиги — m ёки иккинчи даражали симметрия ўқи — 2 бўлмаган ҳар қандай симметрия ўқининг йўналиши — қутбли йўналиш дейилади. Демак, бу симметрия кўриниши кристаллари, биринчидан — гемиморф, иккинчидан — қутбли йўналишга эгадир. Шунинг учун бу синфда бўлиши мумкин содда шакллар: дитетрагонал пирамида — умумий шакли, хусусий шакллари — моноэдр, тетрагонал призма, дитетрагонал призма ва тетрагонал пирамидалардан иборатдир.

4. Тетрагонал трапецоэдрли — 422 симметрия кўринишида асосий 4 симметрия ўқига тик йўналган тўртта иккинчи даражали симметрия ўқи борлиги туфайли симметрия текислиги билан боғланмаган бўлса ҳам, кристаллнинг икки учи бир хил кўринишга эгаки, натижада трапецоэдрлар, деб аталадиган содда шакллар вужудга келади. Трапецоэдрлар энантиморф шакллар бўлганлиги учун чап ва ўнг (бир-бирига тенг ва биринчиси иккинчисининг ойнадаги аксидек) кўринишга эга. Бу симметрия кўринишида умумий шакл — трапецоэдрлардан ташқари, хусусий шакллардан пинакоид, тетрагонал призма дитетрагонал призма ва тетрагонал дипирамидалар ҳам иштирок этиши мумкин.

5. Дитетрагонал дипирамидали — 4 mmm симметрия кўринишида асосий симметрия ўқига тик ва шу ўқ йўналиши билан мос йўналган симметрия текисликларининг қўшилиши билан шуларнинг тенг таъсир этувчиси тўртта иккинчи даражали симметрия ўқи — 2 ва симметрия маркази С ҳам юзага келади. Шунга кўра бу симметрия кўриниши кристалларида симметриялик даражаси анча юқори бўлган шакллар — дитетрагонал дипирамида (умумий шакли) тет-

рагонал дипирамида, дитетрагонал призма, тетрагонал призма ва пинакоид каби хусусий содда шакллар бўлиши мумкин.

6. Тетрагонал тетраэдрли — 4 симметрия кўринишидаги кристалларда, шу мавжуд симметрия воситаларига мувофиқ, тетрагонал тетраэдр (умумий шакли), тетрагонал призма ва пинакоидлар каби хусусий содда шакллар иштирок этади.

7. Тетрагонал скаленеэдрли — $\bar{4}2m$ симметрия кўринишидаги кристалларда содда шакллардан (умумий шакли) тетрагонал скаленоэдр, тетрагонал тетраэдр, тетрагонал дипирамида, тетрагонал ва дитетрагонал призма ҳамда пинакоидлар каби хусусий шакллар иштирок этиши мумкин.

Гексагонал сингония. Бу сингония кристалл шакллари мавжуд 6 ёки $\bar{6}$ симметрия ўқлари билан тригонал сингония кристаллари шаклидан фарқ қилади. Улар қуйидагилардан иборат:

1. Гексагонал пирамидали — 6 симметрия кўринишига мансуб кристалларда содда хусусий шакллардан моноэдр, гексагонал призма ва гексагонал пирамидалар (умумий шакли) иштирок этади.

2. Гексагонал дипирамидали — 6/m симметрия кўриниши кристалл шакллари пинакоид, гексагонал призма каби хусусий ва умумий шакл — гексагонал дипирамидалардан иборат қиёфада бўлади.

3. Дигексагонал пирамидали — 6/mm симметрия кўринишларида пинакоид, дигексагонал призма, гексагонал призма, дигексагонал пирамида (умумий шакл) ва гексагонал пирамидалар шу синф кристалларини ҳосил қилувчи содда шакллардир.

4. Гексагонал трапецоэдрли — 622 симметрия кўриниши кристалларида хусусий шакллардаги пинакоид, гексагонал призма, гексагонал дипирамида ва гексагонал трапецоэдр (умумий шакли) каби содда шакллар учрайди.

5. Дигексагонал-дипирамидали — 6mmm симметрия кўриниши пинакоид, гексагонал призма, дигексагонал призма, гексагонал дипирамида ва дигексагонал дипирамидалардан (умумий шакли) иборат мураккаблашган шакллар ҳосил қилади.

6. Тригонал дипирамидали — $\bar{6}$ симметрия кўриниши кристалларида иштирок этадиган содда шакллар анча кўп

бўлиб, улар — пинакоид, тригонал призма, дитригонал призма, гексагонал призма, тригонал дипирамидалардан (умумий шакли) иборатдир.

7. Дитригонал дипирамидали — $\bar{6}m2$ симметрия кўринишида учрайдиган содда шакллар пинакоид, тригонал призма, тригонал дипирамида, дитригонал дипирамида (умумий шакли), дитригонал призмадан ташкил топиши мумкин.

5. Симметриялик даражаси юқори табақа кристалларнинг геометрик шакллари

Маълумки, бу табақа бирдан-бир кубик сингонияни ўз ичига олади. Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, кубик сингония ўзига хос содда ёпиқ шаклларга эга бўлиб, паст ва ўрта табақа кристаллари учун хос бўлган содда шакллар мутлақо кўринмайди. Демак, бу сингония кристалларининг ҳаммасида ҳам доимо фақат содда ёпиқ шакллар иштирок этади.

Булардан ташқари, симметриялик даражаси юқори табақа кристалларида тасаввур этиладиган юқори даражали симметрия ўқларининг сони кўп, яъни $3L_4$ ёки $3L_2$ билан $4L_3$ бўлиши шарт эканлиги ҳам ўз ўрнида кўрсатиб ўтилган эди. Шунга мувофиқ кристалл шаклининг ҳар бир ёни шу симметрия ўқлари атрофида муайян тартиб билан такрорланар экан, ўша бир хил кўринишдаги ёнларнинг сони кўп бўлиши кераклигини тасаввур этиш қийин эмас (40-расм).

1. Пентагон тритетраэдрли — 23 симметрия кўринишида гексаэдр (куб), ромбододекаэдр, пентагон додекаэдр билан бирга тетраэдр (кубик) ёнларининг учланишидан юзага келадиган — тригонтритетраэдр, тетрагон тритетраэдр каби хусусий шакллар билан умумий шакли пентагонтритетраэдрлар иштирок этади. Бу симметрия кўринишида фақат симметрия ўқларининг ўзи бўлганлиги учун улар орасида энантиморф шакллари ҳам учраши мумкин. Пентагон тритетраэдр шундай шаклки, чап ва ўнг кўринишларда учрайди.

2. Дидокаэдрли — m3 симметрия кўриниши кристалларида гексаэдр (куб), ромбик додекаэдр, пентагон додекаэдр, октаэдр, тетрагонтриоктаэдр, тригонтриоктаэдр каби хусусий шакллар билан бирга умумий шакли пентагон додекаэдр ёнларининг иккиланишидан ҳосил бўлган дидодекаэдрлардан иборат содда шакллар иштирок этади.

3. Гексатетраэдрли — $\bar{4}3m$ — симметрия кўринишида хусуси й шакллар — гексаэдр (куб), ромбик додекаэдр, тетрагексаэдр, тетраэдр, тригон тритетраэдр билан умумий шакли — тетраэдрлар иштирок этиши мумкин.

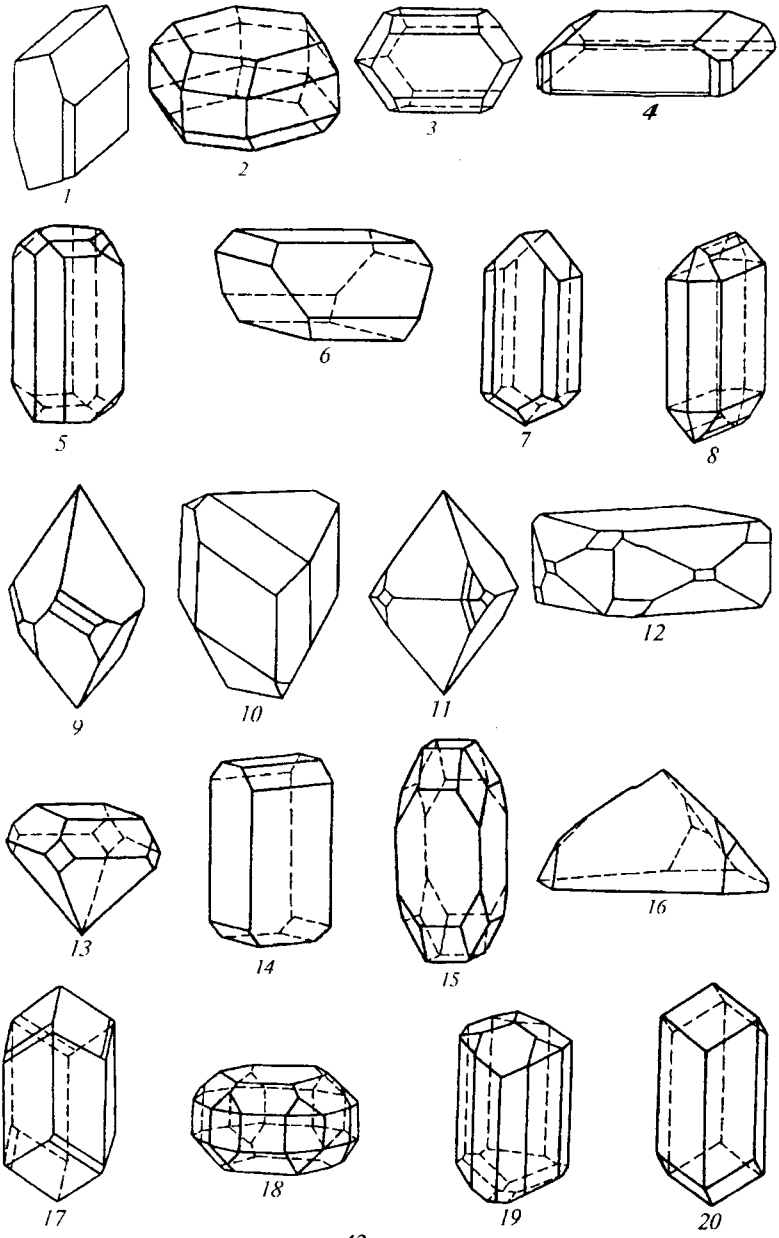
4. Пентагон триоктаэдрли — 432 симметрия кўриниши кристалларида содда шаклларда гексаэдр (куб), ромбододокаэдр, тетрагексаэдр, октаэдр, тетрагон триоктаэдр, тригонтриоктаэдр каби хусусий шакллар билан пентагон триоктаэдр бўлиши мумкин. Булардан умумий шакли пентагон трио ктаэдр энантиморф шакл бўлиб, чап ва ўнг кўринишларда учрайди.

5. Гексаоктаэдрикли — m3m симметрия кўриниши симметриялик даражаси энг юқори бўлган кристалл шаклларини ўз ичига олади. Уларнинг умумий шакли — гексаоктаэдр бўлиб, хусусий шакллари гексаэдр (куб), ромбододекаэдр, тетрагексаэдр, октаэдр, тетрагон триоктаэдр ва тригон триоктаэдрлардан иборат.

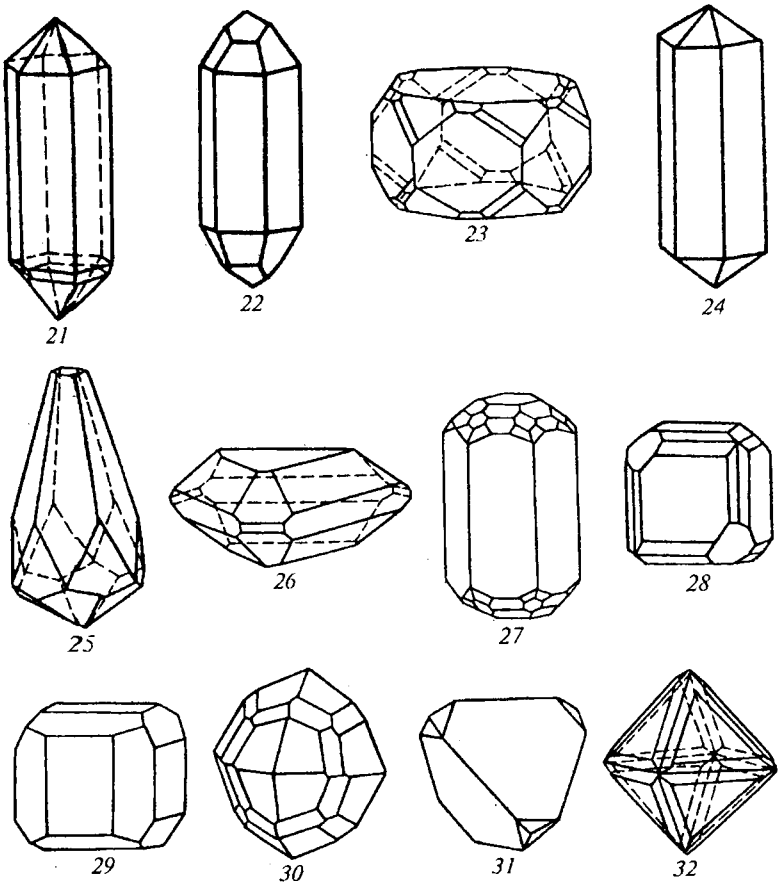
Мана шу юқорида баён этилган маълум, умуман кристалларда бўлиши мумкин геометрик содда шаклларни симметрия воситаларига, яъни симметриялик даражасига қараб, қайси табақа, қайси сингония ва қайси симметрия кўринишига мансуб эканлигига асосан тартиб билан кўрсатиб ўтилди. Минералларнинг табиий ва сунъий кимёвий бирикмаларнинг кристалл шакллари кейинчалик ўз навбатида батафсил таърифланади.

Пентагон тритетраэдрларнинг чап ва ўнг кўринишини аниқлаш учун шаклнинг учидан — учинчи даражали симметрия ўқлари учидан икки бармоқ билан ушлаб, қиррасини кузатувчи ўзига қаратиб қўяди. Бунда шу қирра учта синиқ чизиқдан иборат бўлиб кўринади. Агар қирранинг энг пастки қисми ўнгга қараган бўлса — ўнг, чапга қараган бўлса — сўл пентагон тритетраэдр ёки сўл, трапецоэдр дейилади.

Пентагон триоктаэдрларда чап ва ўнг кўринишларини аниқлаш учун учта тўртинчи даражали симметрия ўқларидан бири тик, иккинчиси чапдан ўнгга ва учинчиси — кузатувчига қаратиб қўйилади, бунда кристаллнинг юқори қисмида учта синиқ чизиқдан иборат қирра кўринади. Агар шу қирранинг юқориги биринчиси ўнгга қараган бўлса — ўнг ва чапга қараган бўлса — чап пентагон триоктаэдр, дейилади.



42-расм.



42-расмнинг давоми

Ниҳоят табиий кристалл шакллари таркибида иштирок этадиган содда геометрик шакллар ҳар бирининг алоҳида-алоҳида баёни ниҳоясига етди. Лекин табиий кристалларнинг ташқи қиёфаси баъзан жуда мураккаб бўлиб кўринади. 42-расмда шундай табиий кристалларнинг 32 синфига мансуб мисоллари кўрсатилган. Қуйида ана шу шаклларни таҳлил қилиш усули баён этилади.

6. Мураккаб шакллар ва уларда иштирок этадиган содда шаклларни аниқлаш

Мураккаб шакллар бир неча хил ёнлар билан чегаралангган кристалл шаклларидир. Уларга бири иккинчиси билан кесишадиган бир неча содда шакллар йиғиндисидан иборат деб қараш мумкин (43-расм). Содда шакллар фақат бир хил ёнлардан ташкил топган бўлади. Таққослаб кўриш учун расмда тетрагонал сингония кристалларига хос умумий, содда шакллар келтирилган.

Мураккаб шаклларнинг қандай содда шакллардан ташкил топганлигини аниқлаш учун аввало кристалл ёнларининг неча хил ва нечтадан эканлиги санаб чиқилади. Ҳар бир хил ёнларнинг симметрия воситаларига, шунингдек бирининг иккинчисига нисбатан тутган ўрни аниқланади ва ўзаро кесишмайдиган ўхшаш ёнлар бир-бири билан кесишиб, қирралар ҳосил қилгунча хаёлда давом эттирилади. Шундан кейин қандай шакл ҳосил бўлиши мумкинлиги кўз олдига келтирилади.

Мураккаб шаклларда иштирок этадиган содда шаклларни аниқлашда қуйидаги шартларга риоя қилинади:

1. Кристаллнинг мураккаб шаклда иштирок этган ёнларнинг тури қанча бўлса, бу мураккаб шаклда иштирок этувчи содда шаклларнинг сони ҳам шунчадир.

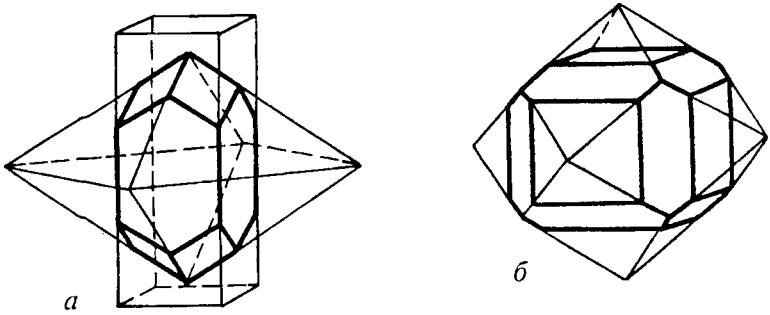
2. Бир-бири билан кесишмайдиган ёнлар, бири иккинчиси билан кесишгунча давом эттирилиши натижасида тасаввур қилинадиган шакл бутунлай бошқача, ўзининг аввалги қиёфасига мутлақо ўхшамайдиган кўринишга эга бўлиб қолиши мумкин.

3. Мураккаб шакллар очиқ шаклларнинг ёки ёпиқ шаклларнинг ўзидан, шунингдек, очиқ шакллар билан ёпиқ шакллардан ташкил топган бўлиши мумкин.

4. Очиқ шакллар фақат мураккаб шаклларда иштирок этади, якка очиқ шаклнинг ўзи ҳеч қачон бутун кристалл шаклини ҳосил қила олмайди.

5. Мураккаблашган шаклларнинг қандай содда шакллардан ташкил топганлигини аниқлашда шу содда шакллардаги ўхшаш ёнларининг сонини билиш доимо кифоя қилавермайди. Бир хил сонга эга ёнлар ҳар хил шакл ҳосил

қилиши мумкин. Масалан, гексагонал — олти ёнли призма (ёнлари орасидаги бурчаклари 60° га тенг) ва дитригонал иккиланган уч ёнли призма (ёнлари орасидаги бурчаклари 60° эмас). Уларнинг иккаласи ҳам олти ёнли бўлишига қарамасдан симметриялик даражаси ҳам алоҳида-алоҳида шаклларидир. Бундай ҳол кубик синонияда яна ҳам яққолроқ кўзга ташланади.



43-расм.

Кристаллар шаклини ўрганиш қуйидаги тартибда амалга оширилади.

1. Дастлаб кристаллдаги симметрия воситалари аниқланади, аввало юқори даражали ўқлар, сўнг паст даражали ўқлар ёзилади, кейин симметрия текислиги, ундан кейин эса симметрия маркази қайд этилади.

2. Текшириб аниқланган симметрия воситаларига асосланиб, шаклининг қайси синф, қайси сингония ва қайси табақага мансуб эканлиги ёзилади.

3. Берилган кристалл шаклидаги ёнларининг неча турли эканлигига қараб, ундаги содда шаклларнинг сони аниқланади.

4. Ҳар бир турли ёнларнинг сони ва уларнинг симметрия воситаларига бўлган муносабати ўрганилиб, шу ёнлар ташкил қиладиган содда шаклларнинг ҳар бирига алоҳида-алоҳида ном берилади (43-расмга қаранг).

5. Синф-симметрия кўринишининг Герман-Моген бўйича белгилари, аввало жадвалдан қараб, кейинчалик геометрик мулоҳазаларга асосан ёзилади.

Бундай иш тартибини (мисол тариқасида) оддий куб шаклида кўрсатиш мумкин.

1. Симметрия воситалари: $3L_4\ 4L_3\ 6L_2\ 9PC$

2. Табақаси юқори, сингонияси кубик (2-жадвал), симметрия кўриниши (синфи) гексаоктаэдрли.

3. Ёнлари тўғри тўртбурчакли, квадрат кўринишда, битта содда ёпиқ шакл. Кристалл ёнларининг сони олтита, бир-бири билан тўғри бурчак ҳосил қилиб кесишади.

4. Шунга кўра бу шакл куб-гексаэдр бўлади.

5. m3m (3-жадвалдан олинади).

6. Ниҳоят, шу аниқланган симметрия воситаларининг текисликдаги тасвири чизилади.

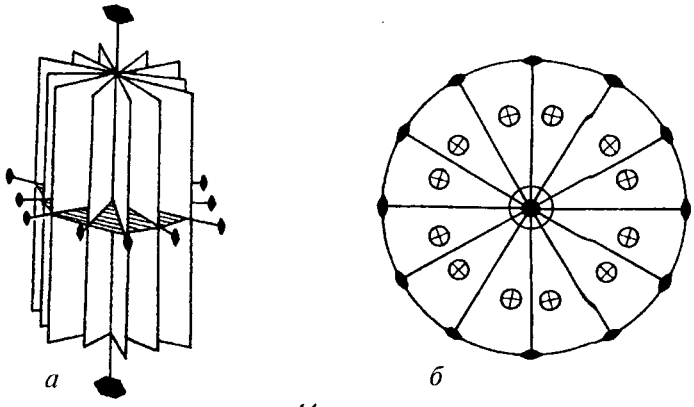
Кристалларда аниқланган мавжуд симметрия воситалари ва геометрик шаклларни текисликда тасвирлаш учун қуйидаги амаллар бажарилади.

а) Кристалл шаффоф шар марказига ўрнатилган деб, фараз қилинади.

б) Кристаллда аниқланган симметрия воситалари шу шар сатҳи билан кесишгунча давом эттирилади.

в) Кристалл ёнларига туширилган тик тўғри чизиқ шар сатҳи билан кесишгунча давом эттирилади.

г) Ўша тўғри чизиқнинг шар сатҳи билан кесишган ўрни (44-*а*, расм, майда доирачалар) белгилаб олинади;



44-расм.

д) Шар экватор чизиғи бўйича кесилади ва остки (жанубий қисми) ҳисобга олинмайди;

ж) Шарнинг юқори (шимолий қисми) текислик — қоғоз устига қўйилади ва шар сатҳидан симметрия воситаларининг тасвири текислик — қоғоз устига туширилади. Бунда: чизма устига тик йўналган симметрия ўқи нуқта, симметрия текислиги эса тўғри чизиқ шаклида тасвирланади; чизма устига қия йўналган симметрия ўқининг бир учи (шимолий шарнинг юқори қисмидаги учи) нуқта шаклида, симметрия текислиги эса ёй шаклида ифода этилади. Чизма сатҳига мос йўналишда ўтган симметрия ўқи тўғри чизиқ, симметрия текислиги эса айлана (шарнинг тасвири устига чизилган иккинчи чизиқ) шаклида кўрсатилади (44-*б*, расмда тасвирлашнинг шундай усули кўрсатилган).

III б о б

КРИСТАЛЛОГРАФИЯНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

Кристалларни муайян тартиб билан даврий жойлашган моддий нуқталардан — ион, атом ва молекулалардан иборат эканлиги энди ҳеч кимда шубҳа уйғотмайди. Моддий нуқталарнинг муайян тартибда мана шу даврий жойланиши ҳам шубҳасиз маълум қонуниятга асосланади. Демак, кристаллографиянинг энг биринчи, муҳим қонунини қуйидагича баён этиш мумкин: ҳар қандай кристалл фазода муайян тартибда маълум даврийлик қоидасига мувофиқ жойлашган моддий нуқталар — ион, атомлар тўпламидан иборатдир (1).

Бу қонун ҳозиргача кристалларда ва умуман кристаллография фанида маълум бўлган жамики қонуниятларнинг асосини ташкил этади, яъни у кристалларнинг ички даврий тузилиши қонуниятининг кўзга ташланадиган оқибатидир.

Жумладан, кристалларнинг симметриялик қонунини мана бундай баён этиш мумкин: ҳар қандай кристалл маълум даражада симметрик-нисбитенг жисмдир (2). Ҳар қандай кристалл ўхшаш — тенг бир хил хусусиятли моддий нуқталарнинг ёки нуқталар гуруҳининг чексиз, даврий такрорланиши натижасида юзага келар экан, ўша нуқталар ёки нуқталар гуруҳи орасида ўхшашлик, тенглик бўлиши му-

қаррардир. Мана шу моддий нуқталар ёки нуқталар гуруҳи орасидаги ўзига хос тенглик — ўхшашлик даражасини турли геометрик воситалар билан аниқлаш мумкин. Бу ҳақда қуйида батафсил тўхтаймиз.

Е. С. Федоров томонидан ишлаб чиқилган моддий нуқталарнинг фазода жойланишини акс эттирувчи тартиб юқорида баён этилган қонуниятнинг инкор этиб бўлмас оқибатидир. Уни қуйидагича таърифласа бўлади. "Ҳар қандай кристалланган жисм чексиз, даврий такрорланадиган моддий нуқталардан ташкил топгандир. Ана шу моддий нуқталарнинг фазода жойланиш тартиби Е. С. Федоров томонидан кашф этилган бўлиб, уларнинг сони 230 тадир. Бу тартиб — қонуният ҳозирги пайтда рентген нурлари ёрдамида батафсил текширилган ва исботланган.

Агар моддий нуқталар ион, атом ёки молекулалар маълум тартибда даврий равишда уч йўналиш бўйича чексиз такрорланар экан, ўша нуқталар аввал бир тўғри чизиқ бўйича, кейин эса икки ўлчамли текис юза бўйлаб жойлашади ва ниҳоят, муайян ҳажмга эга бўлган геометрик шакл ҳосил қилади.

Демак, кристалларнинг ўсиш назариясига мувофиқ кристаллар текис ёнлар ва ўша ёнлар кесишадиган тўғри чизиқ-қирралар билан чекланади. Бу тушунчага кристалларнинг текис ён ва тўғри қирралар билан чекланиш қонуни, деб ўз вақтида таъриф берилган эди. Шунингдек, кристаллнинг ёнлари ҳам ўзаро бир-бири билан кесишиб, қирра ҳосил қилади. Кристалларнинг ҳар қайси ёни бир неча ёнлар билан кесишар, яъни бир неча қирра ҳосил қилар экан, албатта уларнинг орасида бир-бирига мос йўналганлари ҳам бўлиши шарт. Мана шу бир хил йўналган қирралар билан кесишадиган кристалл ёнлари, кристалларнинг бир минтақадаги ёнлари дейилади. Бу тушунча ўз вақтида минтақалар қонуни сифатида ўрганилади.

Шунингдек, кристалларнинг ўсиш жараёни билан боғлиқ қонунлар ҳам мавжуддир. Жумладан, кристалларнинг ёнлари ретикуляр зичлиги катта бўлган юзалардан иборатдир. Бундан ташқари кристалл секин ўсган ёнлар билан чекланади, тез ўсган ёнлари ўсиш жараёнида йўқ бўлиб кетади, деган айният-қонунлар ўз моҳиятини ҳануз йўқотгани йўқ.

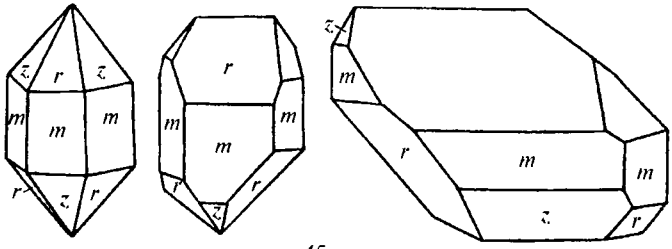
Булардан ташқари, кристалларнинг физик хусусиятлари билан ички тузилиши — симметрияси орасидаги боғланишни кўрсатувчи жуда кўп қонуниятлар ҳам борки, улар физикага оид қонунлар сифатида физика фанида батафсил ўқитилади. Жумладан, Кулон, Ом, Максвелл, Брюстер, Гук қонунлари каби қонунлар шулар жумласидандир.

Бу қонунлар ўз вақтида кристаллар ҳақидаги фаннинг юзага келиши ва тараққиёти давомида жуда катта аҳамият кашф этган бўлиб, ҳануз илм аҳли томонидан тан олиб келинмоқда. Мавзу қамровининг чекланганлиги инобатга олиниб, бу қонунларнинг батафсил таърифи ва исботи ушбу дарсликда келтирилмайди; лекин шунга қарамай кристалларни аниқлаш, батафсил тадқиқ этиш, таърифлашда кенг қўлланиладиган икки асосий қонун устида батафсил тўхталиб ўтамиз.

1. Бутун сонлар қонуни ва кристаллографик белгилар

Мураккаб шаклли кристалларни ўрганишда уларнинг симметрия воситаларини ва қандай содда шакллардан таркиб топилганлигини аниқлаш билан бирга шу содда шаклларнинг ўзаро бирининг иккинчисига ва симметрия воситаларига нисбатан тутган ўрни — ҳолатини ҳам белгилаш талаб этилади. Бундай маълумотга эга бўлмасдан туриб, кристалл шаклини ташкил этувчи содда шаклнинг номига қараб, унинг ташқи қиёфаси ҳақида тўлиқ тасаввурга эга бўлиш мумкин эмас: бир хил симметрия кўринишига эга, шунингдек бир турли содда шакллардан ташкил топган. Лекин ташқи кўриниши бутунлай бошқача бўлган кристалл шаклларининг жуда кўпини бунга мисол қилиб кўрсатиш мумкин. 45-расмда кўрсатилган шакллар ўзаро таққосланганда ҳам шу фикрни тасдиқловчи хулосага келиш мумкин.

Кристалл шаклларида иштирок этаётган содда шаклларни бир-бирига нисбатан тутган ўрнини, шунингдек, симметрия воситаларига нисбатан қандай жойлашганлигини аниқлаш учун кристаллографик ўқлар ва кристаллографик белгилар (символлар) деган тушунчалардан фойдаланилади. Бу тушунчалар франциялик олим Рене Жюст Аюи томони-



45-расм.

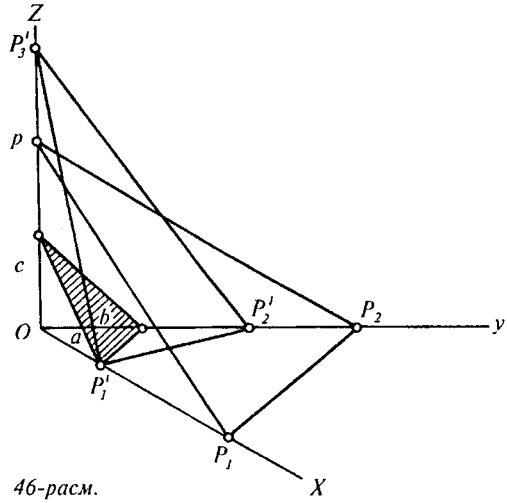
дан кашф этилган кристаллографиянинг иккинчи асосий қонунига асосланади.

Бутун сонлар қонуни. Минералогия ва кристаллография профессори Р. Ж. Аюи кристалларнинг ички тузилиши соҳасида ва кальцит кристалли устида олиб борган кузатишлари натижасида кристаллар параллелопипедлар шаклидаги заррачалардан ташкил топган деган хулосага келади. Шу назарияга асосланиб, у бутун сонлар қонуни ёки "мутаносиб нисбатлар қонуни" деб аталган қонунни кашф этди. Бу қонун қуйидагича талқин этилади. Кристаллнинг бир нуқтада тўқнашувчи қирраларни кесиб ўтган иккита параллел эмас ёнининг шу қирралар бўйича олинган параметр (ўлчам)ларининг қўш нисбати доимо бутун ва кичик сонлардир.

Тушуниш осонроқ бўлиши учун учта бир нуқтада тўқнашадиган қирраларни математикада қўлланадиган координата ўқлари билан мос равишда *x, y, z* каби белгилаймиз. Кристаллнинг танланган икки ёни шу ўқларнинг муайян кесмаларини ҳосил қилади (46-расм). Кристаллнинг биринчи ёни $p_1^| p_2^| p_3^|$ координата ўқлари *x, y, z* бўйича $op_1^|, op_2^|, op_{3|}^|$ кесмаларини ҳосил қиладики, бу шу ённинг ўлчамларидир. Иккинчи ёни p_1, p_2, p_3 ҳосил қилган шундай — op_1, op_2, op_3 иккинчи ён ўлчамларидир. $op_1 : op_2 : op_3$ биринчи ён ва $op_1 : op_2 : op_3$ — иккинчи ён параметрларининг ўзаро нисбати бўлиб, бу нисбатларнинг қиймати одатда номутаносиб каср сонларга тенг. Лекин юқорида таъриф этилган қонунга кўра шуларнинг қўш нисбати $\frac{op_1}{op_1^|} : \frac{op_2}{op_2^|} : \frac{op_3}{op_3^|} = p : q : r$

p, q, r — бутун кичик сонлардир.

Маълумки, юқорида *x, y, z* — координата ўқлари билан мос қўйилган кристалларнинг қирралари фазовий панжара



46-расм.

қаторлари билан бир-бирига мос бўлади. Кристаллнинг p_1, p_2, p_3 ва $p_1^I p_2^I p_3^I$ ёнларининг юзаси эса фазовий панжаранинг текис тўрларидир. Шундай экан, кристалл ёнининг ҳар қайси қирра, ўқи (координата ўқи) бўйича олинган ўлчами қолдиқсиз бутун сонга бўлинувчи умумий ўлчов бирлигига эга.

Рентген нури кашф этилишидан олдин, кристаллнинг ички тузилиши қонуниятлари батафсил текширилмасдан тахминларга асосланиб, кашф этилган бу қонун ҳозиргача ўз моҳиятини йўқотгани йўқ. Кристалл шаклларини белгилаш — символларини аниқлаш билан бир қаторда кристаллнинг эҳтимолда тутилган ёнларини назарий тасаввур этиш ҳам шу қонунга асосланади. Бунинг учун кристаллнинг қандайдир ён текислигини танлаб олиб, шу ён билан параметрларнинг қўш нисбати бутун кичик сон қийматига тенг бўлган бошқа ённинг қандай ҳолатда ўтишини ҳисоблаб чиқиш ва тасаввур этиш мумкин. 46-расмда *а, в, с* параметрларга эга юза (чизиқчалар билан белгилаб қўйилган текислик) ана шундай эҳтимол тутилган ёнлардан иборатдир, чунки улар параметрларининг қўш нисбати 1 : 2 : 1 шаклида бўлиб, юқорида қайд этилган қонунга мос келади.

2. Кристалл ёнларининг белгилари

Кристалл ёнларининг фазодаги ҳолатини аниқ белгилаб берадиган рақамлар индекс (сон) лар ёки белгилар (символлар) деб аталади.

Кристалл ёнларининг символларини аниқлашда хилмахил усуллардан фойдаланиш мумкин. Қуйида фойдаланиш учун қулай бўлган ва амалда нисбатан кенг қўлланиб келинаётган Миллер символлари тўғрисида тўхталиб ўтамиз.

Миллер символларини ҳосил қилиш учун Р. Ж. Аюи қонуни учун тузилган нисбатнинг акси олинади, яъни биринчи ён параметрларнинг иккинчи ён параметрларига нисбати олинади. Индексларни ҳосил қилувчи ҳар бир сон Миллер томонидан 1889 йили "индекслар" деб аталган. Бунда op_1, op_2, op_3 бирлик ўрнида қабул қилинган ягона ён параметрлари op_1, op_2 ва op_3 символлари аниқланиши лозим бўлган ён параметрларидир:

$$\frac{1}{\frac{op_1}{op_1^1}:\frac{op_2}{op_2^1}:\frac{op_3}{op_3^1}} = \frac{op_1^1:op_2^1:op_3^1}{op_1:op_2:op_3} = h, k, l$$

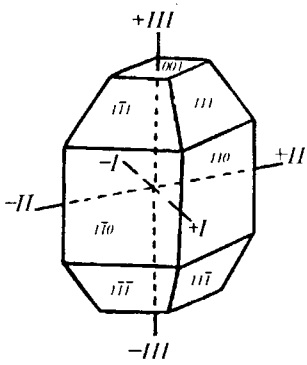
Кристалл ёнларини белгилаш учун аввало бирлик деб қабул қилиш мумкин бўлган ягона ён билан кесишадиган учта бир нуқтадан ўтадиган қирралар билан (юқорида координата ўқлари деб қабул қилинган) мос йўналиш — кристаллографик ўқлар танланади ва уларнинг бири — x, кузатувчи томон йўналган, иккинчиси — y, кузатувчига параллел, учинчиси — вертикал йўналган тарзда қўйилади. Кристаллографик ўқларнинг кесишган нуқтасидан олдинги, ўнг ва устки томонидаги учлари мусбат, қарама-қарши учлари эса манфий ишора билан белгиланади.

Кристалл ёнларининг ҳолатини белгилашда ён ўлчамлари нисбати шу ённинг кристаллографик ўқлар устида ҳосил қилган кесмаси нисбатан билан ҳам аниқланади. Кристалл ёнларининг x ўқи бўйича кесмаси a, y ўқи бўйича кесмаси — b ва z ўқи бўйича кесма с билан белгиланади. Уларнинг нисбати эса $a : b : c$ шаклида ёзилади.

Демак, кристалл ёнлари ҳолатини аниқ тасаввур этиш учун аввало кристаллографик ўқларни танлаш, улар ораси-

даги бурчакларни билиш ва шу ённинг кристаллографик ўқлар устида ҳосил қилган кесмалари нисбатини аниқлаб олиш керак.

47-расмда кристаллографик ўқларнинг ҳолати ва улар орасидаги бурчакларни белгилаш тартиби кўрсатилган бўлиб, қуйида уларни татбиқ этишга оид масалалар келтирилган.



47-расм.

Кристаллнинг берилган ёни I-*x*, II-*y*, ва III-*z* ўқларини кесиб, мос равишда *а* : *в* : *с* кесмалар нисбатини ҳосил қилар экан, бундай ённинг симметрия воситалари атрофида такрорланиши натижасида пирамида ҳосил бўлади, шунга кўра у пирамидал ён деб айтилади.

Ён ҳосил қилган қийматнинг биронтаси катталаша бориб, чексиз қийматга тенг, яъни, масалан, *а* : *в* : ∞ (с = ∞) бўлиб қолади, у ҳолда бу ённинг симметрия воситалари атрофида такрорланиши призма ҳосил қилади ва бундай ён призматик ён деб аталади, (110) — шундай призматик ён бўлади.

Кристалл ёнларини бирортаси кристаллографик ўқлардан иккитаси бўйича чексиз қийматга тенг кесмалар ҳосил қилиб, яъни ∞ : ∞: *с* каби нисбатларда кесишар экан, бундай ёнлар пинакоидал ёнлар деб аталади (001 — пинакоидал ён).

Бундан ташқари, шу ёнлар ўзининг кристаллографик ўқларга нисбатан тутган ўрнига қараб ҳам турлича бўлиши мумкин. Масалан, тик йўналган призматик ён (110)— *z* ўқига параллел, *x* ва *y* ўқларини кесиб ўтади.

Бўйлама (кўндаланг) призматик ён (011) — *x* ўқига параллел *y* ва *z* ўқларини кесиб ўтади.

Энлама призматик ён (101) — *y* ўқига параллел *x* ва *z* ўқларини кесиб ўтади.

Асос пинакоид (биринчи тартибли пинакоид) (001) *z* ўқини кесиб x ва y ўқларига параллел ўтади.

Ёнлама пинакоид (иккинчи тартибли пинакоид (010) *y* ўқини кесиб, *x* ва *z* ўқларига параллел ўтади.

Олдинги пинакоид (биринчи тартибли пинакоид) (100) x ўқини кесиб, z ва y ўқларига параллел ўтади.

Демак, кристаллографик ўқлардан бирортасига параллел ўтган кристалл ёнининг шу ўқ бўйича ҳосил қилган кесмаси чексиз қийматга эга, унинг индекси Миллер бўйича 0 га тенг. Шунинг учун призматик ёнлар қуйидаги индекслар: (110) ва ($\bar{1}$10); (101); ва ($\bar{1}$01) (011) ва (011): пинакоидларнинг ёнлари (001); (010) ва (100) каби индекслар билан белгиланади. Кристалл ёни кристаллографик ўқларнинг манфий учларини кесиб ўтар экан, шу ён индексларнинг устига манфийлик ишораси (–) қўйилади.

Кристалл ёнлари индексини кристалл шакли индексларидан фарқ қилиш мақсадида биринчилари оддий қавс ичига, иккинчилари эса катта қавс ичига олинади ва қуйидагича: кристалл ёнлари символи (III) кристалл шакли символи {III} кўринишида ёзилади.

1. Кристаллографик ўқларни танлаш. Юқорида келтирилган тушунчалардан маълум бўладики, кристалл ёнларининг символлари шу кристалл учун танлаб олинган кристаллографик ўқлар йўналишига боғлиқ бўлиб, танланган ўқлар йўналишининг ўзгариши билан мос равишда кристалл ёни символларини турлича ёзиш мумкин. Фанда мана шундай хилма-хилликка йўл қўймаслик мақсадида кристаллографик ўқларни танлаш учун халқаро миқёсда қабул қилинган умумий тартиб бор. Бу тартибни кўпинча кристалларни ўрнатиш (кристаллографик ўқларга нисбатан қўйиш) тартиби ёки усуллари деб аталади.

Кристалларнинг ҳар бири учун танлаб олинадиган кристаллографик ўқларнинг йўналиши ва шу йўналишлар орасидаги бурчаклар, ниҳоят кристалл ёнининг шу ўқлар устида ҳосил қилган кесмаси ҳам ҳар қайси сингония кристаллари учун хос тартибда бўлади. Сингония деган атаманинг ўзи ҳам мана шу кристаллографик ўқлар йўналиши орасидаги бурчакларнинг ўхшашлигидан олинган бўлиб, ўхшаш (тенг) бурчакли, деган маънони англатади.

Кристаллографик ўқлар орасидаги бурчаклар γ ($<yoz$), β($<xoz$), γ(xoy) каби юнон ҳарфлари билан белгиланади.

Кристаллографик ўқларни танлаш симметриялик даражаси паст ва юқори, шунингдек, тетрагонал сингония кристалл шаклларида бўлакча, тригонал ва гексагонал сингонияга мансуб кристалл шаклларида эса янада бошқачароқдир. Бу сингониялар кристалл шаклларида кристаллографик ўқларни танлаш анча мураккаб.

1. Симметриялик даражаси паст кристалл шакллари учун кристаллографик ўқларни танлаш. Маълумки, триклин сингонияда, шу сингонияга мансуб кристалл шаклларида симметрия воситаларидан фақат биринчи даражали симметрия ўқи — I билан симметрия маркази $\bar{1}$ бўлиб, йўналиши кристаллографик ўқлар билан мос келадиган симметрия воситаларини топиш мумкин эмас. Шунга кўра кристаллографик ўқларнинг йўналиши тўғри бурчак (90°) га яқин бурчак билан кесишувчи, бир текисликда ётмайдиган учта қирралар йўналиши билан мос қўйилади. Шу билан бирга ўша учта кристаллографик ўқни кесиб ўтадиган ҳар қандай ён ягона ён бўлади. Бунда кристаллографик ўқлар орасидаги бурчак, юқорида айтилганидек, 90° га тенг бўлмайди, яъни $\alpha \neq 90°$; $\beta \neq 90°$; $\gamma \neq 90°$. Бу сингонияни триклин (три-уч, клин-қийшиқ) деб аталишининг ҳам сабаби шундадир.

Ягона ённинг танланган кристаллографик ўқлар бўйича ҳосил қилган кесмалари: ox ўқи бўйича — a, яъни oy ўқи бўйича — b, z ўқи бўйича с кесмалари ҳам бир-бирига тенг эмас, яъни $a \neq b \neq c$. Бу тенгсизликдаги b – 1 деб қабул қилинади ва $y\ a : 1 : c$ нисбати шаклида ёзилади (48-расм).

Демак, триклин сингония кристалл шаклларини ўрганишда бешта қиймат — α; β; γ бурчакларни ва a_o билан c_o кесмалари узунлигини (b_o га нисбатан) аниқлаш керак (4-жадвал).

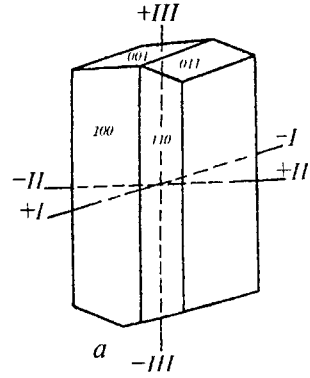
Моноклин сингония кристалл шакллари учун кристаллографик ўқларни танлаш. Бу сингония кристалл шаклларида тасаввур этиладиган иккинчи даражали симметрия ўқи 2 ёки m симметрия текислигига тик йўналиш иккинчи кристаллографик ўқ, яъни y ўқи йўналиши билан мос қўйилади. Қолган ўқлар, яъни x билан z ўқи билан иккинчи даражали симметрия ўқига тик йўналишда ёки симметрия те-

4-жадвал

Кристаллографик ўқларни танлаш

Сингония	Кристаллографик ўқлар	Ягона ёни
Триклин	*x, y, z* ўқлари Ҳақиқий ёки бўлиши мумкин бўлган қирралар билан мос танланади. *z* ривожланган ёнлари билан мос қўйилади: $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	Ягона ёнининг кристаллографик ўқлар бўйича ҳосил қилган кесмалари тенг эмас: $a \neq b \neq c$
Моноклин	*y* ўқи *z* билан мос m га тик йўналган бўлади.x, *z* ўқлари y ўқига, ҳақиқий ёки бўлиши мумкин қирраларига мос қўйилади.z ўқи доимо тик йўналган бўлади: $a \neq \gamma 90^\circ \neq \beta$	Ягона ёнининг кристаллографик ўқлар бўйича ҳосил қилган кесмалари тенг эмас: $a \neq b \neq c$
Ромбик	*x, y, z* ўқлари ягона йўналишга мос қўйилади.Бу учта ўқ учта 2 билан ёки битта 2 бўлса (*z*) билан мос, иккитаси икки m га тик олинади: $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ягона ёнининг кристаллографик ўқлар бўйича ҳосил қилган кесмалари тенг эмас: $a \neq b \neq c$
Тетрагонал	*z* ўқи билан 4 ёки мос қўйилади.x ва y ўқлари z ўқига тик йўналган текислик устида 2 бўйича, ёки m га тик ёки ҳақиқий ёки бўлиши мумкин бўлган қирраларга тик ёки мос равишда танланади: $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	x ва y ўқлари бўйича тенг, ҳам *z* ўқи бўйича унга тенг эмас кесмлар ҳосил қилади: $a = b \neq c$
Тригонал ҳамда гексагонал	*z* ўқи 6, $\bar{6}$, 3, $\bar{3}$ ўқлари билан мос қўйилади, x, *y, u* ўқлари *z* га тик йўналган текислик устида, 2 устидан, m га тик, бўлиши мумкин бўлган ҳақиқий қирраларига мос равишда танланади.	Ягона ёни иккита z ўқига тик йўналган ўқлар бўйича тенг, лекин *z* га тенг эмас кесмалар ҳосил қилади, учинчи ўқ горизонтал ўқларнинг бирига мос ёки бошқа ўқлар ҳосил қилган кесманинг 1/2 улушига тенг кесма ҳосил қилади.
Кубик	*x, y* ва *z* ўқлари $3L_4$, $3L_2$ ёки $3L_2^4$ билан мос қўйилади. $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	*x, y* ва *z* ўқлари бўйича тенг кесмалар ҳосил қилади. $a = b = c$

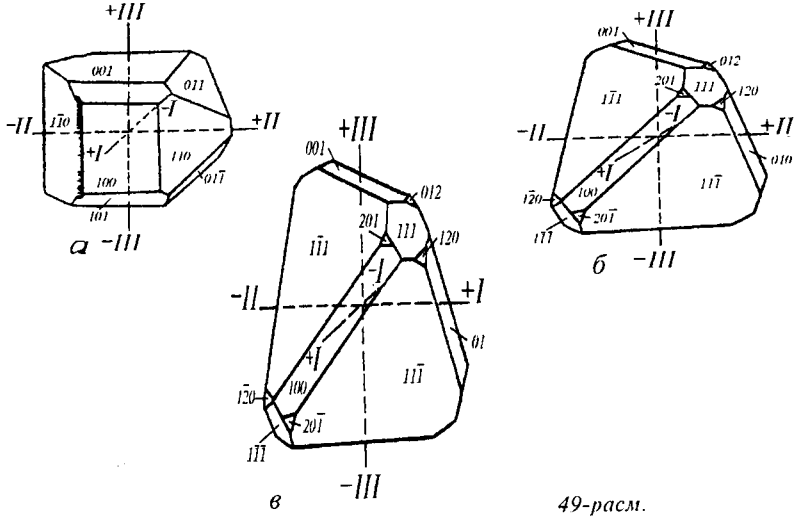
кислиги устида кристаллнинг мавжуд, ёки бўлиши мумкин бўлган қирраларига мос йўналишда танланади. Шундай танланган ўқлар орасидаги бурчаклар: $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$ каби ёзилади. Шунга кўра бу сингония моноклин (моно — бир, клин — қийшиқ, бир ўқи қийшиқ) дейилади. Ягона ённинг ўқлар устида ҳосил қилган кесмаси бир-бирига тенг эмас: $a \neq 1 \neq c$ (49-расм).



48-расм.

Кейинги пайтларда 2-симметрия ўқи z билан мос қўйила бошланди. Шу усул қўлланилганда призма ёки диэдр ёнларидан бири ягона ён деб қабул қилинади.

Ромбик сингония кристалл шаклларида кристаллографик ўқларни танлаш учун шу сингония кристалл шаклларида тасаввур этилган учта иккинчи даражали симметрия ўқи йўналиши кристаллографик ўқлар йўналиши билан мос қўйилади. mm2 — симметрия кўринишида иккинчи даража-

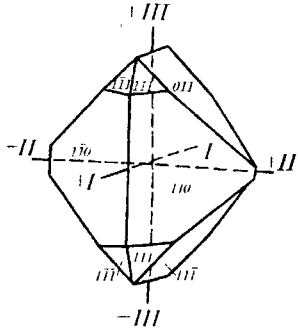


49-расм.

ли симметрия ўқи z билан мос қўйилади, иккита симметрия текислигига тик йўналишда биринчи ва иккинчи (x ва y) кристаллографик ўқлар танланади. Маълумки, шу сингония кристалларида 2 2 2 ва mm2 симметрия воситалари ўзаро тўғри бурчак ҳосил қилиб кесишади. Демак, $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. Ромбик пирамида, дипирамида ёки тетраэдр ёнларидан бири ягона ён деб қабул қилинади. Ягона ённинг координата ўқлари бўйича ҳосил қилган кесмаси $a : 1 : c$ бир-бирига тенг эмас, яъни $a \neq b \neq c$.

Бундай кристаллар шаклининг кўпида кўндаланг кесими ёки асоси ромб қиёфасида бўлади ва шунга кўра бу сингония ромбик сингония дейилади (50-расм).

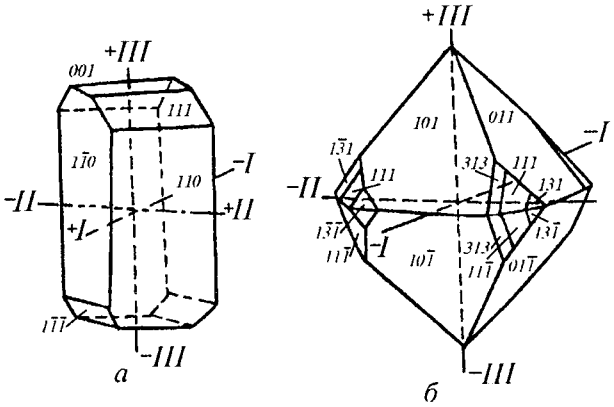
2. Ўрта табақа кристалл шакллари учун кристаллографик ўқларни танлаш. Тетрагонал сингонияда III-z ўқи тасаввур этиладиган бирдан бир юқори даражали симметрия ўқи — 4 ёки $\bar{4}$ билан мос қўйилади ва асосий кристаллографик ўқ деб аталади. I-x ва II-y ўқлари эса иккинчи даражали симметрия ўқларининг бир-бирига тик йўналган иккитаси билан мос, шундай симметрия ўқлари бўлмаган кристалл шаклларида симметрия текислигига тик, улар ҳам бўлмаган шаклларда кристаллнинг мавжуд ёки бўлиши мумкин бўлган қирраларига мос равишда танланади. Маълумки, бу сингония кристалл шаклларида иккинчи даражали симметрия ўқлари — ўзаро ва юқори даражали 4 $(\bar{4})$ симметрия ўқи билан 90° бурчак ҳосил қилиб кесишади. Демак, $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ бўлади. Тетрагонал пирамида ёки тетраэдр ёнларидан бири ягона ён деб белгиланади (4-жадвал).



50-расм.

Танланган ягона ён x ва y бўйича тенг ҳамда z ўқи бўйича уларга тенг эмас кесмалар ҳосил қилади, яъни $a = b \neq c$. Юқорида таъкидланганидек $b = 1$ бўлар экан, у ҳолда шу кесмалар нисбати $1 : 1 : c$ шаклида ёзилади.

Бунда c бирдан-бир аниқланиши лозим бўлган геометрик қийматдир. Шу сингонияга мансуб кристалл шаклларининг кўндаланг кесими тўғри тўрт бурч акли, яъни



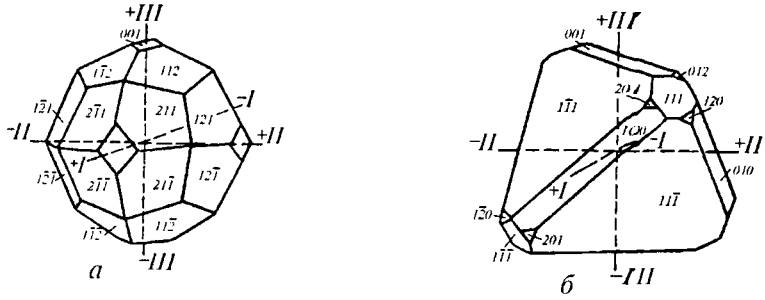
51-расм.

квадрат қиёфасига эга бўлиб, шунинг учун тетрагонал (тетра — тўрт, гония — бурчак) ёки баъзан квадрат сингония деб аталади (51-расм).

Тригонал ва гексагонал сингониялар учун кристаллографик ўқларни танлашнинг алоҳида усули юқори табақадан кейин таърифланади.

3. Юқори табақа кристаллари учун кристаллографик ўқларни танлаш. Кубик сингония кристалл шаклларида тасаввур этиладиган учта тўртинчи даражали 4 ёки булар бўлмагани ҳолда, учта иккинчи даражали — 2 ёки тўртинчи даражали инверсион — $\bar{4}$ симметрия ўқлари кристаллографик ўқлар билан мос қўйилади. Демак, бу симметрия ўқлари ўзаро $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ каби бурчак ҳосил қилиб кесишади (4-жадвал).

Октаэдр ёки тетраэдр ёнларидан бири ягона ён деб қабул қилинади. Ягона ён ҳамма кристаллографик ўқлар бўйича тенг кесмалар ҳосил қилиб кесишади, яъни $a = \beta = c$. Шу кесмалар нисбати $в = 1$ эканлигини ҳисобга олсак, бу нисбат 1 : 1 : 1 шаклида ёзилади. Бунда симметрия ўқларининг қайси бирини, қайси кристаллографик ўқ билан мос қўйишдан қатъий назар, натижа бир хил бўлиб чиқаверади, чунки бу ўқлар геометрик тенг қийматли йўналишлар билан мос ўтади (52-расм).

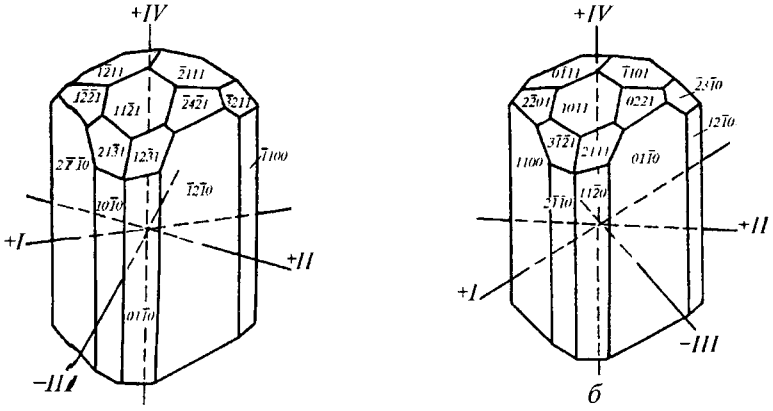


52-расм.

Юқорида таърифи келтирилган бошқа сингонияларда бундай эмас, масалан, ромбик сингония кристалл шаклларидаги иккинчи даражали ўқларнинг биринчисини аввал *x*, кейин *y* ёки *z* ўқлари билан мос қўяр эканмиз, шу кристалл шакл ёнларининг символи аввал бошқа, кейин эса яна бошқача бўлиб чиқади. Чунки бу ромбик сингония кристалл шаклларидаги иккинчи даражали ўқларнинг тенг қимматли эмаслиги оқибатидир. Бу эса, ўз навбатида, кристалларнинг ички қонуний тузилиши — фазовий панжара элементар ячейкасининг қиёфаси билан боғлиқдир. Ромбик сингония кристалл шаклларидаги симметрия ўқларининг қайси бирини *y* ўқи билан мос қўйиш кераклиги анча мураккаб масаладир. Бу ҳақда махсус китоблардан маълумот олиш мумкин.

4. Тригонал ва гексагонал сингония кристалл шакллари учун кристаллографик ўқларни танлаш.

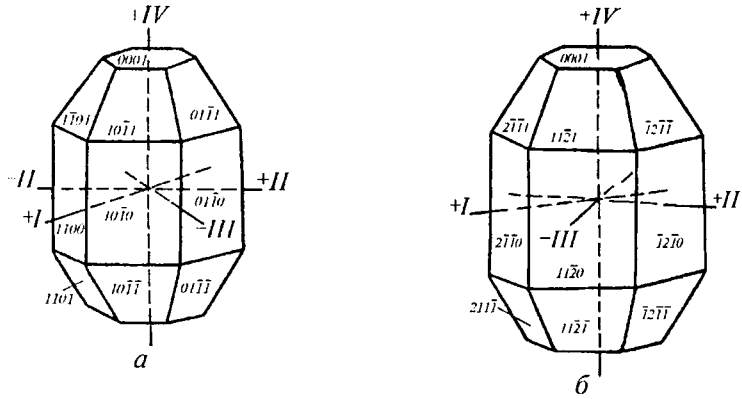
Бу сингонияларга мансуб кристалл шакллари учун кристаллографик ўқларни танлашда аввалгиларига қараганда бошқачароқ йўл тутилади. Юқорида кўриб ўтилганидек, кристаллографик ўқлар симметрия ўқлари йўналиши билан, яъни Р. Ж. Аюи қонунига кўра, бир нуқтада кесишадиган қирралар йўналиши билан мос қўйилиши керак. Шунга кўра 4-симметрия ўқи тетрагонал сингония кристалл шакллари учун олингани каби бу сингония кристалларида *z* ўқи 6, ёки 3, ёки $\bar{3}, \bar{6}$ симметрия ўқлари йўналиши билан мос қўйилади (53-расм). Маълумки, бу сингониялар кристалл шаклларида шу асосий ўқларга нисбатан тик йўналган иккинчи даражали ўқларнинг сони учта (масалан, ром-



53-расм.

боэдрик симметрия кўринишида ёки олтита (масалан, дигекса гонал — дипирамидал симметрия кўринишида) бўлиб, улардан тўғри бурчак ҳосил қилиб кесишадиган иккитасини та нлаб олиш ва уларни кристаллографик ўқлар деб аташ мумкин эмас, чунки бу ўқларнинг ҳаммаси ҳам 60° ёки 120° ли бурчак бўйича кесишадиган тенг қийматли йўналишдир. Шу сингониялар кристалл шаклларнинг ўзига хос симметриялик даражасига мувофиқ кристаллографик ўқларни та нлашда қуйидаги усуллардан фойдаланиш мумкин.

1. Бравэ усули. Бравэ томонидан таклиф этилган шу усулга кўра юқори даражали симметрия ўқи (6 ёки 3, 6, ёки $\bar{3}$) йўналиши *z* ўқи йўналиши билан мос қўйилади. Унга тик йўналган *x* ва *y* ўқлар ўрнига иккинчи даражали ўқларнинг учтаси тўғри келади (54-расм). Буларнинг иккитаси *x* ва *y*, учинчиси *y* ҳарфи билан белгиланади. Агар кристалл шаклида 2 ўқлари мавжуд бўлмас экан, у ҳолда *x, y, z* ўқлари ўзаро 60° ли бурчак ҳосил қилинадиган қирралар бўйича ёки шундай йўналган симметрия текисликларига тик йўналишда олинади. Бу ўқларнинг ҳаммаси *z* ўқига тик йўналишда бир текисликнинг ўзида жойлашган бўлиб, ўзаро 120° ли бурчак ҳосил қилиб кесишади. Демак, тригонал ва гекса гонал сингониялар учун танланган кристаллографик ўқларнинг сони тўртта бўлиб, улардан биринчиси *x*, кузатувчисининг чап томонидан, иккинчиси — *y*, кузатувчига параллел ва учинчиси — *y* эса, кузатувчининг ўнг томони-



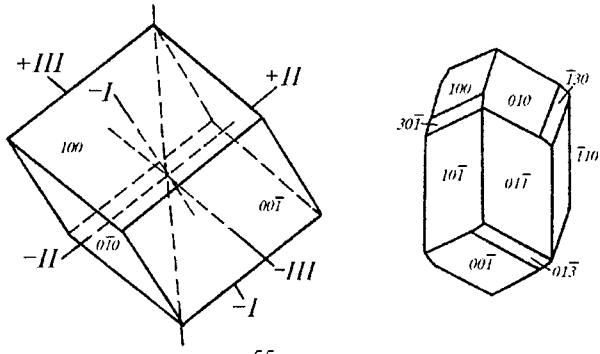
54-расм.

дан ўтади. Шу танланган кристаллографик ўқлар орасидаги бурчаклар $\alpha = \beta = 90°$, $\gamma = 120°$ ва ягона ённинг шу ўқлар бўйича ҳосил қилинган кесмалар орасидаги нисбат боғланиш $a = b = c$ (1 : 1 : c) шаклида ёзилади (4-жадвал).

II. Федоров усули. Бу усулда ҳам кристаллографик ўқлар Бравэ усулидаги каби танланади, лекин улар бошқача тартиб билан белгиланади. Юқори даражали ўқ билан мос қўйилгани биринчи (I), кузатувчи томон йўналгани учун (III), кузатувчининг чап томонидан ўтгани тўртинчи (IV) ва ўнг томонидан ўтгани иккинчи (II) деб қабул қилинади.

III. Миллер усули. Бу усулга кўра кристаллографик ўқлар учта ўзаро тенг бурчак ҳосил қилиб кесишувчи қирралар йўналиши билан мос қўйилади. Бу қирралар юқори даражали симметрия ўқи билан ҳам тенг бурчаклар ҳосил қилиб кесишади. Шундай экан, бошқа сингониялар учун қабул қилинган тартиб, яъни кристаллографик ўқларни симметрия воситалари билан мос қўйиш тартиби бу сингониялар учун бузилади. Шунга қарамай бу усул тригонал сингония кристаллари учун қўлланилади ва баъзан ромбоэдрик усул, деб ҳам аталади. Юқорида келтирилган тартибга кўра қиймат нисбати $a = b = c$.

$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$ бўлиб, улар Бравэ усулидагига қараганда бутунлай бошқачадир. Шу икки усул билан аниқланган ённинг икки хил символлари орасида математик боғланиш



55-расм.

бор, яъни уч индексли символдан тўрт индексли символга (ва аксинча) математик йўл билан ўтиш мумкин (55-расм).

Кристалл қирраларининг символлари. Кристалл ёнларининг символлари билан бир қаторда қирраларининг символларини ҳам аниқлаш талаб этилади. Бу кристалларнинг бўлиши мумкин бўлган ёнларини тасаввур этиш учун шундай ённинг кристаллографик ўқларга нисбатан тутган ўрни мавқеини аниқлаш учун ёрдам беради. Бунинг учун кристалларнинг қирраси кристаллографик ўқларнинг бошланғич нуқтасигача йўналишини ўзгартирмай кўчирилган деб тасаввур этилган ва унинг символлари ана шу кўчирилган қирра учун танланган кристаллографик ўқлар бўйича аниқланади.

Кристалл қирралари символлари учун шу қирра параметрларининг нисбати олинади ва улар квадрат қавсдаги [r, s, t] каби ёки индексларнинг сон қийматлари аниқланганда [324] шаклда ёзилади.

Қирра ва шу қирра билан кесишадиган ён индекслари орасидаги муносабат

Кристалл ёнининг ва шу билан кесишувчи ёки мос йўналган қиррасининг индекслари орасида оддий боғланиш мавжуддирки, бу ҳам кристаллни ҳисоблаш ишида ниҳоятда муҳим аҳамиятга эга.

Кристалл ёнининг символи *h, k, l* ва шу ённи кесувчи қирранинг символи *r, s, t* бўлар экан, у ҳолда булар ораси-

даги боғланишни қуйидагича тасаввур этиш мумкин: $hr + ks + lt = 0$.

Кристалл ёнининг индекслари билан шу ённи кесувчи қирра индекслари кўпайтмасининг йиғиндиси 0 га тенг.

Бу қоиданинг нечоғлик ҳаққоний эканлигини қуйидаги мисолдан ҳам кўриш мумкин. Октаэдрнинг ихтиёрий танланган ABC ёни (III), AB қирраси эса 110 каби символларга эга. Шу символларнинг мос ҳадлари бир-бирига кўпайтирилиб, кейин қўшилади:

$$(1.1) + (1.1) + (1.00) = 110.$$

Кристаллнинг мос ёнлари орасидаги бурчакларнинг доимийлик қонуни (стенон қонуни) ва кристалларни ўлчаш

Кристалл ёнларининг ўсиш тезлиги ва ниҳоят унинг ташқи қиёфаси аввал айтиб ўтилганидек, шу кристалл ривожланаётган муҳитга, яъни ҳарорат, босим, эритманинг қуюқ-суюқлиги ва бошқа сабабларга боғлиқ равишда хилма-хил бўлиши мумкин. Табиатда шундай моддалар (сунъий моддалар) ҳам борки, муҳит билан боғлиқ равишда бошқа-бошқа симметрия кўринишлари — сингонияларга мансуб кристалл шакллари ҳосил қилади. Масалан, карбон–гексагонал сингонияда графит шаклида (нисбатан паст босим ва паст ҳароратда) ҳам кубик сингонияда олмос шаклида (юқори босим ва юқори ҳароратда) кристалланади. Лекин кўпинча бир сингонияда бир симметрия кўринишига мансуб бўлган кристалл шаклининг ўзи ҳам ташқи муҳит билан боғлиқ равишда турлича қиёфаларга эга бўлиши мумкин.

Шунингдек, кристалларнинг геометрик шакли уларнинг ички тузилиши билан боғлиқ равишда ҳар хил бўлади.

45-расмда кварц кристалининг турли қиёфалардаги шакли кўрсатилган. Шу кварц (SiO_2) билан гематит (Fe_2O_3) кристалларнинг турли қиёфадаги шакллари устида олиб борган кузатишларга асосланиб, даниялик олим И. Стенон 1669 йили биринчи бўлиб бир хил модда кристалл шаклларининг мос ёнлари орасидаги бурчагининг доимий ўзгармас эканлигини ўлчамасдан аниқлади.

Бу қонуннинг бошқа модда кристаллари учун ҳам тааллуқли эканлиги 1783 йили француз олими Ж. Б. Роме де Лил томонидан кашф этилган эди.

Ёнма-ён қўйилган бир модданинг бир хил муҳитда ўсган кристалларининг бир хил йўналган қирралари билан чекланган ёнлари мос ёнлардир.

Олдинги бобларда айтганимиздек, буюк рус олими М. В. Ломоносов 1749 йили селитра кристалл шакллари учун мос ёнлар орасидаги бурчакнинг доимийлигини аниқлади ва уни ўзи кашф этган кристалларнинг ички тузилиши назарияси билан асослаб берди. Унинг бу назарияси кристалларнинг ички тузилиши ҳақидаги ҳозирги замон тушунчаларига жуда яқин келади. Кейинчалик 1763 йили М. В. Ломоносов кристалл ёнлари орасидаги бурчакларни аниқ ўлчаб, бу қонунни олмос кристалларида ҳам исбот этди.

Франциялик минеролог олим Ромэ Делил бу қонуннинг жуда кўп модда кристаллари учун тааллуқли эканлигини исбот этади. Бунинг учун у шогирди Каранжо томонидан кашф этилган махсус асбоб гониометрдан фойдаланиб, кристалл ёнлари орасидаги бурчакларни аниқ ўлчади. Ромэ Делил шу бурчакларнинг ўзгармас — доимийлигини ўз даврида Стенон қонуни деб атаган эди. Бу ном фанга сингиб кетди: ҳозир ҳам шундай деб юритилади. Бу қонунни юқоридаги мулоҳазаларга кўра қуйидагича баён қилиш мумкин: Бир модданинг муайян шароитларда юзага келган бир хил қиёфадаги кристалл шаклларининг мос ёнлари (қирралари) орасидаги бурчаги ўша кристаллнинг ташқи қиёфаси ва каттакичиклигидан қатъи назар, доимий — ўзгармасдир. Бу кристаллографиянинг биринчи муҳим геометрик қонунидир. Шу қонунга мувофиқ кристалл шаклларининг мос ёнлари орасидаги бурчагига қараб, уларнинг қандай модда кристалли эканлигини осонликча аниқлаш мумкин. Ваҳоланки, бунинг учун оддий кимёвий таҳлил усули қўлланилганда кўп вақт сарфланар, энг муҳими бу иш ғоят қимматга тушарди. Бундай усул Е. С. Федоров томонидан ишлаб чиқилган ва бунинг учун махсус қўлланма тайёрланган эди.

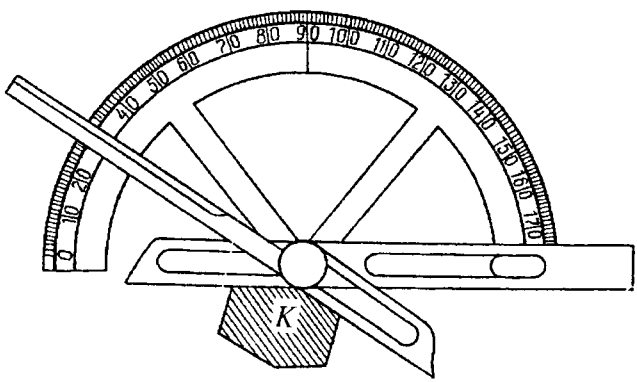
Бундан ташқари, кристаллнинг бир қисми — бўлаги топилган ҳолда, ўша кристалл шаклининг бутун геометрик қиёфасини кўз олдига келтириш ва уни ҳисоблаб чиқишда ҳам шу қонунга асосланилади.

Шунчалик муҳим амалий аҳамиятга эга қонуннинг назарий асоси кристалларнинг пайдо бўлиши ва ривожланиши жараёни билан боғлиқдир. Маълумки, ўсиш — ривожланиш жараёнида кристалларнинг ёнлари аввалги ҳолатига параллел равишда сурилади. Бу, демак, кристалларнинг шакли қанчалик катта ёки кичик бўлмасин, унинг ёнлари орасида бурчак бошланғич — кристалл пайдо бўла бошлаган давридаги шакл ёнлари орасидаги бурчакка тенгдир, яъни бу бурчаклар фазовий панжара элементар ячейкаси бурчаклари билан, улар эса шу кристаллни ташкил этувчи кимёвий модда таркиби билан боғлиқдир.

Бурчакларни ўлчаш асбоби — гониометр. Кристалларнинг ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш бурчакларнинг доимий-ўзгармаслик қонуни кашф этилгандан кейин айниқса авж ола бошлади.

Бошланғич даврда қўлланилган кристалл ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш асбоби — гониометр жуда содда тузилган, маълум ўқ атрофида айланадиган мил ўрнатилган оддий транспортирдан иборат (56-расм).

Гониометр механик Каранжо томонидан 1772 йилда кашф этилган. Шунинг учун ҳам Каранжо гониометри дейилади. Бундай гониометрдан фойдаланиш учун ўлчанадиган кристалл 0,5 см ва ундан катта бўлиши керак. Кристалл қанчалик кичик бўлса, олинган маълумот шунчалик ноаниқдир. Табиатда йирик кристаллар жуда кам топиладики,



56-расм.

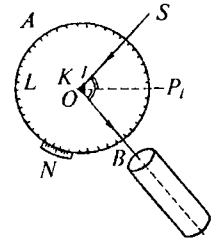
бундай ноаниқ 0,5—1° хатолик билан ишлайдиган гониометр ривожланиб бораётган фан талабига жавоб бермади ва бошқа бирмунча аниқроқ ишлайдиганлари кашф этилди.

Лимбали ёки доиравий гониометр

Гониометрларнинг бундай тури кристалл ёнларидан қайтган нур йўналиши орасидаги бурчакларни ўлчашга асосланган бўлиб шу билан, Каранжо гониометридан кескин фарқ қилади. Шунинг учун ҳам бундай гониометр нур қайтарувчи гониометрлар деб ҳам аталади. Унинг биринчи нусхаси 1809 йили Волластон томонидан кашф этилган. 57-расмда гониометрнинг тузилиши ва ишлаш тартиби кўрсатилган: А-лимба, 360° га бўлинган металл доира;

N — нониус, ҳисобнинг бошланиш — ноль нуқтаси; S — нур берувчи найча; В — қайтган нур тушадиган найча; О — лимбанинг маркази тик йўналган ўқнинг учи.

Кристаллнинг ўлчаниши лозим бўлган ёнлари орасидаги қирралари лимбанинг тик йўналган ўқига мос ҳолатда лимбанинг марказига қўйилади. S — найчадан кристаллнинг "I" ёнига юборилган нур қайтиб, найча орқали кўринади (акс ҳолда қайтган нур кўрингунча лимба ўз ўқи атрофида айлантирилади). Кейин кристаллнинг бошқа, масалан, "2" ёнига нур туширилади ва лимба қайтган нур яна кўрингунча айлантирилади. Нониусдан олинган иккинчи қимматдан биринчисининг айирмаси кристаллнинг шу икки ёнига туширилган тик чизиқ — биссектрисалар орасидаги бурчакка тенгдир. Ёнлар P_1, P_2 орасидаги бурчакларнинг ўзи эса шу бурчакларнинг 180° тўлдирувчиси бўлади, яъни биссектрисалар орасидаги бурчакнинг 180° дан айирмасига тенг. Бироқ шундай йўл билан кристаллнинг бир зонасида ётувчи (параллел қирралар билан чегараланган) ёнлар орасидаги бурчаклар ўлчанади. Бошқа зона ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш учун кристалл кўчириб олинади ва зона ёнлари орасидаги қирраларини лимба ўқига мос қилиб, шунингдек, қирра билан марказ орасидаги масофани ўзгартирмасдан қайтадан қўйиш талаб этилади. Ўлчаш қанчалик аниқ бўлмасин, мана шу кўчириб қайта ўрнатиш пайтида кристаллнинг но-



57-расм.

тўғри қўйилиши ва олинган натижа хато бўлиши ҳам мумкин, шундай хатоликка йўл қўймаслик учун кристаллни тўғри қўйиш учун жуда кўп вақт сарфлаш керак бўлади. Аммо шунга қарамай, бурчакларни турли гониометр билан ўлчашда бир минутгача хатоликка йўл қўйилади.

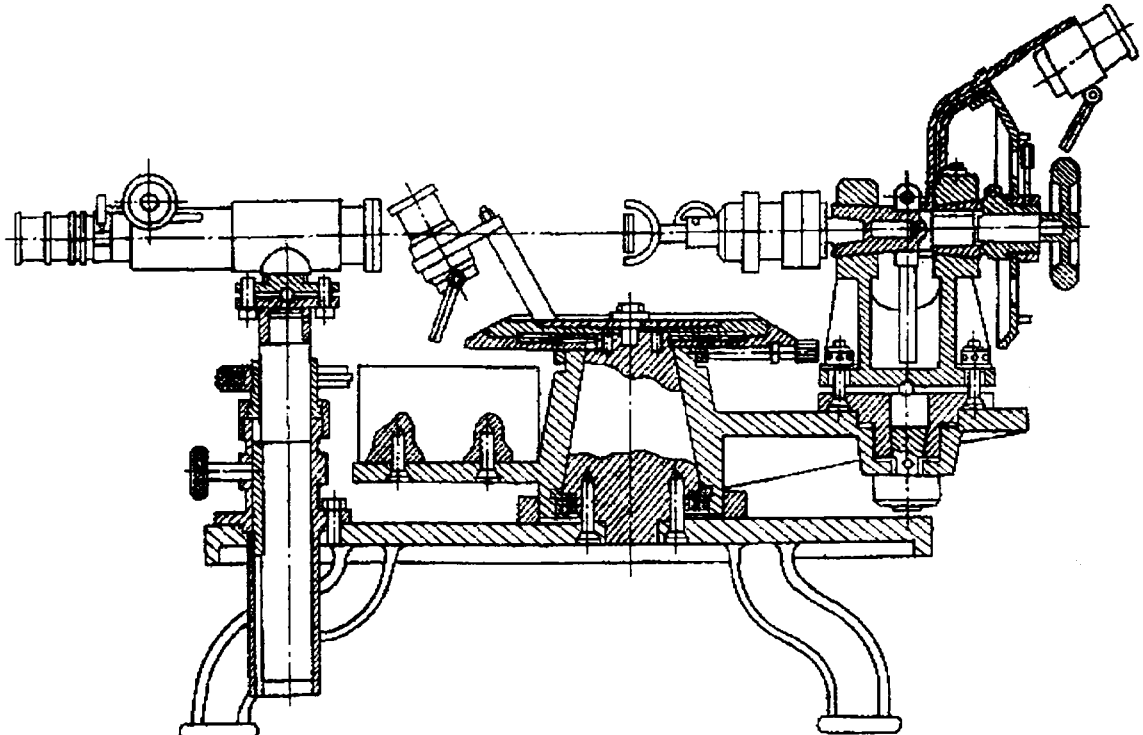
Кейинчалик шундай гониометрлар лимбаси тиккасига қўйилиб "вертикал лимбали" хили кашф этилади. Лекин шунда ҳам ишлаш усули, яъни олинган маълумотлардаги хатолик ва кристалларни ўрнатишга мавжуд қийинчиликлар аввалгидек сақланиб қолади.

Гониометрларнинг бу тури билан ишлашдаги қийинчилик ва хатоликларни бартараф этиш мақсадида ҳам вертикал, ҳам горизонтал лимбаси бўлган теодолитсимон гониометр ясаш талаб қилинади. Бундай гониометр Е. С. Федоров томонидан 1889 йилда кашф этилган бўлиб, Федоров гониометри ёки қўш лимбали (доирали) гониометр деб аталади (58-расм).

Кейинги йиллар мобайнида бутун дунё миқёсида шундай гониометрлардан кўплаб нусхаларда тайёрланди. Бу гониометрда иккита — ρ ўқи атрофида айланадиган горизонтал (*а*), ҳам φ ўқи атрофида айланадиган вертикал (*в*) лимбалари бўлиб, бу кристаллнинг ҳамма зона ёнлари орасидаги бурчакларни ўлчаш имконини беради. Шу икки ўқ атрофида кристаллни айлантириб ҳамма ёнларидан (кристаллнинг ўрнатиб қўйилган ёнидан ташқари) қайтган нурни кўриш мумкин, яъни кристаллни кўчириб, қайта ўрнатиб ўтирмасдан ҳамма ёнлари ҳолатини аниқлаш мумкин. Ўлчашдан олинган натижа иккита вертикал ва горизонтал лимбалардан олинган сферик координаталар билан белгиланади. Булардан бири φ кенгликни акс эттиради. Юқорида айтиб ўтилганидек, ўлчанган бурчак кристалл ёнларидан қайтган нур йўнал иш орасидаги бурчакни кўрсатади.

Гониометрдан олинган бурчак қийматини, яъни сферик координаталарни кристалл ёнларига тик туширилган нурнинг сферадаги проекцияси (тасвири) бўлган нуқтанинг координаталари деб қараш мумкин.

Бу жиҳатдан, олинган φ ва ρ қимматини географик нуқталар координаталари билан таққосласа ва уларни глобус ёки унинг текисликдаги тасвирига кўчирса бўлади. Шунга асосланиб, кристалл ёнларини фазовий ҳолатини аниқлаш



58-расм.

ва улар орасидаги бурчакни график усул билан ҳисоблаш мумкин.

Қўш лимбали гониометрлар билан ишлаш анча мураккаб — кристаллни ўрнатиш (марказига тўғрилаб, ўқлар кесишадиган нуқта билан мослаб қўйиш) жуда нозик ҳисобланади ва ходимдан катта маҳорат талаб этади.

Бурчакни ўлчаш, олинган маълумотларни ҳисоблаш ишлари бирмунча осонлик билан бажарилади. Шунга кўра теодолит гониометрлари билан ишлаш 1893 йилдан бошлаб кенг ривож топди.

Умуман, Федоров фаолиятидан кейин ҳам гониометрни ишлатиш учун янада қулайлик яратиш устида жуда кўп ишлар қилинади. Лекин уларнинг ҳаммаси Федоров кашфиёти заминида амалга оширилди. Жумладан, 1938—1939 йилларда Е. Е. Флинт модели бўйича Москва геология қидирув институти устахонасида шундай гониометрлар кўплаб ишлаб чиқарилди.

Германиялик кристаллограф В. Гольдшмидт ва польшалик З. Чапский гониометрлари ҳам мавжуд. Булардан ташқари, турли мақсадларда, масалан, кристалларни юқори ва паст ҳароратлар таъсирида ўлчаш учун қўллан иладиган гониометрлар ҳам кашф этилганки, уларнинг батафсил таърифи ва ишлаш йўллари махсус китобларда баён этилади.

Кристалл ёнларининг тасвири ва ёнлар орасидаги бурчакларни ҳисоблаш. Маълумки, ҳар қайси кристалл каттакичиклиги, ёнларининг кўп-озлиги билан бир қаторда шу ёнлари орасидаги бурчакнинг қиймати билан ҳам бири иккинчисидан фарқ қилади. Бундан кристалл ёнларини чизмада тасвирлашни осонлаштириш учун уларнинг катта-кичиклиги ва қиёфасини эмас, балки фазода бир-бирига нисбатан тутган ўрнини аниқлаб берадиган усулни қўлланиш мумкин деган хулоса келиб чиқади.

Кристалл ёнларини чизмада тасвирлашнинг кўп усуллари бор. Қуйида улардан биттаси — кристалларни ҳисоблашда кўпроқ қўлланиладиган усул тўғрисида тўхталиб ўтамиз.

Кристалл ёнларини тасвирга тушириш учун кристалл шаффоф сфера шар марказига қўйилган деб фараз этилади. Юқорида теодолит гониометр билан кристалл ёнлари ора-

сидаги бурчакларни ўлчаш бобида кристаллнинг ёни шу ёндан қайтган нур йўналиши билан белгиланиши кўрсатиб ўтилган эди. Демак, кристалл ёни тасвирини чизмада қайд этиш учун сферага шу ёндан қайтган нур йўналиши — тўғри чизиқ тасвири туширилади.

Чизма геометрия фанидан радиал тўғри чизиқнинг ўша тасаввур этилган сферадаги (шар сатҳидаги) тасвирининг нуқта бўлиши маълум. Кристалл ёнининг сферадаги тасвири шу ёнга туширилган тик тўғри чизиқ тасвирининг айнан ўзи, яъни нуқтадир.

Бу ёнларнинг сферадаги тасвири 59, 60-расмларда кўрсатилган. Бундай сферик (ҳажмли) тасвир кейинги кристаллографик масалаларни ечиш учун ноқулай бўлиб, шу тасвирни текисликда олиш зарурияти туғилди. Бунинг учун сфера географик глобусдаги каби тўр билан қопланади. Шу билан бирга чизиқлар орасидаги бурчак 2° га тенг қилиб ўтказилади. Текисликда тасвирланган глобус география фанидан ҳаммага маълум бўлганидек, ғарбий ва шарқий ярим шарлар ёки жанубий ва шимолий ярим шарлар харитаси шаклида бўлади.

Кристаллографияда сферанинг қутб ёки экватор чизиғи бўйича кесилган ярмиси тасвиридан фойдаланилади.

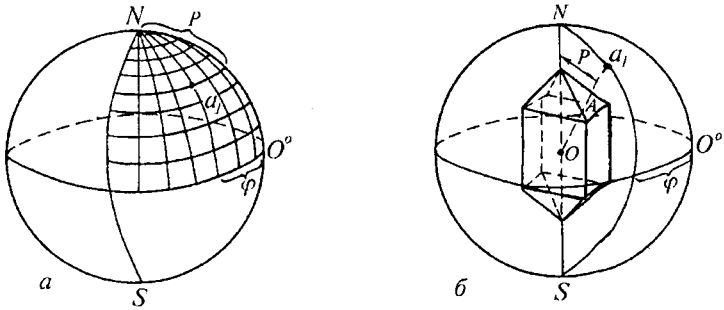
Кристалл ёнларини тасвирлашда асос қилиб сферанинг қутблар бўйича олинган кесими амалда кўпроқ қўлланилади. Бу Ю. В. Вульф томонидан фанга киритилган бўлиб, шунинг учун ҳам у Вульф сеткаси (тўри) дейилади. Бунда икки хил чизиқлар — катта доиравий чизиқлар (географияда меридианлар) ва кичик доиравий чизиқлар (параллеллар) тўр ҳосил қилади.

Шу чизиқлари орасидаги бурчак 2° га тенг қилиб олинган (61-расм).

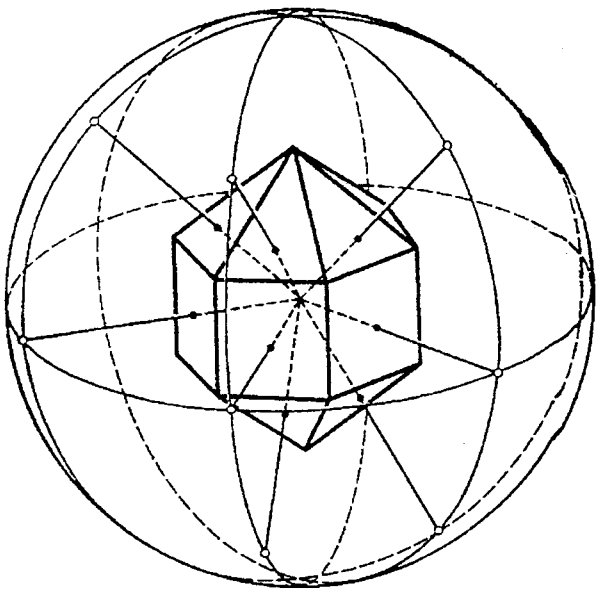
Шундай қилиб, ҳар қандай кристалл ёнининг текисликдаги тасвири нуқта ҳолатини Федоров гониометридан олинган сферик координаталарга асосан Вульф сеткасида аниқ ифодалаш ва улар орасидаги бурчакларни ҳисоблаш имконияти туғилади.

Буни қуйидаги мисолларда кўриш мумкин:

Биринчи вазифа. Берилган кристалл икки ёнининг тасвири қуйидаги координаталарга мувофиқ туширилсин:



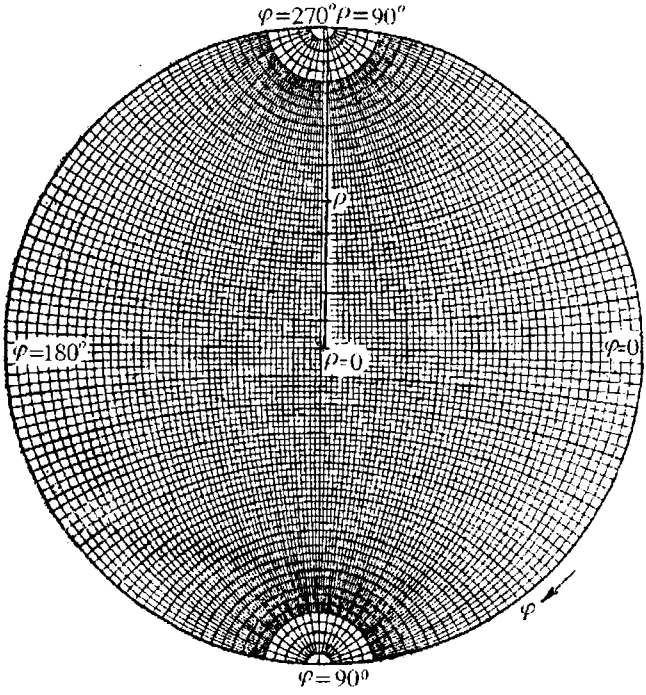
59-расм.



60-расм.

$\varphi - 73°$ $\rho - 18°$
$\varphi - 140°$ $\rho - 56°$

Шу нуқталар тасвирини тушириш учун ρ ҳарфи билан белгиланган қиймат қутбий масофа шимолий қутбдан — 0 дан бошлаб меридиан чизиғи бўйича ҳисоблаб олинади. Қутбий масофа жанубий қутбда 180° га тенг бўлади. Кенглик — φ эк-



61-расм.

ватор чизиғи бўйича чапдаги энг чекка меридиандан бошлаб ҳисобланади. Қиймат тўрнинг марказида 90° ва ўнгдаги энг чекка меридиан устида 180° га тенг бўлади. Кенглик қиймати бундан ортиқ бўлар экан, у ҳолда кристаллнинг шундай координатага эга бўлган ёни сферанинг кузатувчига кўринмайдиган орқа қисмида жойлашади ва у ўнгдан 180° дан бошлаб 360° гача (0° гача) чап томондаги меридиангача бўлган ораликда жойлашади, деб ҳисобланади.

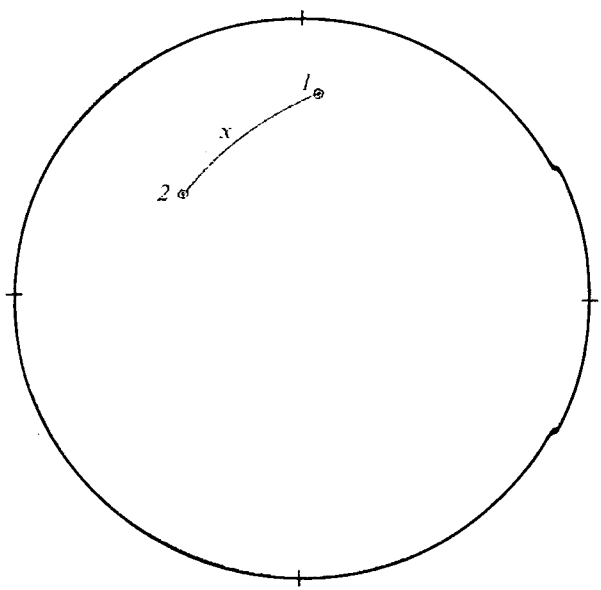
Берилган вазифани бажариш учун Вульф тўри олинади ва унга тенг қилиб кесилган шаффоф қоғоз варағи унинг устига қўйилади. Қоғоз устида тўрнинг маркази ⊙ (шаклида) ва экватор чизиғининг учлари (0°, 180°) билан қутблар ҳам белгилаб қўйилади. Иш пайтида тўр устидаги қоғоз марказ атрофида айлантирганда шу марказнинг доимо бир нуқтада бўлиши, яъни бурилиб кетмаслиги таъминланади. Энди нуқталарни берилган координаталарга мувофиқ жойлашган ўрнини топамиз

ва тўр устидаги қоғозга ⊙ (1) ва ⊙ (2) шаклида белгилаб қўямиз. Биринчи нуқта тўрнинг шимоли-шарқий, иккинчи нуқта эса шимолий-ғарбий қисмида жойлашади (62-расм).

Иккинчи вазифа. Биринчи вазифада тасвири туширилган ўша икки нуқта — кристалл ёнлари орасидаги бурчак аниқлансин.

Нуқталар орасидаги бурчак фақат катта ёй бўйича, яъни учлари тўрнинг сфера доирасига тегиб турадиган ҳамма меридианлар ва экватор чизиғи устида ҳисобланади. Бурчакни кичик ёйлар (экватордан бошқа параллеллар) бўйича ҳисоблаш мумкин эмас.

Берилган вазифани бажариш учун қоғозни тўр устида айлантириб (1) ва (2) нуқталар бир меридиан чизиғи устига келтирилади ва улар орасидаги бурчак тўр катаклари билан ҳисоблаб чиқилади. Тўрнинг маркази билан қоғозга белгилаб қўйилган марказнинг бир нуқтадан жойлашганлигига қаноат ҳосил қилинганидан кейин, шу нуқталар орасидаги бутун тўр катакларнинг сони санаб чиқилади. Берилган мисолда улар 37



62-расм.

та бўлиб, ҳар қайси катакнинг қиммати 2° экан, ўша нуқталар орасидаги бурчак 74° деб аниқланади. Лекин бундан ташқари, яна яримтага яқин катак ҳам борки, уни тахминан 45' деб чамалаб аниқлаш мумкин. Демак, берилган кристалл ёнлари орасидаги Вульф тўрида ҳисобланган бурчак 74°45' га тенг. Бундан ташқари, бу ёнлар орасидаги бурчакни сферик координаталарга қараб, назарий жиҳатдан ҳисоблаш мумкин. Бунда изланаётган бурчак — 74°54'22'' га тенг бўлади.

Шу бурчакнинг назарий қиймати билан график чизма усулда ҳисобланган қиймати орасидаги фарқ жуда кам бўлиб, атиги 9' 22'' ташкил этади. Шу билан бирга график усулда ҳисоблаш жуда қулай, бунинг устига назарий усулга қараганда, бир неча марта тез бажарилади.

График усулда олинган натижанинг аниқроқ бўлиши учун топилган ён тасвирини иложи борича кичик нуқта билан белгилаш, зарур бўлган ўринда ёйларни ингичка чизиқ билан чизиш, қоғоздаги билан тўрдаги марказни доимо бир нуқтага қўйиш зарур. Бундан ташқари, бурчакнинг 2° дан кичик улушини чамалаб тўғри аниқлашни ўрганиш лозим.

Шундай қилиб, Вульф тўридан фойдаланиш баъзи бир масалаларни кўриб чиқишни тақозо этади. Бундан ташқари, шу йўл билан минтақаларни чизиш ва уларнинг ўқларини топиш, ниҳоят кристалл ёнларининг символларини аниқлаш мумкин. Бу ва шунга ўхшаш масалаларини ечиш кристаллографиядан амалий машғулотларга оид китобларда батафсил баён этилган бўлиб, мазкур дарсликда бу тўғрида йўл-йўлакай тўхталиб ўтамиз.

Болдирев тўри — даражаларга бўлинган сфера шимолий ярмининг текисликка туширилган тасвиридир. Бунда меридианлар айлананинг радиуслари каби тўғри чизиқ шаклида тасвирланган бўлиб, уларни катта радиусли айлана ёйлари деб қараш мумкин. Ҳисоб бошланадиган 0 ишораси билан белгиланган бошланғич меридиан марказидан ўнг томонга қараб йўналади. Параллеллар эса концентрик айланалар шаклида кўрсатилган ва бурчакларни ҳисоблаш марказдан бошланади, яъни 0 ишораси тўрнинг марказида жойлашади.

Болдирев тўрида кенглик бошланғич меридиандан бошлаб соат мили бўйича 360° (0°) гача ҳисобланади.

Қутбий масофа тўрнинг марказидан бошлаб параллеллар бўйича 90° гача ҳисобланади. Агар қутбий масофа 90° дан катта (жанубий ярим шарда) бўлса, шу тасвир туширилган йўналишнинг қарама-қарши томонида ифодаланади. Маълумки, жанубий ярим шарда жойлашган тўғри чизиқ тескари йўналиш бўйича шимолий ярим шарда бўлади. Бунинг учун берилган координаталар 180° дан айрилади, яъни ($180° - \rho$), ($180° - \varphi$ бўйича) янги координаталари ҳисобланади.

Бошқа амалий ишлар Вульф тўридагидаги каби бажарилади.

Е. С. Федоров тўри мураккаб, Вульф (иккитасини 90° га айлантириб) ва Болдирев тўрларининг устма-уст қўйилган шаклидир. Стреографик тўрлар кристаллография фанига 1824 йили Мебиус томонидан киритилган бўлса ҳам биринчи марта амалда фойдаланишни Е. С. Федоров бошлаб берди. Вульф ўз тўрини Федоров ишларидан бехабар ҳолда 1892 йилда кашф этди. Болдирев тўри эса Федоров тўрининг соддалаштирилган шаклидир.

Ҳозирги пайтда кристаллографияда бажариладиган амалий ишларда, кристалларни ҳисоблаш, тасвирларни чизишда кўпроқ Вульф тўридан фойдаланилади. Ўз даврида, кристалларни текшириш ишларида аввал Федоров тўри, кейинчалик эса Болдирев тўри кенг қўлланилган эди.

II бўлим
КИМЁВИЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЯ
Чексиз кристаллографик шакллар геометрияси

I боб
ФАННИНГ МАНТИҚИЙ АСОСЛАРИ ВА МАЗМУНИ

Минерал — кристаллдир. Кристалл эса геометрик шакл, кимёвий модда, физик жисм ва ниҳоят геологик жисмдир.

Ернинг анчагина пастки чуқур қисмларидан қанчаданқанча машаққатлар эвазига кавлаб олаётган маъданларимиз конларнинг зарур таркибий қисмидир. Улардан чиқимсиз, осонроқ йўл билан керакли таркибий қисмни ажратиб олиш ва бу бебаҳо бойликдан халқ хўжалигида самарали фойдаланиш кристалл (минерал)ларнинг таркибини, хусусиятларини батафсил билишни тақозо этади.

Муқаддам таъкидлаганимиздек, минералогия фан сифатида бир неча асрлик тарихга эга. Бундан тахминан 3000 йиллар чамаси аввал ҳам одамлар минералларни ташқи белгиларига қараб бир-биридан ажрата олганлар, уларни қидириб топганлар ва улардан ўз ҳаётий эҳтиёжлари учун фойдаланганлар. Лекин бу даврда минералогия фанининг мавжудлиги ҳақида гап бўлиши ҳам мумкин эмас эди. Ўша пайтда минераллар ҳақидаги тўпланган маълумотномалар жуда чекланганди. Минералогиянинг фан сифатида дунёга келиши Европада капитализмнинг илк босқичига-кончилик ва кимё саноатининг ривожлана бошлаган йилларига тўғри келади десак хато бўлмайди. XVI аср бошларига келиб, Европа мамлакатларига темир ва бошқа маъданлар билан бир қаторда кўмир, туз каби минерал конларни қидириб топиш ва бу бойликларни қазиб чиқариш авж олиб кетди.

Табиатда учрайдиган минглаб минерал тур ва хилларини тўпланган ҳамда рўйхатга олиш, рўйхатдагиларини эса маълум тартибда жойлаштириш муаммоси ҳам ўша узоқ ўтмишдан

бошланган. Бу даврда минераллар рўйхатини маълум тартибга солиш учун жуда кўп илмий назариялар, физик-кимёвий-морфологик белгилар асос қилиб олинди.

XVIII асрда буюк немис олими А. Г. Вернер геология (геогнозия) фанини алоҳида фан сифатида минералогиядан ажралиб чиқиши учун асос солди.

Минералларни аниқлашда Ф. Мосс томонидан татбиқ этилган 10 та минералдан иборат қаттиқлик қатори минералларни тадқиқ этишда физик усулларни қўллаш соҳасида қўйилган биринчи қадам бўлди.

XVIII аср охирларига келиб, минералларни кимёвий тушунча ва кимёвий назариялар асосида ўрганиш авж олиб кетди. Кимёвий сифат таҳлили билан миқдорий таҳлил кенг қўлланиладиган бўлиб қолди. Натижада юзлаб минералларни кимёвий таркиби аниқ ўрганилди, ўнлаб янгидан-янги минераллар кашф этилди, 25 та янги кимёвий элемент очилди. Бу ривожланиш даври қисқа бор-йўғи 35-40 йилни (1790—1830) ўз ичига олди.

Шунга асосан кейинги пайтларда минераллар ҳақидаги тушунча, туб маъноси билан, қайтадан кўриб чиқилди. Минералларни кимёвий бирикма сифатида тадқиқ этиш авж олиб кетди.

Минералларнинг пайдо бўлиши назарияси ҳам кимёвий тушунчалар асосида қайта таҳлил этилди. Минералларнинг пайдо бўлиши ҳақидаги маълумотлар тўпланиб, тўлдирилиб, кимёвий назариялар билан асослаб берилди. Бунда доимо ўзгариб турадиган ташқи муҳитнинг физик-кимёвий таъсири ҳам ҳисобга олинди. Минералларнинг пайдо бўлиши, кейинчалик ўзгариши ва бутунлай нураб йўқ бўлиб кетиши шу ташқи муҳитдаги ўзгаришлар билан боғлиқ эканлиги эътироф этилди.

Бу даврга келиб, минералогиянинг тараққиёти учун маъданлар таркибини тадқиқ этишда асос қилиб олинган кимёвий қонуниятлар муҳим аҳамият касб этди.

Кейинчалик минералларнинг ташқи қиёфас ини ўрганишга алоҳида эътибор берилди. Шу билан бирга минералларнинг пайдо бўлиши қонуниятларини тад қиқ этиш соҳасида ҳам жуда кўп ишлар амалга оширилди.

Ва ниҳоят минералларнинг ташқи қиёфаси, таркиби, кристалл тизими ва пайдо бўлиш сабабларини — геоло-

гик муҳитни атрофлича ҳисобга олган ҳолда таҳлил этиш лозим, деган фикр пайдо бўлди.

Минералларни таърифлаш — тадқиқ тартиби — таснифи ҳақида бизгача етиб келган биринчи маълумот Теофрастнинг "Тош ҳақида" китобида берилган бўлиб, унда қуйидаги гуруҳлар мавжуд: 1)йирик бўлак ҳолида топилган минераллар; 2) рангдор тошлар; 3) эрувчан тошлар; 4) ёнадиган тошлар; 5) ёнмайдиган тошлар; 6) қиммат-баҳо тошлар; 7) осонликча кесиладиган тошлар; 8) тупроқсимон моддалар (бўёқлар).

Кейинчалик шунга ўхшаш тартиб Ибн Сино китобида ҳам қайд этилган: 1) тошлар; 2) эрувчан (қиздирилганда) жисмлар (металлар); 3) олтингугуртли (ёнувчан) моддалар; 4) тузлар (сувда эрийдиган) моддалар ва ҳ.к. Минералларнинг бундай тартибда ажратилган гуруҳлари қарийб 800 йил давомида деярли ўзгартирилмаган ҳолда сақланиб келди. Чунки бундай тартибда ажратилган гуруҳларнинг фарқи (гарчи у пайтларда кимёвий боғланишлар ҳақида илмий назариялар — тушунчалар бўлмаса ҳам) шу моддалар таркибидаги мавжуд кимёвий боғланишнинг турига асосланган эди.

Абу Али Ибн Синодан 500 йил чамаси кейин Георг Агрикола минераллар таснифи — тадқиқ тартибини ишлаб чиқди. Унда минералларнинг ташқи қиёфаси биринчи ўринга қўйилган бўлиб, улар физикавий-морфологик хусусиятларига кўра гуруҳларга ажратилади. Минералларнинг бундай тадқиқ тартибини А. Г. Вернер (1817 йили) ўз даврида тузиб чиққан бўлиб, унда 317 минерал ва уларнинг хиллари таърифланади. Шу билан бирга минерал турларининг синфларга бўлиниши тартиби уларнинг кимёвий таркиби билан боғлиқ қилиб олинди.

Кейинги юз йиллик давр (1758—1854) давомида ҳам минералларнинг таҳлил тартибини ишлаб чиқишда уларнинг кимёвий таркибига алоҳида эътибор берилди. Бу соҳада А. Кронштед, Т. Берман, В. М. Севергин, И. Берцелиус, Д. И. Соколов, Д. Дана ва бошқа ўша даврнинг кўзга кўринган минералог олимлари самарали иш олиб бордилар.

Шундай қилиб, минералларнинг физик хусусиятларига асосланиб, тузилган аввалги тартиби ўрнида янги,

кимёвий хусусиятларга асосланган тартиб пайдо бўлди ва шу тариқа минералларнинг физик хусусиятларидан кўра кимёвий хусусиятлари муҳимроқ аҳамиятга эга, деган фикр дунёга келди.

XIX аср ўрталарида минералларни тартибга солишда кимёвий белгилар билан бир қаторда кристаллографик ва физик белгилар ҳам олимлар эътиборини ўзига жалб эта бошлади. Бу соҳада Вернернинг издоши Э. Эйхвальд (1844) кўп иш олиб борди. Минералларни фақат физик белгиларининг ўзига қараб, кимёвий таҳлил қилмасдан туриб, таркибини аниқлаш мумкин. Лекин минералларни таркибига қараб кристалл шаклини ва физик хусусиятларини эътиборга олмасдан туриб, минерални аниқлаш мумкин эмас. Бу, айнийт полиморф кимёвий бирикмаларда янада яққолроқ кўринади: пирит (FeS_2) — марказит — (FeS_2); кальцит ($CaCO_3$) — арагонит — ($CaCO_3$); анатаз (TiO_2) — рутил (TiO_2). Бундан кўриниб турибдики, бу бирикмаларнинг кимёвий таркиби бир хил бўлгани билан улар бошқа-бошқа минераллардир.

XX асрнинг 30-йилларидан бошлаб минералларни тадқиқ этишда кристаллокимёвий йўналиш ривожлана бошлади. Минералларнинг физик, кимёвий хусусиятлари ва ниҳоят пайдо бўлиш қонуниятлари ҳам кристаллокимёвий назариялар билан асосланадиган бўлиб қолди, яъни кристаллар ички тузилишини ўрганиш минерал молекулалардан иборат деган эски тушунчани инкор этишга олиб келди; бу —кристаллар бир-бири билан турлича куч ва услуб билан боғланган хилма-хил ион атомлардан иборат эканлигидан далолат беради. Бу соҳада, айниқса назарий ва амалий кристаллокимёни ривожлантиришда Н. В. Беловнинг хизматлари катта бўлди. У томонидан ривожлантирилган (1947 й.) шарларнинг зич жойлашиш назарияси мураккаб таркибли бирикмалар кристалл тузилишини тадқиқ этишда муҳим аҳамият кашф этди. Шунингдек, йирик катионлар силикатларини тадқиқ этишда эришилган натижалар ҳам бутун дунё миқёсида катта эътиборга сазовор бўлди. Н. В. Белов томонидан ёзилган "Кристаллокимёнинг иккинчи боби" дунёга келди (1961). Фаннинг бундан кейинги тараққиёти давомида кимёвий бирикмаларда атомлар координацияси, изоморфизм назарияси ва ниҳоят, минералларнинг кристалл тизимини

ўрганиш янада авж олиб кетди. Натижада улар таркибидаги изоморфизм қоидаларига асосан юзага келадиган ўзгаришлар илмий жиҳатдан асослаб берилди ва шу муносабат билан минерал, минерал тури, минералларнинг хиллари ҳақидаги тушунчалар ҳам янгича таҳлил этилиб, янгича маъно кашф этди.

Минералогия фанининг тадрижий тараққиёти давомида таъриф минералогиянинг мазмуни ва маъносидаги ўзгариш-ривожланиш кўзга яққол кўринмас эди. Шунга қарамасдан, юқорида эслаб ўтилганидек, минералларнинг кристалл тузилишини ўрганиш соҳасидаги эришилган муваффақиятлар минералогия фани мазмуни ва тузилиши — таркибини кескин даражада ўзгаришига сабаб бўлди.

А. С. Уклонский томонидан ўша пайтларда ишлаб чиқилган минералларнинг геокимёвий таснифи тартибида ҳам ўша бошланғич даврларда маълум бўлган кристаллокимёвий тушунчалар ҳисобга олинган эди. Бугунги кунга келиб, ҳозирги кристаллокимёвий тушунчаларни бутунлигича назарий минералогияга татбиқ этиш, минералларнинг геологик жисм сифатида пайдо бўлиши билан кимёвий таркиби ва физик хусусиятлари билан ташқи қиёфаси орасидаги мувофиқлик-мосликнинг мавжуд кристаллокимёвий қонуниятларга асосланган тартибини ишлаб чиқиш зарурати туғилди. Бошқача қилиб айтганда, геологик жисм бўлмиш минералларнинг ташқи қиёфасидан бошлаб, физик хусусиятларию, кимёвий таркибигача ҳамма хоссалари умумий — битта кристаллокимёвий қонунга бўйсунади. Бу табиат қонунини тўла ва бутунлигича англаб-ўзлаштириб олиш натижасида ўша минералларга қараб, улардаги табиатнинг ўзи белгилаб қўйган ривожланиш йўналишини ўқиш нияти ушбу изланишнинг мазмуни — туб моҳиятини ташкил этди. Шу мақсадга эришмоқ учун кристаллокимёвий қонуниятларни батафсил ўрганиб, уларни ҳар қайси минералга татбиқ этиш, шу қонуният асосида минералнинг кимёвий таркибидаги мавжуд ўзгаришларни тушунтириш ва ниҳоят, шу ўзгаришларни минерал ҳосил қилувчи геологик жараёнлар билан боғлиқ эканлигини кўрсатувчи далилларни аниқ тасаввур этиш зарур. Бу тасаввурга асосланган ҳолда ўша минералнинг қандай геологик муҳит-шароитда ҳосил бўлганлигини илмий жи-

ҳатдан асослаб бериш пировард кутилган натижа бўлмоғи керак.

Умумий тушунчалар. Кристаллар муайян физик ва кимёвий хусусиятларга ҳамда маълум геометрик шаклга эга бўлган жисмлардир. Улардаги шундай хилма-хил физик ва кимёвий хусусиятлар, турлича геометрик шакл ҳам аввало шу кристалл фазовий панжарасининг ташкил этувчи тизими бирликлари — ион, атом ва молекулаларнинг хусусиятларига, шу билан бирга уларнинг фазода тутган ўрни ҳамда улар орасидаги кимёвий боғланишнинг турига қараб ўзгаради.

Лекин шуниси ҳам маълумки, бир хил физик-кимёвий хусусиятларга эга бўлган мана шу кристалл тизими бирликларининг ҳар бири алоҳида бир бутун кристалл тизими ҳосил қилар экан, улар ташқи муҳит таъсирида бутунлай бошқача, бири иккинчисига ўхшамайдиган хусусиятлар кашф этади. Бир неча хил тизим бирликлари — ион ёки атомлардан иборат бўлган кристаллнинг хусусиятлари ҳам ўша заррачаларнинг бирортаси ёки улар йиғиндисининг хусусиятларига ўхшамайдиган, яъни мутлақо бошқача бўлиши мумкин. Масалан, олмос, графит ва кўмир ўз таркибига кўра, ҳаммаси ҳам биргина карбон атомларидан иборат бўлишига қарамай, уларнинг физик ва кимёвий хусусиятлари бошқа-бошқадир. Галит (ош тузи) — натрий хлорид, натрий (металл) ва хлор (оддий ҳарорат ва босимга эга бўлган муҳитда газ ҳолатида) ионларидан ташкил топган бўлишига қарамай, унинг хусусиятларида на натрийга ва на хлорга ўхшайдиган белгиларни кўриш мумкин эмас. Демак, кристалл моддаларнинг физик, кимёвий ва бошқа хусусиятлари шу кристаллни ташкил этувчи заррачалар тизими бирликлари орасидаги кимёвий боғланишнинг турига ҳам боғлиқдир; шунга ўхшаш мисолларни кўплаб кўрсатиш мумкинки, уларнинг сабаби ва назарий асосларини ўрганиш кимёвий кристаллография фани доирасига киради.

Кимёвий кристаллография фани асосан кристалларнинг ички тузилиши (микрокристаллография)ни батафсил текширади; кристаллнинг ички тузилиши геометрияси билан боғлиқ ҳолда кимёвий таркиби ва физик хусусиятлари орасидаги боғланишни аниқлаш каби вазифаларни бажаради.

Шу масалаларни ҳал этиш кристалл тузилишини ташкил этувчи тизим бирликлари — ион ёки атомлар, ёки молекулалар хусусиятлари ва улар орасидаги боғланиш кучи табиатини ўрганишга асосланади.

Ниҳоят, у кристалларнинг тузилиши билан геометрик шакли физик ва кимёвий хусусиятлари орасидаги боғланиш — муносабат масалаларини текширар экан, аввалдан белгиланган муайян хусусиятларга эга бўлган сунъий кристалларни олиш йўлини ҳам кўрсатиб беради.

Бу масалаларни амалга ошириш, ўз-ўзидан кўриниб турибдики, физика, кимё, физик-кимё ва математика (геометрия) фанларида қўлланадиган усуллардан фойдаланишни талаб этади. Иккинчи томондан, бу фан эришган ютуқлар кристалл жисмларни — кимёвий моддаларни тадқиқ этувчи физика, кимё, минералогия ва Ернинг кимёвий таркибини, кимёвий элементларнинг тарқалиш қонуниятларини ўрганувчи бошқа фанларнинг ривожланишида татбиқ этилади.

Кимёвий кристаллография фанини ўрганиш шу фан ҳақидаги умумий тушунчалар билан бирга тизим бирликлари —ион, атом, молекулалар ва улар ҳосил қилган чексиз геометрик шакл хусусиятларини тадқиқ қилишдан бошланади.

Кимёвий элементларнинг ион, атом молекулалари кристалл ҳосил қилувчи тизим бирлиги сифатида ўзаро бирикиб, ҳар бир кристаллнинг ўзига хос хусусиятларини кашф этади. Шунинг учун ҳам кристаллар табиатни ўрганиш ва уларнинг сабабларини изоҳлашда ион ҳамда атомлар тузилишига ва шу билан боғлиқ ҳар бир атомнинг ўзига хос хусусиятларига алоҳида эътибор берилади.

Атомларнинг таркиби ва тузилиши. Атомлар оғир атом ядросидан ва унинг атрофида муайян орбита бўйича ҳаракат қилувчи енгил электронлардан, яъни элементар заррачалардан ташкил топгандир. Ядро эса заррачалардан ва икки хил нуклонлардан, яъни протонлар ва нейтронлардан иборат: Протонлар (p+) мусбат зарядланган, массаси $1{,}679 \cdot 10^{-24}$ г ва заряди $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ эл. ст. бирликка тенг. Нейтронлар (N) эса ҳеч қандай зарядга эга эмас, массаси $1{,}675 \times 10^{-24}$ г. Электронлар (e^-) манфий зарядланган, массаси $9{,}108 \times 10^{-28}$ г ва манфий заряди $4{,}803 \times 10^{-10}$ эл. ст.

бирликка тенг. Нуклонлар ўзаро кучли яқиндан таъсир этиш кучи — мезон майдони билан боғланган бўлади.

Табиатдаги маълум кимёвий элементларнинг атом ядросидаги протонлар сони (z) 1 дан 92 гача бўлади (трансуран элементларида бундан ҳам ортиқ). Атомларнинг қайси кимёвий элементга мансуб эканлиги шу билан белгиланади. Бу сон хидрогенда z – 1, уранда z – 92 ва ҳ.к.

Ядродаги нейтронлар (N) сони 0-дан 146 гача ўзгариши шу билан бирга протонлар сони бир хил бўлса ҳам нейтронларнинг сони ҳар хил бўлиши мумкин. Шундай протонларнинг сони бир хил, лекин нейтронларининг сони бошқа бўлган атомлар бир элементнинг турли изотопларини ташкил этади. Масалан, хидроген изотоплари — протийда Z – 1 ва N – 0, дейтерийда Z – 1 ва N – 1, тритийда Z – 1 ва N – 2 ва ҳ.к. Нейтронлар билан протонлар йиғиндиси, яъни ядродаги нуклонлар сони M = Z + N масса сони деб аталади. Атомларни ёзишда M билан Z, шунингдек, N = M – Z ҳам қуйидагича ёзилади: хидроген — H^M атомлари $_1H^1$, $_1H^2$, I^{33} каби, уран $_{-2}U^M$ атомлари $_{92}U^{234}$ $_{92}U^{235}$, $_{92}U^{238}$ каби кўрсатилади.

Атомларнинг хусусиятлари, жумладан уларнинг барқарорлиги ва парчаланиш хусусияти ҳам ўша атомларнинг ядро тузилиши билан боғлиқдир.

Маълумки, Нильс Бор (1913) кашф этган хидроген атомининг тузилиши ҳақидаги назарияда ядро атрофидаги электронларнинг доиравий орбита бўйлаб ҳаракат қилиши назарда тутилган эди; унинг бошланғич квант сони N (асосий квант сони) ўша доиравий орбитанинг радиусини ифодалар эди.

Электронлар (e^-) ядро атрофида маълум орбита бўйича ҳаракат қилиб, шар ёки анча мураккаб шакллар қиёфасида "электрон атмосфераси" ҳосил қилади. Нейтрал атомдаги электронларнинг сони доимо ядродаги протонларнинг сонига тенг, яъни 1 дан 92 гача (трансуран элементларида бундан ҳам ортиқ) бўлади.

Электронлар ядро ва бир-бири билан ўзаро таъсир кучи билан боғланган. Электронларнинг хусусияти, уларнинг атом атрофида тарқалиши (тутган ўрни) ҳам энергия ҳолати атомларнинг бирикма ҳосил қилиш, яъни кристалл ташкил этиш табиатини аниқлаб беради.

Шуниси ҳам маълумки, 1925 йили швейцариялик физик олим В. Паули томонидан кашф этилган "тақиқлаш" қоидасига мувофиқ бир атомда икки ёки ундан ортиқ бир хил хусусиятли (квант сонларига эга) электронларнинг бўлиши мумкин эмас.

Ҳар бир электроннинг энергия ҳолати тўртта квант сони n, l, m_e, m_s билан белгиланади. Булар n — асосий квант сони, ядро атрофидаги электрон қаватлари сони билан мос келади; l — иккинчи квант сони, электронларнинг ядро атрофида айланиш орбитаси (қиёфаси жараёнини) кўрсатади; m_e — электроннинг ўз орбитаси бўйлаб айланиши натижасида юзага келган магнит моменти; m_s — электроннинг ўз ўқи атрофида айланиши — магнит спин сонидан иборатдир.

Шундай қилиб, квант сони орбиталарнинг мана шу бўлиши мумкин бўлган турлича фазовий ҳолатларини белгилаб беради. Бу ҳолатлар ҳаракатдаги ҳар бир электроннинг юзага келтирадиган магнит майдони билан боғлиқдир. Демак, атомларнинг тузилиши планеталар тузилишини эслатади ва ундаги электронлар мураккаб, турли текисликлар сатҳида хилма-хил орбиталар бўйича ҳаракат қилади.

Маълумки, атомларнинг ташқи электрон қаватида электронларнинг етишмаслиги ёки ортиқча бўлиши муайян зарядга эга бўлган ионларни юзага келтиради. Манфий зарядланган ионларда (анионларда) электронларнинг сони шу атом ядроси зарядини мувозанатга келтириш учун зарур бўлгандан кўра кўп ва аксинча, мусбат зарядланган ионларда (катионларда) камроқдир.

Бир турли электронлар атом ядросига яқин орбита бўйича ҳаракатда бўладики, бунга ички электрон қавати; бошқалари эса ядродан узоқ орбита бўйича ҳаракат қиладики, бунисига ташқи электрон қавати дейилади. Иккита бошқа-бошқа атом ўзаро яқинлашиб, маълум шароит муҳитида шу ташқи электронларни алмаштирар ёки атомлардан бири бошқа атомнинг баъзи электронларини ўз ядроси атрофида ҳаракат қилишга мажбур этар экан, у ҳолда кимёвий бирикма ҳосил бўлади. Шу бир неча атомларнинг қонуний йиғиндиси ёки тўплами кристаллардир.

Кристалларнинг умуман, физик, кимёвий хусусиятлари ва ташқи қиёфаси ҳар бир кристалли ташкил этувчи ти-

зим бирликларининг ионлар ва атомларнинг Менделеев жадвалида белгилаб қўйилган ўрни, кимёвий хусусиятлари, катта-кичиклиги ва улар орасидаги кимёвий боғланиш турига боғлиқдир.

Кристалларни ташкил этувчи мана шу тизим бирликлари — ион, атом ва молекулалар орасидаги мавжуд боғланиш турларини таърифлашдан аввал ўша кимёвий элементларнинг атом тузилиши ва Менделеев жадвалида жойлашиш тартиби билан танишмоқ керак.

Кимёвий элементларнинг атом тузилиши ва даврийлик қонуни. Менделеев жадвалида элементлар қаторларда — даврларда шундай жойлашганки, бунда ҳар қайси гуруҳ ўхшаш хусусиятли, электрон тузилиши бир хил бўлган (5-жадвал) элементларни ўз ичига олади.

Жадвалнинг ҳар қайси даври янги ташқи электрон қаватидан бошланади, шу янги қаватдаги электроидларнинг сони саккизтага етиши билан у давр тугаб, кейингиси —яна янгиси бошланади. Шундай қилиб, биринчи даврда фақат икки элемент бўлиши мумкин, чунки энг ички қаватда фақат икки электрон бўлади. Кейинги давр Литийдан (3) бошланиб, қаватдаги электронларнинг сони 8 га етади ва Неон (10) билан тугайди. Шундай тартиб кейинги давр натрий (11)-дан аргон (18) гача бўлган элементлар учун ҳам сақланади. Тўртинчи давр учинчи даврга ўхшаш бошланади, лекин бунда III гуруҳ элементлари тартибидан (скандий (21) дан бошлаб) бошқачароқ тартибни кўриш мумкин. Бундан кейин ташқи қават электронлар билан тўлдирилмайди. Кичик электрон қаватининг энергетик қувватига қараб кейинги электрон ташқи N қаватига эмас, балки тўлдирилмай қолган М қаватига қўшилади. Атом сони орта бориши билан М қавати тўлдирилади, кейин галий (31) дан бошлаб электронлар яна ташқи N қаватига қўшила боради. Шунинг учун скандий (21) дан то рух (30) гача ўткинчи элементлар дейилади. Шунга ўхшаш тартиб бешинчи даврда ҳам кўрилади, бунда иттрий (39) дан бошлаб қадмий (48) гача ўткинчи элементлар бўлади. Шу ўткинчи элементларнинг ионлари ўзгарувчан зарядга эга, чунки бу ионларнинг баъзи электронлари ташқи икки қаватда ўхшаш энергетик ҳолатни ишғол этади. Масалан, темирнинг ташқи N қаватидаги

икки электрони йўқолар экан, у ҳолда 2 валентли темир иони ҳосил бўлади. Шунингдек, электронда M_{3d} кичик қаватидан ажралар экан Fe^{3+} иони юзага келади. Бунинг учун қўшимча кўп куч сарфланмайди, шунинг учун у осонликча уч валентли темирга айланади.

Олтинчи даврда бошқача мураккаблик содир бўлади. Лантан (57) дан бошланган бу қатор элементларида электронлар N қаватининг тўлдирилмаган 4f кичик қаватни тўлдиради. Электрон қавати шундай тузилишга эга бўлган элементлар (58-71) лантаноидлар дейилади. Шунинг учун бу 14 элементнинг ташқи икки электрон қаватида электронлар бир хил жойлашган ва уларнинг хусусиятлари бир-бирига жуда ўхшаш бўлади.

Ўткинчи элементларнинг кейинги гуруҳи гафний (72) дан бошланиб, симоб (80) гача давом этади. Бу давр 8 электронли ташқи қаватга эга бўлган радон билан тугайди. Еттинчи давр ҳам олтинчи даврга ўхшаб бошланади. Актиний (89) билан ўткинчи элементларнинг янги даврини, торий (90) эса лантаноидлар каби иккиламчи гуруҳни ташкил этади. Бу гуруҳ (90-103) актиноидлар дейилади.

Кимёвий элементларнинг даврийлик жадвалини билиш геологлар учун ўша элементларнинг табиатда тутган ўрни ва тарқалиш қонуниятларини олдиндан айтиш имконини беради. Ионлар ва ионли бирикмалар ҳосил қиладиган элементларнинг хусусияти асосан ўша ионларнинг катта-кичиклиги ва валентлигига, бу эса ўз навбатида, шу элементларнинг электрон тузилишига боғлиқ. Электронлар ташқи электрон қаватининг барқарорлигини таъминлаш учун интилади. Электронлар фақат инерт газлардагина ўзининг энг барқарор мавқеига, яъни тўлиқ электрон қаватига эга бўлади. Чунки икки электронли гелийдан бошқа ҳамма инерт газларининг ташқи электрон қаватида саккизтадан электрон мавжуддир. Шунинг учун ҳам улар кимёвий бирикмалар ҳосил қилмайди. Инерт газлардаги каби тузилишга ўтиш учун I А гуруҳи элементлари биттадан электрон йўқотиб, –1 зарядга эга бўлиши керак. II А гуруҳи элементлари иккитадан электрон йўқотиб, –2 зарядли ион ҳосил қилади. Аксинча, VII А гуруҳи элементлари биттадан электрон қабул қилиб, –1 зарядли ионга айланади. Шундай қилиб, эле-

5-жадвал

Кимёвий элементларнинг даврийлик (Менделеев) жадвали

Давр-лар	I	II	III	IV	V	VI	VII	
I	1 H 1,008							
II	3 Li 6,949	4 Be 9,013	5 B 10,02					
III	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97					
IV	19 K 39,096	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,85
V	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tl	44 Ru 101,7
VI	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La 138,92	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 190,2
VII	87 Fr	88 Ra 226,05	89 Ac					

Лантоноидлар	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm 147,0	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0
Актиноидлар	90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np	94 Pu	95 Am

ментларнинг даврийлик жадвалида тутган ўрнига мувофиқ мана шу тартибга асосан калийли бирикмалар таркибида рубидий ва кальцийли минералларда стронций аралашмаси бўлиши мумкин. Шунга ўхшаш, хлорли минералларда хлор ўрнида бром иштирок этиш мумкин. Электрон қавати мураккаб тузилишга эга бўлган "ўткинчи" элементлар ионлари инерт газлар тизимини ҳосил қилмайди.

Гурух									
VIII		I	II	III	IV	V	VI	VII	0
									2 He 4,003
					6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00	10 Ne 20,183
					14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,066	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944
27 Co 58,94	28 Ni 58,69	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83.7
45 Rh 102,91	46 Rd 106,7	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,72	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,92	54 X 131,3
77 Ir 193,1	78 Pt 195,23	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po (208)	85 At	86 Rn 222,0

64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 164,94	68 Er 167,2	69 Tu 169,4	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
96 Cm	97 Bk	98 Cf					

Турли геокимёвий жараёнларда иштирок этган кимёвий элементларнинг миқдори ўзгариши мумкин. Лекин шунга қарамасдан маълум элементнинг миқдори хусусиятларидаги ўхшашликдан шу модда тарихида юз берган ўзгаришларни аниқлаш мақсадида фойдаланиш мумкин. Масалан, қатор магматик тоғ жинсларида бўлиб ўтган кристалланиш тарихини ўрганиш учун K/Rb нисбати қўлланилади. Худди шу

мақсадда изотопларнинг, жумладан барқарор ва радиоактив изотопларнинг миқдорий нисбатларидан фойдаланилади. Метеоритлардаги шундай нисбатлардан қуёш системасини ҳосил қилувчи манбанинг табиати ва таркиби ҳақида фикр юритиш учун фойдаланилади.

Шундай қилиб, кимёвий элементларнинг даврийлик жадвали жуда кенг маънода элементлар электрон тузилишининг ифодаси бўлиб, ўша элементларнинг ҳар бирининг Ер юзидаги ҳаракат доирасини аввалдан айтиб бериш имкониятини туғдиради. Геологлар бу масалани тадқиқ этишда элементларнинг шу хусусиятлари билан бир қаторда ўзига хос кимёвий муҳитни, ўша муҳитдаги босим ва ҳарорат ўзгаришини ҳисобга олади. Ҳар бир ион табиатда тутган ўрнига қараб, масалан, силикат таркибли магмада ёки сувдаги оддий эритмада ўзида мутлақо бошқабошқа сифатлар кашф этади. Шунинг учун ҳам табиий шароитларнинг хилма-хиллиги кимёвий элементлар табиатини англашни ва аввалдан айтиб қўйишни мушкуллаштиради.

Кимёвий кристаллография қаттиқ жисмларнинг кристалл тузилиши билан кимёвий таркиби орасидаги мавжуд боғланиш қонунларини ўрганади. Минералларнинг кимёвий ва физик хусусиятлари орасидаги қонуниятларни ўрганиш билан бирга ўша минералларнинг қандай жараён ва муҳитда пайдо бўлганлигини айтиб бериш мумкин. Минералларнинг ўзига хос кристалл тузилиши билан боғлиқ кимёвий табиатини аниқлаш рентген нурининг дифракциялашишини ўрганиш асосида XIX асрдан бошланди. Шу даврдан эътиборан минералларнинг ички тузилиши — геометриясини ўрганиш имконияти туғилди.

Кимёвий боғланиш ва унинг турлари. Маълумки, кристаллар жуда кўп хилма-хил хусусиятларга, жумладан физикавий ва кимёвий хусусиятларга эгадирки, бу асосан мана шу кимёвий кристалл тизимини ташкил этувчи атом ва ионлар орасидаги боғланишнинг кучи ва турига мувофиқ юзага келади. Демак, кристалларни тадқиқ этмоқ учун мана шу боғланишнинг тури ва кучини ҳам билиш керак.

Атомлардан бирининг бошқаси атрофида муайян тартибда жой олиши ўша атомлар электрон қаватларининг ту-

зилиши билан боғлиқдир. Атомларни ўзаро боғлаб турган куч — кимёвий боғланиш ўз табиатига кўра икки усул билан намоён бўлади. Биринчиси — ион боғланиш бўлиб, бу қарама-қарши зарядланган ионлар орасидаги мавжуд ўзаро тортиш кучи оқибатидир. Иккинчиси — ковалент боғланиш бўлиб, ҳар хил атомлар учун мансуб бўлган электронларнинг ўзаро таъсири натижасида юзага келадиган боғланиш усулидир. Демак, ион боғланишли бирикмаларда бир атомнинг бир ёки бир неча электрони бошқа атом электрон қаватига кўчади. Ковалент боғланишда электронлар бир элемент электрон қаватидан бошқа электрон қаватига кўчмайди, балки электрон қаватлари бир-бирининг устига тушиб "электронлар булутини" (туманлигини) ҳосил қилади. Электронларнинг шундай жойлашиши натижасида атомлар орасида ўзаро тортиш кучи юзага келади. Бу ион ва ковалент боғланиш умуман кимёвий боғланишнинг энг чекка ҳолатидир. Табиатда булардан бошқа шу икки усулнинг аралашуви деб қараладиган боғланишлар ҳам кўп бўлади. Бунда электронлар атомлар орасида тенг тақсимланмайди.

Муайян қаттиқ моддаларда бўлиши мумкин бўлган кимёвий боғланишнинг усули, ўша қаттиқ жисмни ташкил этаётган атомларнинг потенциал ва кинетик энергиялари ўзаро таъсирига боғлиқ. Масалан, суюқлик ва газлар ташкил этган тузилмаларда бундай таъсир энг кичик умумий энергияга эга бўлганлиги учун жуда ҳам барқарор, яъни уларнинг барқарорлик даражаси энг юқори бўлади.

Мувозанат ҳолатидаги кимёвий боғланишларнинг юзага келишида энг чекка ташқи электрон қавати асосий вазифани бажаради. "Бетараф" атом янги электрон қабул қиладими, ёки ўз электронини электрон қаватидан чиқариб юборадими, оқибатда кучларнинг тақсимланишида ўзгаришлар юзага келади. Газ ҳолатидаги атомнинг ташқи электрони нинг электрон қаватидан чиқиб кетиши учун зарур бўлган кучни ўлчаб кўрса бўлади, у **биринчи ионланиш потенциали** дейилади. Электронга яқинлик электронни эркин атом билан бирикиши учун сарфланадиган куч билан ўлчанади. Элементларнинг атомлари электронларни қабул қиладими ёки бошқа атомга берадими, бунинг сабаблари жуда кўп. Жумладан, бу атом ядроларининг заряди ва катта-кичиклигига ҳам боғлиқдир. Ядронинг катта зар-

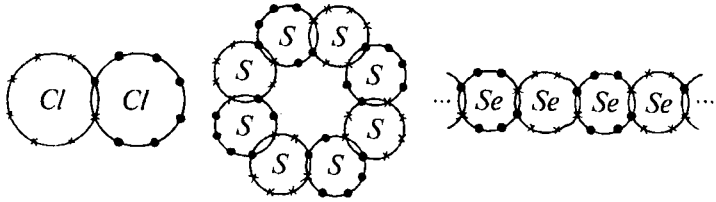
ядга эга бўлиши уни электронлар билан бирлаштиришни осонлаштиради ва аксинча, ажралишини қийинлаштиради. Йирик атомларнинг ташқи электрон қавати ядродан бирмунча узоқ жойлашган бўлиб, кучсиз тортилади. Шу қаватда жойлашган электронларнинг ажралиши ва бирлашиши учун унга нисбатан ортиқча куч сарфланмайди . Ядро билан ташқи электрон қавати орасида жойлашган электронлар ўша ядро билан ташқи қаватда жойлашган электронлар орасида мавжуд тортиш кучини сусайтиради, улар экран, яъни тўсиқ вазифасини бажаради. Умуман олганда, ҳамма атомлар ўз ташқи электрон қаватидаги электронлар сонини саккизтага етказишга (инерт газлар тузилишига) интилади. Ҳар қайси элементнинг ионланиш потенциали билан электронга яқинлик хусусиятини аниқлаш шу элемент атомининг қўшни электронларни тортиш даражасини ўлчаш имконини беради. Бу қимматни элементнинг электр манфийлиги дейилади, уни биринчи ионланиш потенциали ва электронга яқинлик хусусиятларининг ўртача таъсир кучи деб билиш мумкин. Элементларнинг биринчи ионлаши потенциалларини ўрганиш натижасида бу қиймат элементларнинг даврийлик жадвалида ўнгдан чап ва юқоридан пастга қараб кичиклашиб боради деган хулосага келиш мумкин. Электр манфийликни ҳисоблаш учун электронга яқинлик ва ионланиш потенциаллари қийматларидан фойдаланиш мумкин. Жумладан, электр манфийлик қимматини аниқлашнинг ҳам бир қанча усуллари мавжуддир. Шу қиймат қандай усул билан ҳисобланганига қарамай, умуман даврийлик жадвалида ўнгдан чапга қараб камая боради, гуруҳчаларда эса юқоридан пастга томон кичикланишга интилади (5-жадвал). Бошқачароқ қилиб айтганда, жадвалнинг ўнг қисмида жойлашган элементлар электронларни кучли, чап қисмида жойлашганлари эса электронларни кучсиз тортиш хусусиятига эга. Шунингдек, даврийлик жадвалининг юқори қисмида жойлашган кичик радиусли атомлар кам сонли электрон қаватига эга бўлиб, электронларни кучли тортиш хусусиятига эга, жадвалнинг қуйи қисмидан ўрин олган йирик радиусли атомлар кўп сонли электрон қаватига эга бўлиб, электронларни ўзига кучсиз тортади.

Кимёвий элементларнинг электр манфийлигига қараб икки элемент орасида юзага келадиган кимёвий боғланиш-

нинг турини аввалдан айтиб бериш мумкин. Электр манфийлик қий матлари орасида катта фарқ қиладиган элементлар қарама-қарши зарядли ионлар ҳосил қилишга интилади ва бунинг натижасида ион боғланишли бирикмалар юзага келади (электр манфийлиги ортиқроқ бўлган элемент манфий зарядли, бошқаси эса мусбат зарядли ион ҳосил қилади). Электр манфийлик қиймати бир-бирига яқин бўлган элементлар электронларни тенг куч билан тортиш хусусиятига эга. Натижада улар ўзаро электронларни тенг тақсимлаб олиб, ковалент боғланишни юзага келтиради. Электр манфийлик орасидаги фарқ унча катта бўлмаган элементлар қисман ион боғланишга, қисман ковалент боғланишга эга бўлган бирикмалар ҳосил қилади. Буни ҳар хил усул билан боғланган, яъни боғланишнинг аралаш турини юқори зарядланган катионлар билан тортилиши натижасида юзага келган, қиёфаси ўзгарган, электрон "булутлари" бўлган анионлар орасида юзага келган боғланиш деб қараш мумкин. Бундаги электрон "булутлар" ионлар орасидаги мавжуд тортилиш кучи таъсирида ўз қиёфасини ўзгартирган бўлади. Анионлар ташқи қаватдаги электронларни катионларга қараганда кучсиз тортади. Чунки анионлар қўшимча ионларга эга бўлгани ҳолда, катионларга электронлар етишмайди. Шунинг учун катионлар анионлардаги электрон туманликни деформациялаши — қиёфасини ўзгартириши мумкин.

Баъзи бир қаттиқ моддалар, айрим минералларнинг маълум қисми бу таърифлаганимиздан бошқачароқ, яъни анча бўш боғланиш хусусиятига эга бўлади. Ван-дер-вальс боғланишини шундай бўш боғланиш тури, яъни ион боғланишнинг хусусий ҳолати деб қараш мумкин. Ҳақиқий ион боғланишга эга бўлган ҳолларда қарама-қарши зарядланган ионлар мавжуд электростатик тортиш кучига мувофиқ бир-бирлари атрофида ушланиб туради. Ван-дер-вальс боғланишида эса мувозанат ҳолатидаги молекулалар бир томондан кучсиз манфий, иккинчи томондан кучсиз мусбат зарядга эга бўлганлиги учун молекулалар орасида кучсиз электростатик тортилиш юз беради. Бундай ҳолда боғланиш кучи ковалент ёки ион боғланиш кучининг юздан бир улушини ташкил этади.

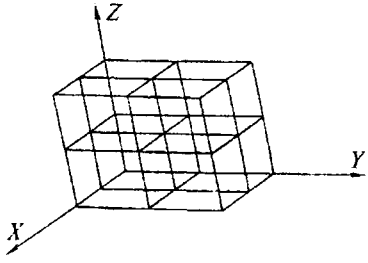
Мис ва шу каби моддаларда металларга хос боғланиш тури мавжуддирки, уни ковалент боғланишнинг бир тури деб қараш мумкин. Бунда атомнинг ҳар қайси электронлари



63-расм.

ҳамма қўшни атомларга ҳам тегишли бўлиб қолади. Бундай моддаларнинг электронлари эркин ҳаракат қилиш хусусиятига эга. Шунинг учун металлар электронлар "денгизида" сузиб юрувчи мусбат ионлардан иборат. Модда таркибида бир неча хил атомлар мавжуд экан, у ҳолда шу атомлар орасидаги боғланиш тури ҳам бир неча хил — қисман ковалент, қисман металл боғланишли бўлиши мумкин. Бундай ҳолда электронларнинг эркин ҳаракати қисман чекланиб қолади.

Ион боғланиш учун галит (65-расм), ковалент боғланиш учун ромбик олтингугурт Cl, Se (63-расм) энг яхши мисол бўла олади. Жуда кўп минераллар қисман ион, қисман ковалент боғланишга эгаки, натижада улар соф ион боғланишли ва соф ковалент боғланишли бирикмаларга хос хусусиятларга эга бўлиб қола олмайди. Масалан, кварц тизимида алоҳида-алоҳида молекулалар йўқ, эриш ҳарорати жуда юқори. Бу хусусиятлар ион боғланишли бирикмаларга хос. Кварц диэлектрик константи юқори бўлган эритмаларда эримайди, қиздириб эритилган ҳолатда ҳам электр ўтказмайди. Бу хусусиятлар ундаги мавжуд ковалент боғланишдан далолат беради.



64-расм.

Сульфид минералларда одатда уч хил кимёвий боғланиш, яъни ион, ковалент ва металл боғланиш турлари мавжуд. Жуда кўп сульфидларда кўпинча асосий боғланиш тури ковалент бўлгани ҳолда қисман металл ва камроқ даражада ион боғланишга ҳам эга. Шу билан бирга сульфидларда ме-

талл боғланиш турига хос хусусиятлар ҳам яққол кўриниб туради. Масалан, пиритнинг металлдек ялтираши темир атомлари орасида металл боғланиш тури мавжудлиги билан боғлиқдир. Лекин бунда темир билан олтингугурт атомлари орасида ковалент боғланиш тури мавжуддир.

II б о б

ЧЕКСИЗ ГЕОМЕТРИК ШАКЛЛАР СИММЕТРИЯСИ

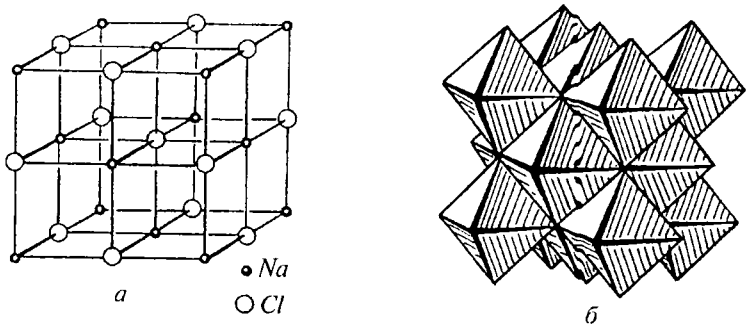
1. Трансляция

Кристаллографиянинг биринчи асосий қонуни кристалларни ташкил этувчи моддий нуқталарнинг фазода чексиз даврий равишда такрорланишини кўрсатади, бу ўз ўрнида фазовий панжара шаклида тасаввур этилади. Фазовий панжара — моддий нуқталарнинг фазода даврий равишда чексиз, маълум қонуният асосида такрорланишини тасвирловчи геометрик қурилма, яъни чексиз геометрик шаклдан ажратиб олинган қисмининг тасвиридир. Бу жиҳатдан қараганда фазовий панжара ўзига хос геометрик хусусиятларга эга бўлиб, чекланган геометрик шакллардан фарқ қилади. Шунга кўра:

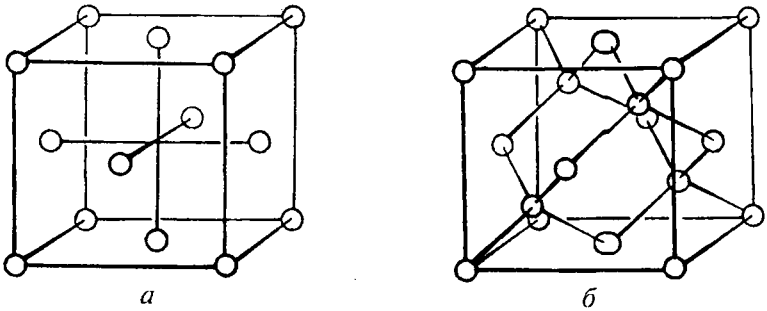
1. Кристалл тизимларни текширишда — тасвирлашда фақат муайян кристаллнинг тузилишининг ўзи учун хос бўлган қисми — элементар ячейкаси (64-расм) эътиборга олинади. 65-расмда галит (NaCl), 66-*а*, расмда мис (Cu), 66-*б* расмда олмос (C) кристалларининг элементар ячейкаси тасвирланган.

2. Элементар ячейка ва умуман кристалл тузилиши фазода маълум тартибда жойлашган моддий нуқталар мажмуасидан иборат чексиз геометрик шакл тасвирининг энг кичик бўлаги, деб қаралади. Уларнинг симметрияси фазода маълум қонуният асосида такрорланадиган моддий нуқталар симметриясининг ўзгинасидир.

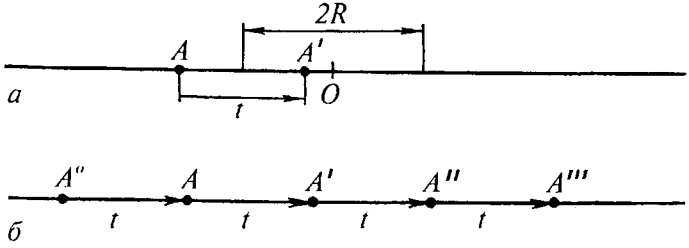
Кристалларнинг фазовий панжара асосида тушунтириладиган ички тузилиши — симметриясини ўрганишда трансляция тушунчасидан фойдаланилади. Трансляция — бутун бир тизим ёки ўша кристалл тузилишини ташкил этувчи моддий нуқталарнинг маълум йўналиш бўйича силжишини,



65-расм.



66-расм.



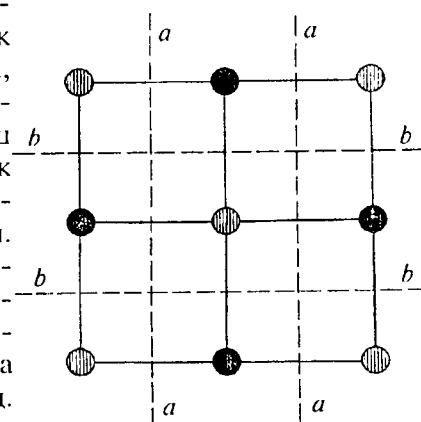
67-расм.

кўчишини кўрсатади. Кристалл тузилишида моддий нуқталарнинг даврий такрорланишини аниқ тасаввур этиш учун трансляция даври қийматини — силжиш масофасини (t) аниқлаш зарур (67-расм). Шу билан боғлиқ равишда фазовий панжара симметриясини тасвирлашда бирмунча мурак-

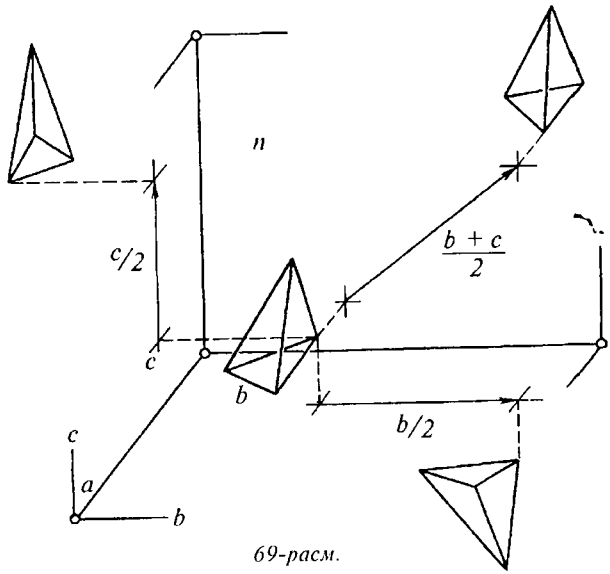
каб симметрия воситаларидан фойдаланишга тўғри келади. Улар чекланган геометрик шаклларда кўрганларимиздек, симметрия ўқи, симметрия текислиги ва симметрия марказидан бошқа яна трансляцион симметрия ўқлари ва текисликларидан иборатдир.

2. Трансляцион симметрия текисликлари

Чексиз геометрик шаклларда расмий симметрия текислигидан бошқа трансляцион симметрия текисликлари ҳам мавжуддир. Шундай симметрия текисликлари атрофдаги моддий нуқталарнинг акси шу текислик бўйича маълум масофага силжигандан кейин 1/2 трансляцияда такрорланади (68-расм). Шу трансляцион текисликлар бўйича моддий нуқталарнинг силжиш масофаси доимо 1/2 t га тенг. Тасаввур этилган текисликда моддий нуқта трансляцияси кристаллографик ўқларнинг биринчисига параллел йўналишда содир бўлса, "а"; иккинчи кристаллографик ўққа мос йўналган бўлса, "в"; учинчи кристаллографик ўқ бўйича йўналиш бўлса, с турдаги текислик дейилади ва шундай ҳарфлар билан белгиланади. Булардан ташқари, трансляцион текисликларнинг кристаллографик ўқларга нисбатан диагонал бўйича йўналганлари ҳам мавжуд. Булар "n" ва "d" шаклда белгиланади: "n" учун моддий нуқталарнинг шу текислик бўйича силжиш масофаси 1/2t га тенг. "d" учун эса 1/4t га тенг (69-расм). Шундай қилиб, чексиз геометрик шаклларда расмий симметрия текислиги "m" дан бошқа, қуйидаги трансляцион текисликлар ҳам мавжуддир: "а", "в", "с", "n", "d".



68-расм.

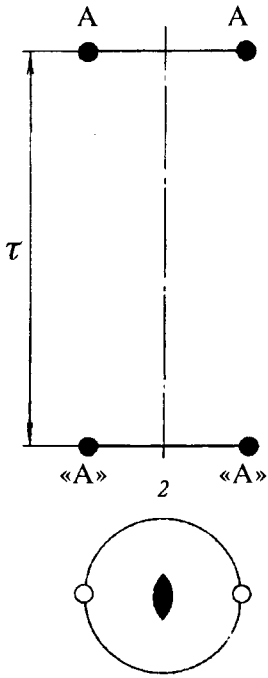


69-расм.

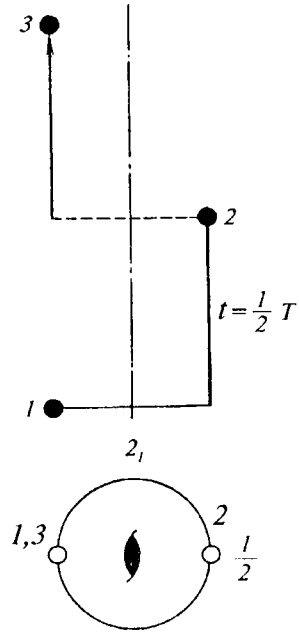
3. Трансляцион симметрия ўқлари

Трансляцион симметрия ўқлари мураккаб симметрия воситаси бўлиб, бунда моддий нуқталарнинг симметрия ўқи атрофида такрорланиши билан бир қаторда шу симметрия ўқи бўйлаб силжиши — трансляцияси назарда тутилади. Уларнинг симметриялик даражалари оддий симметрия ўқлари даражалари каби бўлади. Қуйида уларнинг таърифи ва тасвири берилади.

Иккинчи даражали трансляцион симметрия ўқи. Бу ўқ 2_1 шаклида ёзилади. 70-расмда расмий симметрия ўқи (2) тасвирланган бўлиб, унда моддий нуқталар шу ўқ атрофида бир текисликда икки марта такрорланади. 71-расмда эса: 1 нуқта симметрия ўқи атрофида 180° га айлантирилганда 2 нуқтага кўчиши керак эди. Лекин 1 нуқтанинг 3 нуқтага кўчиши лозим бўлган акси симметрия ўқи бўйича силжиб, t масофанинг ярмида 2 нуқтага кўчади. Шунингдек, шу моддий нуқта ўша ўқ атрофида яна 180° айлантирилганда у яна $\frac{1}{2}$t масофадан кейин 3 нуқтада ўз аксига эга бўлади. Демак, А нуқта шу ўқ атрофида айланиб, 180° га буралганда $\frac{1}{2}$t



70-расм.

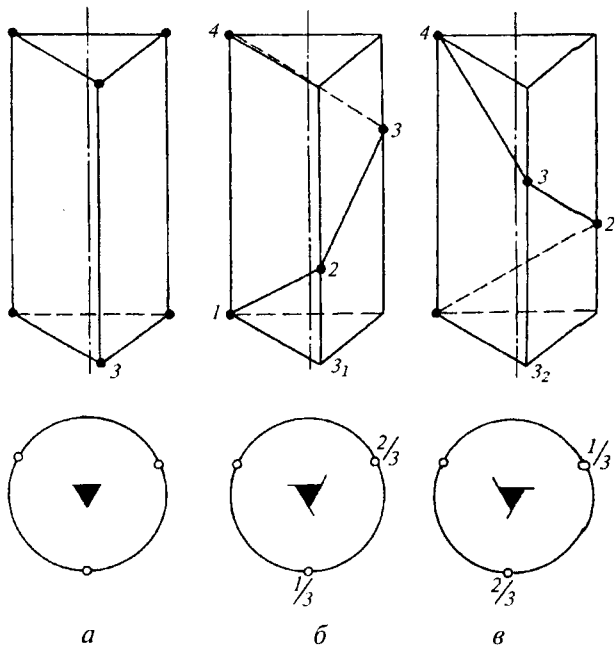


71-расм.

масофага силжийди. Шу расмда "Т" шаклида кўрсатилган масофа — трансляция (силжиш) масофаси дейилади. Расмдаги "1" нуқтанинг жойлашган ўрни 0 (ноль), 2 нуқтанинг тутган мавқеи 1/2 (ярим трансляция) ва 3 нуқтанинг ҳолати 1 (бирлик) деб ҳисобланади. 1 ва 3 нуқталарнинг чизма сатҳига тик туширилган сояси расмда кўрсатилганидек, бир нуқтага тушади. 2 нуқта акси 1/2 ишораси билан кўрсатилган. Шу ўқнинг тетраэдр шакли ёрдамидаги тасвири 76-расмда кўрсатилган. Маълумки, ўқлар чапга ёки ўнгга бурилганда илгарилаши мумкин. Иккинчи даражали трансляцион ўқлар чап ёки ўнгга бурилганда ҳам натижа бир хил бўлгани учун улар бир-биридан фарқ қилмайди. Умуман моддий нуқталарнинг силжиши (трансляцияси) шу ўқнинг соат мили каби айланиши билан илгариласа ўнг, акс ҳолда чап трансляцион ўқ дейилади.

Учинчи даражали трансляцион симметрия ўқлари. Шундай ўқ кристалл тузилишида мавжуд экан, моддий нуқта шу симметрия ўқи атрофида 120° га айлантирилганда ўқ йўналиши бўйича учдан бир трансляцияга — 1/3t масофага сурилади. Бундан кейинги 120° га буралганда моддий нуқта 2/3t масофага сурилади. Шу моддий нуқта яна 120° га буралганда бутун трансляция (t) масофага сурилади $\frac{2}{3}$t ўнг трансляция, 1/3t чап трансляция билан тенг қийматли, лекин тескари манфий ишоралидир: $3_2 = 3_{-1}$.

Расмий учинчи даражали айланма симметрия ўқлари 3 рақами билан, шундай трансляцион симметрия ўқлари икки хил бўлиб, 3_1 ва 3_2 ёки 3_{-1} каби белгиланади. Уларнинг биринчиси ўнг, иккинчиси чап винт ўқларидир. Демак, моддий нуқта шундай ўнг винт ўқи таъсирида 1 ҳолатдан 2/3 ҳолатга, бундан кейин 1/3 ва ниҳоят 0 ҳолатга ўтади. Чап винт ўқи атрофида, аксинча, 1 ҳолатдаги нуқта аввал 1/3 ҳолатга, кейин 2/3 ва ундан кейин, ниҳоят 0 ҳолатга кўча-

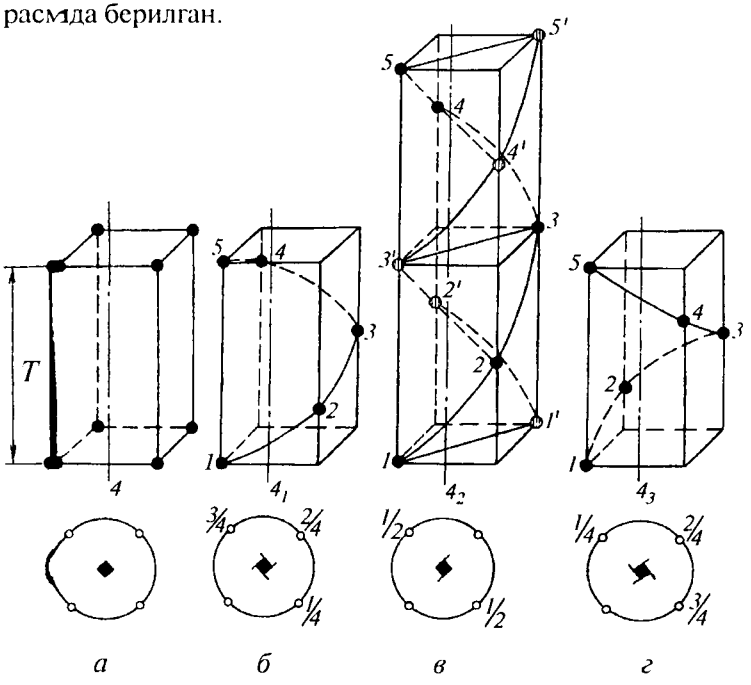


72-расм.

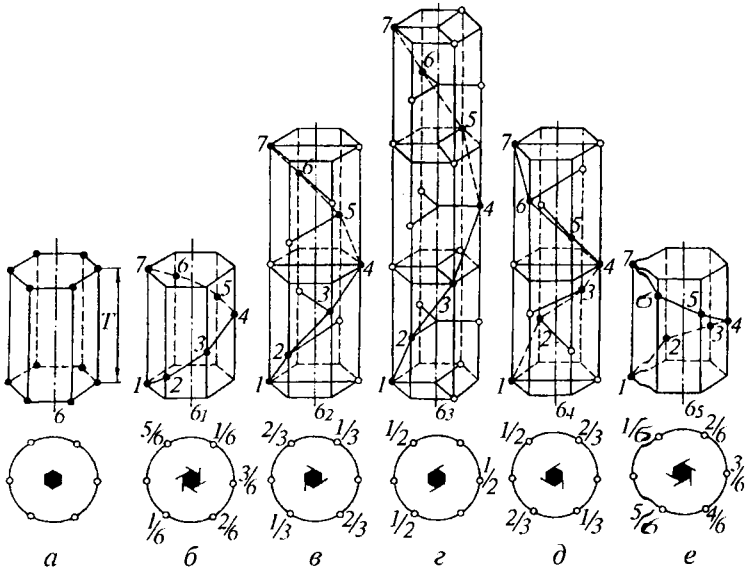
ди (72-расм). Шу ўқларнинг полиэдрлар ёрдамидаги тасвири 76-расмда кўрсатилган. Чап ва ўнг трансляцион ўқ шаклари энантиморф, яъни ёнма-ён қўйилган шундай шакларнинг текисликдаги акси бир-бирига тенг ва мосдир.

Тўртинчи даражали трансляцион симметрия ўқлари. Кристаллар тузилишида, умуман фазовий панжарада, расмий тўртинчи даражали (4) ўқлар билан бир қаторда трансляцион ўқлар ҳам мавжуддирки, бундай ўқлар атрофида моддий нуқталар соат мили бўйича ҳар 90° га айланганда 1/4 τ масофага силжийди. Бу хил ўқлар 4_1 каби белгиланади ва ўнг ўқ дейилади.

Шундай трансляцион ўқ чап ҳам бўлиши мумкин. Бундай ўқ 4_3 – 4_1 каби белгиланади. Булардан ташқари, 4_2 турдаги трансляцион ўқлар ҳам бўладики, бу ҳолда моддий нуқталар ўқ атрофида иккиталаб (нуқталар орасидаги бурчак 90°) 180° да 1/2 масофадан кейин такрорланади (73-расм). Шу ўқларнинг полиэдрлар билан ифодалангани 76-расмда берилган.



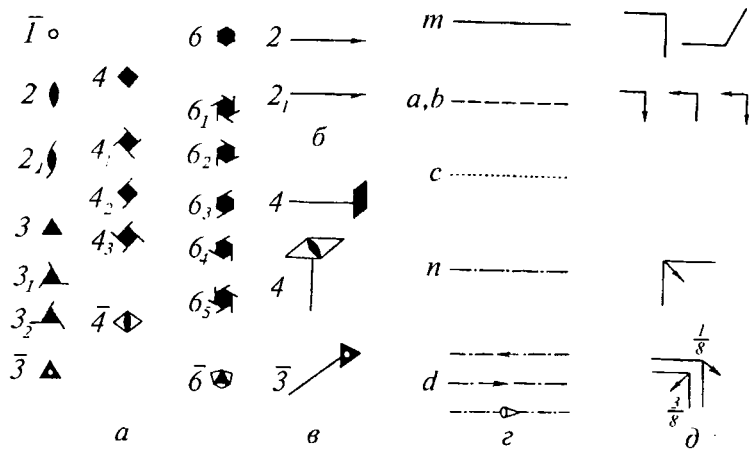
73-расм.



74-расм.

Олтинчи даражали трансляцион симметрия ўқлари. Расмий олтинчи даражали симметрия ўқларида бўлгани каби моддий нуқта шундай ўқлар атрофида ҳам ҳар бир 60° да такрорланади. Лекин такрорланаётган моддий нуқталар шу ўқ йўналиши бўйича 1/6, 2/6, 3/6, 4/6 ва 5/6 трансляцион масофага сурилади. Бунда 2/6 = 1/3, 3/6 = 1/2 ва 4/6=2/3 экан, бундай хулосага келиш мумкин; моддий нуқталар шу ўқ атрофида иккиталаб 120° гача айлантирилганда 1/3 $\tau 6_2$ ўнг ўқ бўлганда $\tau/2$, 3, чап ўқ бўлганда, $6_4 = 6_{-2}$ масофага силжийди. Бундан ташқари, моддий нуқталар шу ўқ атрофида учталаб (бир текисликда ётган уч нуқта орасидаги бурчак 120° (1/2 трансляцион масофага силжиган ҳолатда такрорланиши мумкин (74-расм). Шу ўқнинг полиэдрлар билан тасвирлангани 76-расмда кўрсатилган.

Шундай тасаввур этилган ўқ 6_3 энантиморф бўлмайди. Демак, олтинчи даражали трансляцион симметрия ўқларининг 6_1, 6_2, $6_4 = 6_{-2}$ ва $6_5 = 6_{-1}$ каби белгиланганлари ўзаро энантиморфдир.



75-расм.

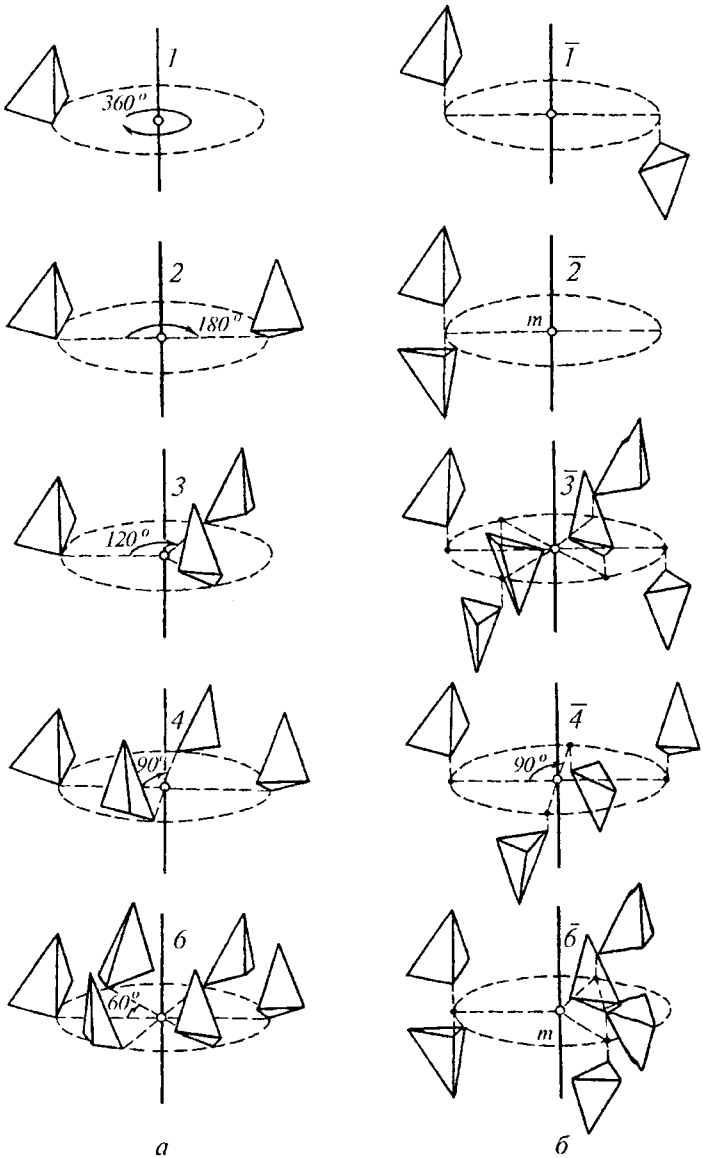
Умумий, чексиз геометрик шакллар (дисконтинуум) да тасаввур этиш мумкин бўлган расмий, инверсион ва трансляцион айланма симметрия ўқлари қуйидагилардан иборатдир:

Олтинчи даражали	6	$\bar{6}$	6_1	6_2	6_3	6_4	6_5
Тўртинчи даражали	4	$\bar{4}$	4_1	4_2	4_3		
Учинчи даражали	3	$\bar{3}$	3_1	3_2			
Иккинчи даражали	2	$\bar{2}$	2_1				
Биринчи даражали	1	$\bar{1}$					

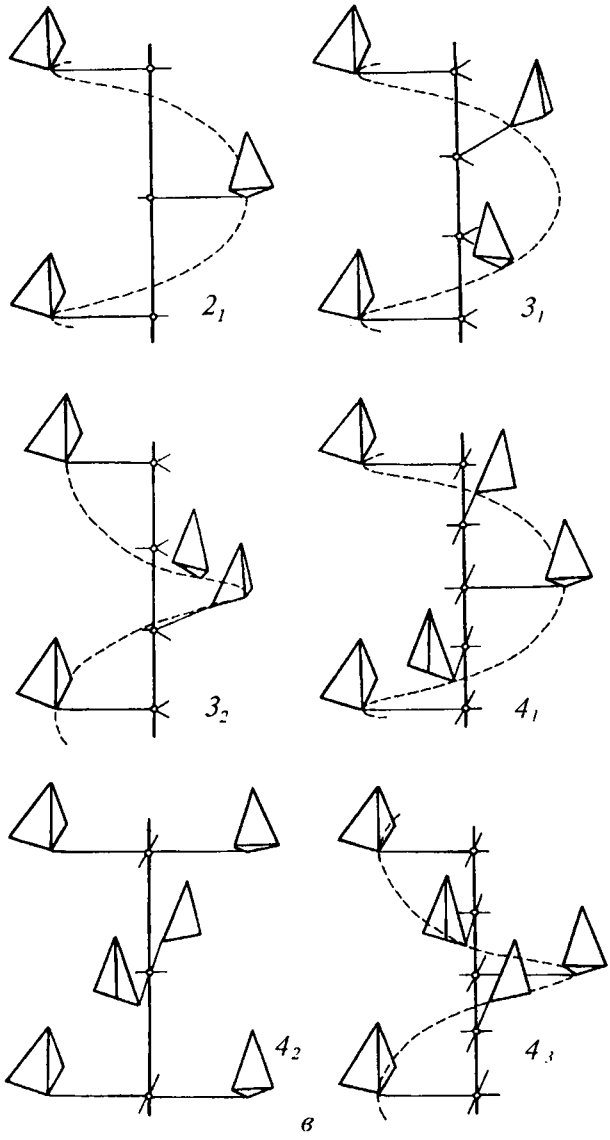
Шу симметрия воситаларининг чизмада тасвирлаш услуби 75-расмда келтирилган.

4. Федоровнинг фазовий гуруҳлари

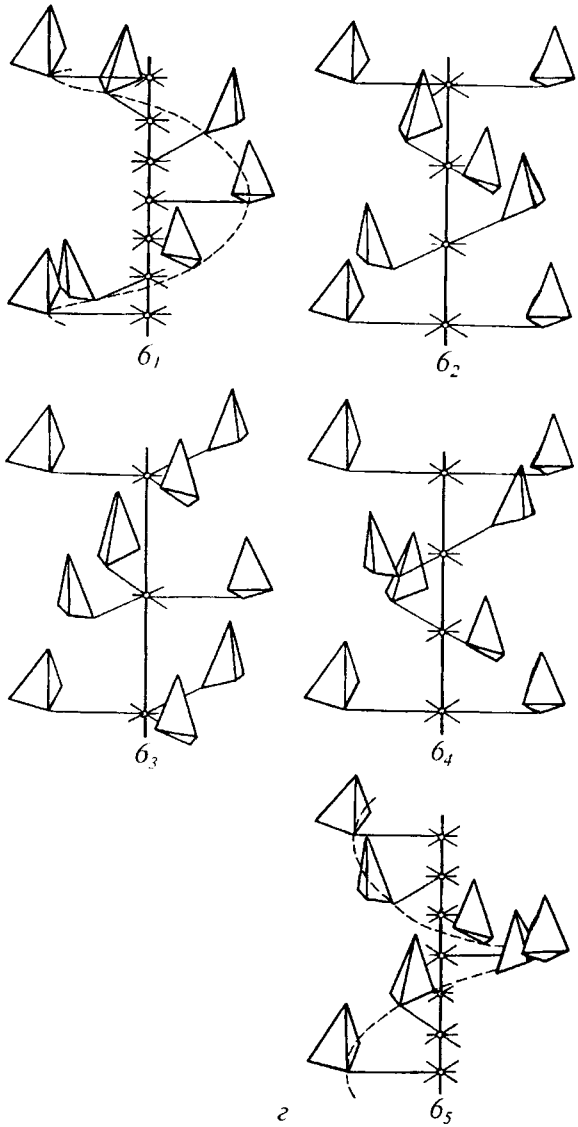
Муайян кристаллнинг симметриялик даражаси ўша кристаллни ташкил этувчи элементар ячейка учларида жойлашган моддий нуқталар гуруҳи симметриясига боғлиқдир. Масалан, моноклин сингония кристалли фазовий панжарасида трансляцион симметрия текислиги билан шунга тик йўналишда иккинчи даражали симметрия ўқи — 2 мавжуддирки, бу моноклин сингониянинг призматик 2/m син-



76-расм.



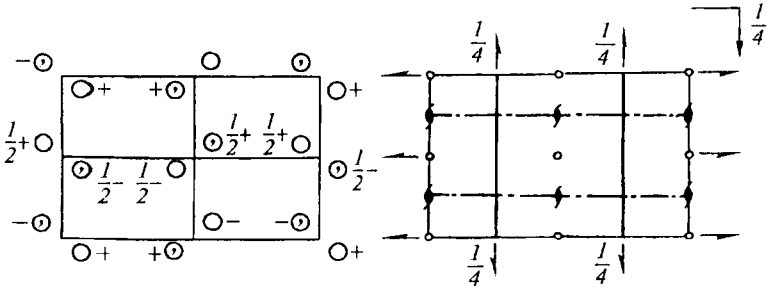
76-расмнинг давоми



76-расмнинг давоми

фига мансубдир. Агар ҳар қайси моддий нуқталар m гуруҳи биргина трансляция текислиги, ёки биргина 2 бўладиган бўлса, m ёки 2 синфига мансубдир. Мана шу моноклин сингониянинг уч синфи — 2/m, m ёки 2 элементар ячейкасининг турига (содда, асослари марказлашган) ва қанақа симметрия воситалари (расмий ёки трансляцион) мавжудлигига қараб, моддий нуқталарнинг жойлашиш услуби бир неча турли бўлиши мумкин.

Шундай қилиб, 32 синфнинг ҳар бир кристалл шакли бир неча хил ички тузилишга, яъни моддий нуқталарнинг ўзига хос жойлашиш тартибига эга. Бу тартибларнинг ҳар бири — Федоров гуруҳлари ўзига хос элементар ячейка турига (P, I, F, C, R) ва симметрия воситаларига — трансляцион симметрия ўқлари, масалан, 4, 4_1, 4_2, 4_3 каби ёки трансляцион ва оддий симметрия текислиги *m, n, d, a, b, c* ва ҳ. к. эга бўлади. Шуларни ҳисобга олганда ниҳоят шу моддий нуқталарнинг фазода жойлашиш қонуни 230 тага етади. Буни машҳур минеролог —кристаллограф олим Е. С. Федоров математик йўл билан ҳисоблаб чиқади ва 1890 йили "мунтазам шаклларнинг симметрияси" китобида баён этади. Федоров гуруҳларининг илмий китобларда халқаро миқёсда баён этилиш услуби қуйида ромбик сингонияга мансуб Pmmm синфи кристали мисолида кўрсатиб ўтилади. Аммо бу гуруҳларнинг ҳаммасини батафсил таърифлаш ушбу китобда кўзда тутилмаган (77-расм).



77-расм.

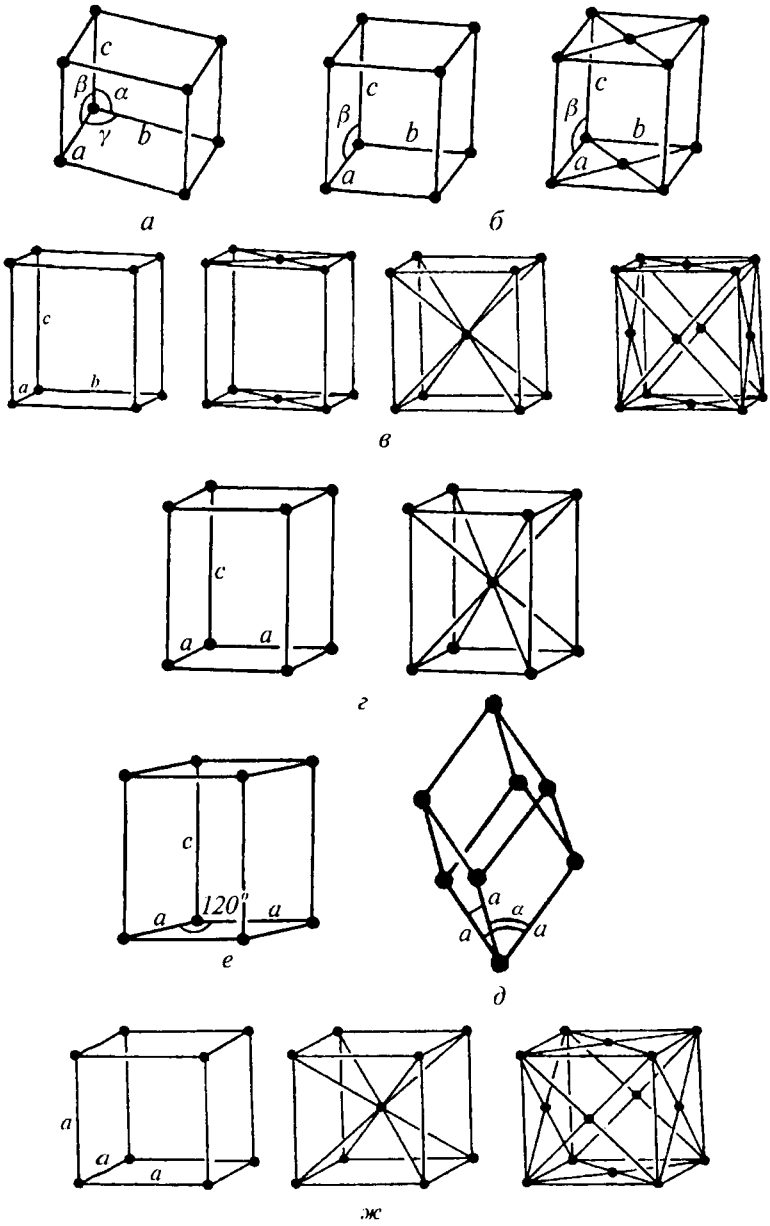
5. Трансляцион панжаралар

Бравэнинг 14 панжараси. Кристалл фазовий панжаралари фазода чексиз такрорланадиган элементар ячейкалардан ташкил топгандир. Ҳар қайси сингония ёки симметрия кўриниши — синфи ўзига хос элементар ячейкага — фазода чексиз қайтарилиб бутун бир кристалл тузилишини ташкил этадиган такрорланувчи параллелепипедларга эга. Ҳар қайси элементар ячейканинг ўзига хос ўлчамлари: қирралари узунлигининг нисбати ва ёнлари орасидаги бурчакнинг қиймати бўлади. Кристалл тузилишларида бўлиши мумкин бўлган элементар ячейкаларнинг ҳамма турлари О. Бравэ томонидан 1855 йили кашф этилганлиги учун улар Бравэ панжаралари дейилади. Шу 14 панжара қуйидагича турларга бўлинади: 1) примитив-содда Р тури — бунда моддий нуқталар фақат элементар ячейканинг учларидан жойлашган бўлиб, уларнинг жойлашган ўрни (000) каби белгиланади. Бу турли ячейкалар 7 хил бўлиб: улар триклин, моноклин, ромбик, тетрагонал, гексагонал, кубик ва ромбоэдрик қиёфаларда учрайди. Фазовий панжара текис турларининг 5 хил бўлиши ва моддий нуқталар элементар ячейканинг асоси марказида, ҳар қайси ёнлари ўртасида ва ҳажми марказида жойлашиши мумкин эканлиги ҳисобга олинса, у ҳолда шу элементар ячейкаларнинг қуйидагича турлари ва хиллари мавжудлигини тасаввур қилиш мумкин (78-расм); 2) асослари марказлашган С — тури — моноклин, ромбик сингония кристаллари учун мансуб; 3) ёнлари марказлашган F тури — ромбик ва кубик сингония кристаллари учун хос; 4) ҳажми марказлашган I тури — фақат ромбик, тетрагонал ва кубик сингония кристаллари учун мансубдир.

Шу элементар ячейкаларнинг ҳаммаси (гексагоналдан ташқари) параллелепипедлар шаклида бўлади, шунинг учун ҳам баъзан улар элементар параллелепипедлар ёки такрорланувчи элементар параллелопипедлар дейилади. Гексагонал панжарани ҳам параллелепипедларга ажратиш мумкин. Бундан икки хил ячейка ҳосил бўлади:

1) С туридаги ортогексагонал ячейка. Бунинг учун қирралар узунлигининг нисбати *в-а* $a\sqrt{b}$ бўлади.

2) гексагонал примитив, бунда а = в, асоси ромб кўринишида, бурчаклари 60° ва 120° га тенг бўлади (78-расм, *е*).



78-расм.

Шундай қилиб, Бравэ панжаралари сингониялар бўйича қуйидагича тақсимланади:

1. Триклин сингония (*а*) кристалларида биргина P туридаги ячейка бўлиши мумкин:

2. Моноклин сингония (*б*) кристаллари учун иккита — P ва C туридаги ячейка;

3. Ромбик сингония (*в*) кристаллари учун тўртта — P, C, F ва I туридаги;

4. Тетрагонал сингония (*г*) кристаллари учун иккита —P ва I туридаги;

5. Тригонал сингония (*д*) кристаллари учун битта R туридаги;

6. Гексагонал сингония (*е*) кристаллари учун битта — P туридаги;

7. Кубик сингония (*ж*) кристаллари учун учта — P, F ва I туридаги ячейкаларнинг бўлиши шу сингониялар учун хос хусусиятдир.

Е. С. Федоров таърифига кўра юқорида келтирилган элементар ячейкаларни тўртта бошланғич турдан (уларни куч таъсирида ўзгартириб) ҳосил қилиш мумкин: 1) кубик примитив Федоров таърифига кўра гексаэдрик ячейкадан; 2) ҳажми марказлашган кубик (октаэдрик); 3) ёнлари марказлашган кубик (додекаэдрик) ва 4) гексагонал примитив (призматик) ячейкадан.

Мана шу тўртта бошланғич турнинг ўзи, яъни барча маълум бўлган кристалларнинг элементар ячейкаси иккита кубик ва гексагонал турларга бўлинади, Е. С. Федоров кашф этган кристаллографик чекланиш қонунининг асосий мазмуни ҳам асосан шундан иборатдир. Ҳақиқатан ҳам бошқа сингонияларда кристалланадиган табиий моддаларнинг кристаллари ҳам кубга ўхшаш ёки псевдокубик (масалан, барит билан пироксен) ёки гексагонга ўхшаш псевдогексагонал (масалан, слюда билан амфибол) қиёфасига эга бўлиши мумкин.

Табиий кристаллардаги эътиборни ўзига тортадиган бу хусусият Н. В. Белов томонидан илмий асосланган шарларнинг зич жойлашиш назариясида ҳам ўз аксини топган бўлиб, шу қонуниятга кўра кристалл тузилишини ташкил этувчи тизим бирликлари (атомлар, ионлар) фақат икки хил кубик ва гексагонал тартибда зич жойлашиши мумкин (80-расмга қаранг).

6. Элементар ячейкадаги атомларнинг сони

Элементар ячейкадаги ҳар бир атомнинг жойлашган ўрни тасвирланган нуқта фазовий панжара тугунчалари дейилади. Лекин баъзан атомлар шу фазовий тугунчалар атрофида тўда-тўда бўлиб бир нечтадан жойланиши ҳам мумкин.

Тизим бирликлари — атомларнинг сони элементар ячейкада, шу жумладан элементар ячейканинг турига қараб ҳар хил бўлади.

Маълумки, элементар ячейка — Бравэ панжараларининг сони 14 та бўлиб, улар қуйидаги турларга бўлинади:

P-тури; R-тури; C-тури; I-тури; F-тури.

Гексагонал сингониядан бошқа сингонияга мансуб бўлган примитив — содда ячейкаларнинг ҳаммасида атом ёки ионлар шу ячейкаларнинг параллелепипедлари учларида жойлашади. Бундай учларнинг сони 8 та бўлиб, уларнинг ҳар бири, айни бир пайтда 8 та ячейкага тегишлидир. Демак, ячейкаларнинг бу турида атом ёки ионларнинг сони $8 \cdot \frac{1}{8} = 1$ га тенг.

Гексагонал примитив (P) ячейканинг асоси ромб шаклида бўлиб, қирралари орасидаги бурчаги 120° га ва 60° га тенгдир. 120° ли бурчакларининг учида жойлашган атомнинг $\frac{1}{6}$ улуши ва 60° ли бурчакларнинг учида жойлашган атомнинг $\frac{1}{12}$ улуши шу ячейканинг ўзи учун тегишлидир. Ҳар қайси элементар ячейканинг шундай бурчакларида жойлашган атомларнинг сони 4 тадан эканлиги эътиборга олинса, ҳар бир ячейкага тўғри келадиган атомлар сони қуйидагича ҳисоблаб чиқилади:

$$\frac{1}{6} \cdot 4 + \frac{1}{12} \cdot 4 = 1$$

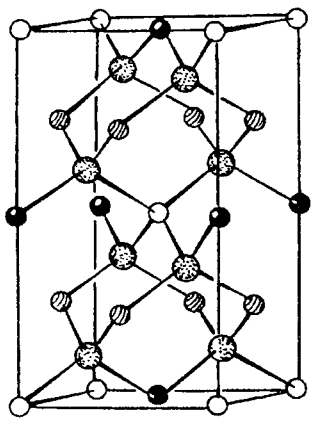
Бундай ячейканинг ҳар қайси учида жойлашган ҳар бир атомнинг фазода тутган ўрни (ooo) каби тасвирланади.

Элементар ячейкаларнинг ёнлари марказлашган — I турида тузилиш бирликлари шу элементар параллелепипеднинг учларида ва ҳар қайси ёнининг марказларида жойлашади. Демак, бундай панжарада атомлар икки хил жойлашган бўлиб, уларнинг бир хили панжаранинг учларида (000) нуқтада, иккинчилари иккита элементар ячейка учун умумий бўлган

текисликда, яъни иккинчи хил атомлар кристаллографик ўқларга нисбатан $\left(0\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$; $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}0\right)$; $\left(\frac{1}{2}0\frac{1}{2}\right)$; $\left(0\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$; $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}0\right)$; $\left(\frac{1}{2}0\frac{1}{2}\right)$ каби нуқталар ўрнида жойлашади. Биринчи хил атомлар сони 8 та, иккинчи хил атомлар сони эса 6 та, ячейкадаги атомларнинг умумий сони $Z = \frac{1}{8}\cdot 8 + 6\cdot\frac{1}{2} = 4$ га тенг.

Элементар ячейкаларнинг ҳажми марказлашган F турида атом ёки ионлар шу ячейканинг учларида (000) мавқеини, ҳажми марказида эса $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$ мавқеини эгаллайди. Демак, бундай элементар параллелепипедлардаги атом ёки ионларнинг сони $Z = \frac{1}{8}\cdot 8 + 1 = 2$ га тенг.

Асослари марказлашган, ячейканинг С турида атом ёки ионлар элементар параллелепипеднинг асослари марказида $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}0\right)$; $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}\bar{0}\right)$ мавқени ҳамда шу параллелепипеднинг учларида (000) мавқени ишғол этади. Бунда атом ёки ионларнинг умумий сони $Z = \frac{1}{8}\cdot 8 + \frac{1}{2}\cdot 2 = 2$ га тенг бўлади.



○ *Fe* ◍ *Cu* ● *Sn* ○ *S*

79-расм.

Ҳисоблаб чиқилган шу тизим бирликларининг сони фақат содда бирикмалар учун хосдир. Мураккаб кимёвий бирикмаларнинг элементар ячейкалардаги атом ёки ионларнинг сони ва турлари кўп бўлади, шу туфайли уларнинг тутган ўрни ва симметриясини тасаввур этиш ҳам анча мураккаб. Бундай ҳолларда ҳам кристаллнинг элементар ячейкаси шу кўрсатилган усул билан таҳлил этилади. Бу 79-расмда станин мисолида кўрсатилган. Фазовий панжараси — ҳажми марказлашган I турига мансуб, симметрия кўриниши 42m.

7. Тузилиш бирликларининг жойланиш зичлиги

Муайян модда кристаллининг ҳар бир элементар ячейкасига тўғри келадиган атомларнинг ҳажми — шу ячейканинг зичлиги дейилади ва у фоиз ҳисобида ифода этилади.

Шу элементар ячейкадаги иккита бир хил шар марказлари орасидаги масофа R га тенг бўлар экан, битта шарнинг радиуси $r = \frac{R}{2}$ га тенг, ҳажми $V_A = \frac{\pi}{4} R^3 A^3$, агар элементар ячейкада n та шар бўлса, уларнинг умумий ҳажми $V_n = \frac{\pi}{6} nR^3 A^3$ га тенг.

Элементар ячейканинг ҳажми $V\varepsilon = A^3$ бўлар экан, шарларнинг жойланиш зичлиги $\rho = \frac{V_n}{V_\varepsilon}$ 100% каби аниқланади.

Бу тенгламадан элементар ячейка P турининг зичлиги — $\rho = \frac{\pi}{6}\sqrt{1} \cdot 100 = 52\%$; I турининг зичлиги — $\rho = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{\sqrt{27}}{4} 100 = 68\%$.

F турининг зичлиги — $\rho = \frac{\pi}{6} \cdot \sqrt{2} \cdot 100 = 74\%$

H — гексагонал турининг зичлиги — $\rho = \frac{\pi}{6}\sqrt{2} \cdot 100 = 74\%$ га тенг.

Шунга ўхшаш йўл билан элементар ячейкадаги тизим бирликлари сонини ҳам ҳисоблаб чиқиш мумкин. Бунинг учун қуйидаги оддий тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\eta = \frac{\delta_x \cdot N \cdot V}{A}$$

бунда δ_x — солиштирма оғирлиги, N — Авогадро сони, A — атом оғирлиги, V — элементар ячейканинг ҳажми см куб ҳисобида олинади. Мисол учун миснинг элементар ячейкадаги атомларининг сони:

$$n = \frac{8{,}93 \cdot 6{,}02 - 10^{23} \cdot 46{,}7 \cdot 10^{-24}}{63{,}57} = 3{,}95 \approx 4$$

элементар ячейканинг зичлигини $\delta_x = 1{,}66020 \frac{\varepsilon A}{V}$ тенглик ёрдамида аниқлаш мумкин.

Бу тенглама ёрдамида шу усул билан бошқа кимёвий моддаларнинг ҳам зичлигини ҳисоблаб чиқиш мумкин.

8. Кристалл тизими бирликларининг зич жойлашиш қонуни

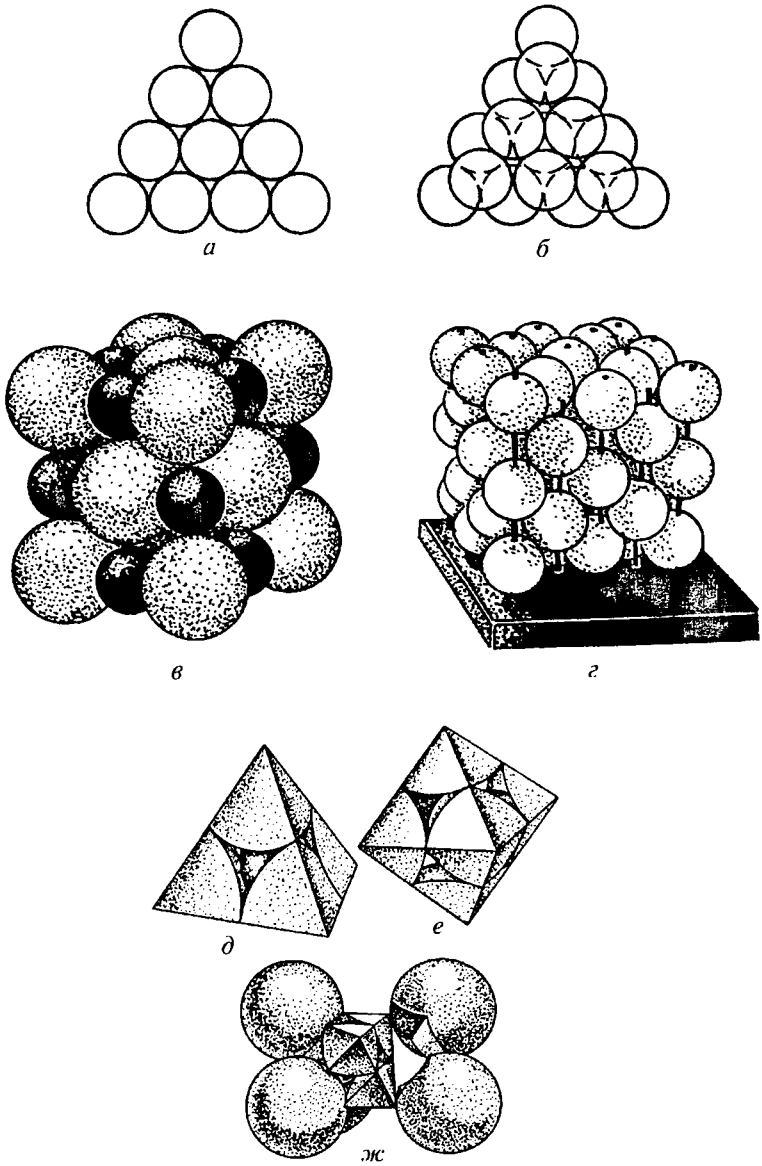
Баъзи бир элементлар, металл қотишмалари ва ион кристаллар тузилишини зич жойлашган шарлар тузилиши билан таққослаб кўриш мумкин. Уларнинг геометрияси билан симметрияси қуйидагича тасаввур этилади. Зич жойлашган шарларнинг марказидан 6-олтинчи даражали симметрия ўқи, шарлар орасидан — 3; икки шар бир-бирига тегиб турган нуқтасидан — 2 ўқлари ўтади; шарлар орасидаги бўшлиқлар сони шарлар сонидан икки марта кўп бўлади (80-расм, *а*).

Кейинги қаватнинг биринчи қават устида зич жойлашиши учун ундаги шарлар бўшлиқ устида ўрнашган бўлиши керак (80-расм, *б*). Натижада шу икки қават учун 3 билан m сақланиб қолади. Демак, қуйидаги симметрия гуруҳларини ўз ичига олади: P3ml, R3m, $P\bar{3}ml$, $R\bar{3}m$, $P\bar{6}m2$, $P6_3mc$, $P6_3/mc$; $Fm\bar{3}m$ (уларнинг ҳаммаси саккизта).

Бошланғич, биринчи қаватдаги шар А билан белгиланса, устки қаватдаги шарлар В ва С мавқеини ишғол этиб, А ёки С қаватини ҳосил қилиш мумкин. Учинчи қават шарлари В қаватдаги а ёки с оралиқ устида жойлашади ва ҳ.к. Шундай қилиб, мана шу А, В, С каби белгиланган шарлар қават-қават бўлиб ётади. Шу билан бирга, бир хил ҳарфлар билан белгиланган шарлар устма-уст бир-бирига тегиб турмайди. Ҳар қайси зич жойлашган кристалл тузилишида зичлик даражаси 74,05 фоизни ташкил этади.

Икки қаватлама "АВАВ" туридаги зич жойлашиш гексагонал жойлашиш дейилади. Ундаги симметрия воситалари $P6_3/mm$ с дан иборат. Уч қаватлама жойлашиш... АВС АВС тури (80-расм) кубик ёнлари марказлашган жойлашиши дейилади. Унинг симметрия гуруҳи Fm3m дан иборат. Шундай қилиб, шарларнинг зич жойлашиши гексагонал (*г*) ёки кубик (*к*) қонунлар асосида тузилади: Na, Al, Cu, Fe, Au ва бошқалар кубик; Mg, Be, Cd, Zn каби металлар гексагонал зич жойлашишга мисол бўлади.

Шарларнинг зич жойлашиши қонунига асосан кристалларнинг ички тузилиши бирмунча мураккаб кўринишга эга бўлиши мумкин. Ўша зич жойлашган шарлар орасидаги бўшлиқ икки хилдир. Остки қават шарлари орасидаги бўшлиқ устида кейинги қават шарлари жойлашган ҳолда улар орасида тўртта



80-расм.

шар оралиғида тетраэдрик (80-*е*, расм) иккинчи турли зич жойлашган шарлар орасида — олтита шар оралиғида октаэдрик (80-*ж*, расм) бўшлиқ ҳосил бўлади. Ҳар қандай зич жойлашган шарлар оралиғидаги тетраэдрик бўшлиқлар сони шарлар сонидан икки марта кўп, октаэдрик бўшлиқларнинг сони эса шарлар сонига тенг бўлади. Кристаллар тизимидаги мана шу шарлар — анионлар оралиғидаги бўшлиқлар — кичик радиусли катионлар билан ишғол этилиши мумкин. Тетраэдрик бўшлиқларни ишғол этувчи катионларнинг ион радиусли 0,225 Å га, октаэдрик бўшлиқларни ишғол этувчи катионларнинг ион радиуси 0,415 Å га тенг бўлади. Шундай қилиб, анионлар орасидаги бўшлиқларда жойлашиши мумкин бўлган катионларни ион радиусига қараб аниқлаш мумкин. Лекин шуни ҳам унутмаслик керакки, жуда кўп ҳолларда зич жойлашган шарлар бир-бирига тегмайди. Улар оралиғидаги бўшлиқда жойлашган шар бирмунча катта бўлиб, зич жойлашган шарларни атрофга суриб юборади. Шунга қарамай, шарлар марказини кристалл тузилишида тутган ўрни зич жойлашиш қонунига бўйсунади ва бўшлиқларнинг тўлдирилиши ҳамда симметрияли даражаси сақланиб қолади. Шундай назарияга асосланиб, ҳар қандай кристалл тузилишини ҳам таърифлаш мумкин. Масалан, кубик зич жойлашган шарлар оралиғидаги октаэдрик бўшлиқларнинг ҳаммаси катионлар билан ишғол этилар экан, NaCl туридаги кристалл тузилиши юзага келади (80-расм, *д*); гексагонал зич жойлашган шарлар орасидаги октаэдрик бўшлиқларнинг ҳаммаси катионлар билан тўлдирилар экан NiAs туридаги кристалл ҳосил бўлади ва ҳ.к.

9. Фазовий панжара текис тўрлари

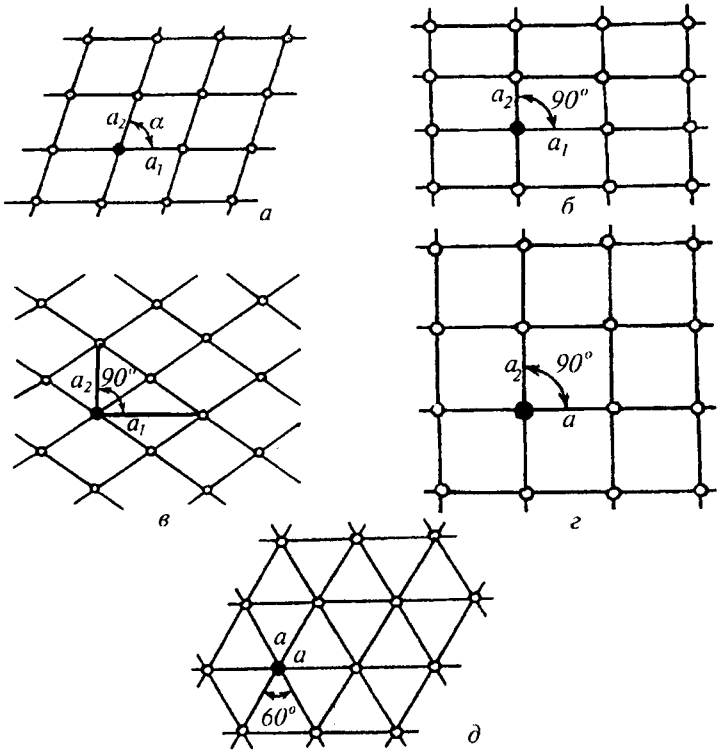
Маълумки, фазовий панжаранинг моддий тугунчалари бир йўналиш бўйича чексиз даврий такрорланиб, шу панжаранинг қаторини (a_1) ва шу қатор иккинчи йўналишда (a_2) чексиз даврий такрорланиб, текис тўрини ҳосил қилади. Фазовий панжаранинг шу текис тўри умуман параллелограммлардан ташкил топган бўлади. Ҳар қайси параллелограмм иккита а ва в қиррасининг узунлиги ҳамда улар орасидаги бурчак α қиймати билан бир-биридан фарқ қилади.

Шу қаторлар бўйича моддий нуқталарнинг силжиш масофаси — t нинг қиймати биринчи йўналиш бўйича a, иккинчи йўналиш бўйича a_2 бўлиб, улар ўзаро тенг бўлмаса, яъни α 90° бўлса, у ҳолда параллелепипед марказидан ўтган иккинчи даражали симметрия ўқига эга бўлади.

Шунингдек, $a_1 \neq a_2$, $a_2 = 90°$ бўлса, шу иккинчи даражали симметрия ўқи устидан ўзаро перпендикуляр иккита симметрия текислиги ҳам ўтади. Бундай ҳолда шундай симметрияга эга бўлган бошқа текис тўр ҳам бўлиши мумкин (81-расм).

Агар $a_1 = a_2$, $a_2 - 90°$ бўлса, параллелепипед марказидан ўтадиган битта L_4 ва шу ўқ устида кесишадиган тўртта симметрия текислиги ҳам мавжуд.

Агар $a_1 = a_2$ ва $a_2 = 60°$ ёки, шунингдек, $\alpha = 120°$ бўлса, биринчи ҳолатда жойлашган ҳар қайси тугунча устидан L_6



81-расм.

бр ва иккинчи ҳолатда жойлашган тугунча ўртасидан L_3 3р ўтади.

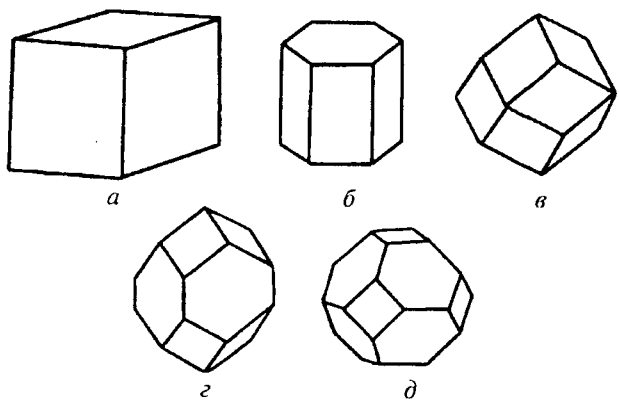
Юқорида айтиб ўтилганидек, параллелограммлар узлуксиз такрорланиб, текис тўр ҳосил қилади. Текис тўрларда эса турлича тартибда такрорланувчи параллелограммларни танлаш мумкин.

Параллелепипед қирраларининг узунлиги ва бир-бирига нисбатан тутган ўрни (улар орасидаги бурчаги) рентген нурлари ёрдамида тадқиқ этилади.

10. Параллелоэдрлар назарияси

Параллелоэдрлар — параллел ёнлилар демакдир. Кристалланган жисмни ташкил этувчи фазовий панжара маълум тартиб билан жойлашган атомлар билан тўла. Шу фазо ҳар қайси атомга бўлинар экан, шу атомларнинг ҳар бирига тўғри келадиган мавқеи мутлақо бир хил бўлиб, улар ўша фазода бир хил йўналгандир. Шундай қилиб, фазони бўш оралиқсиз тўлдириб келадиган, параллел ёнлар билан чекланган ўзаро мос равишда жойлашган, бир-бирига тенг геометрик шакллар параллелоэдрлар дейилади (82-расм).

Параллелоэдрларнинг ўзига хос умумий хусусиятлари мавжуд. Жумладан: 1. Ҳар бир параллелоэдр тенг ва параллел жуфт ёнларидан иборат. 2. Унинг ёнлари фақат тўрт бурчакли ёки олти бурчакли бўлиши мумкин. 3. Улар



82-расм.

Е.С. Федоров исбот этганидек, қуйидагича тўрт кўринишда бўлиши мумкин:

а) Трипараллелоэдр — уч жуфт параллел ёнлардан иборат шакл, бундай шаклнинг энг юқори даражали симметрияга эга бўлган тури кубдир.

б) Тетрапараллелоэдр — тўрт жуфт параллел ёнлардан иборат шакл, асослари олтинчи даражали симметрия ўқига тик йўналган пинакоид билан гексагонал призмадан ташкил топган, бу энг юқори даражали симметрияга эга бўлган тетрапараллелоэдрдир.

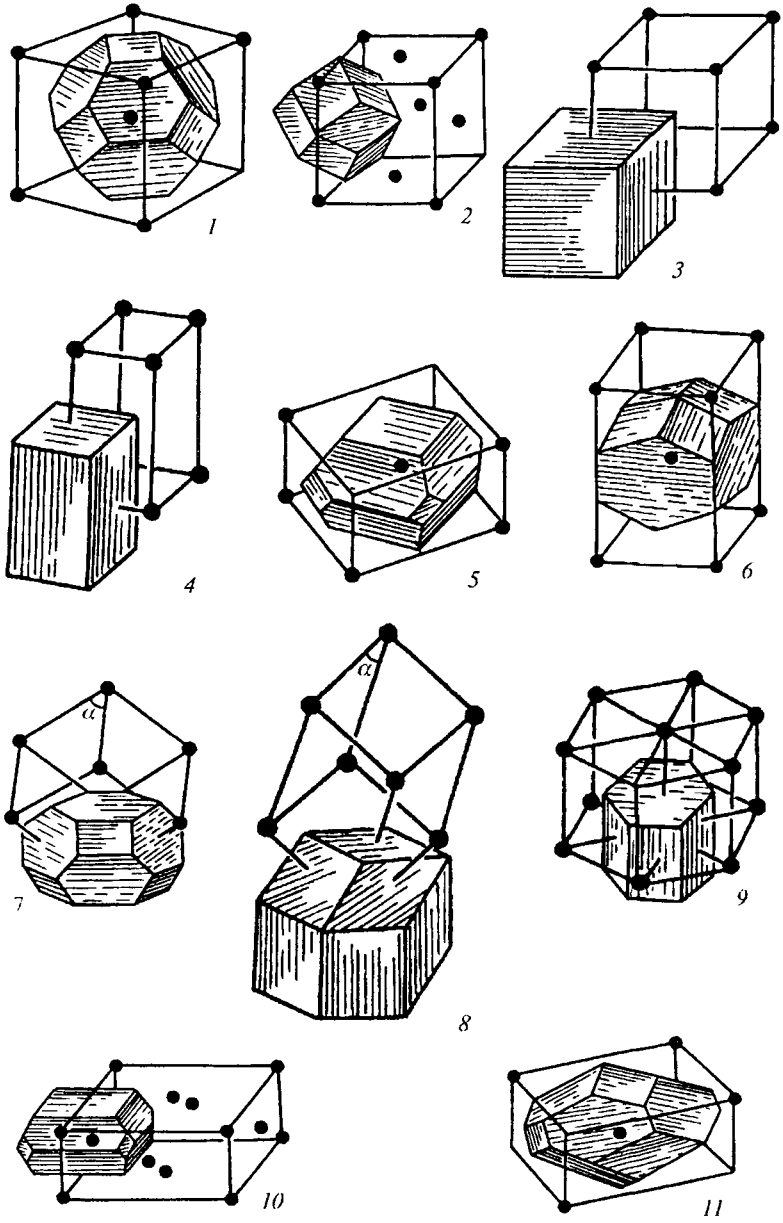
в) Гексапараллелоэдр — бу олти жуфт параллел ёнлардан иборат бўлиб, унинг энг юқори симметрияга эга бўлган қиёфаси — ромбик додекаэдрдир.

г) Гептапараллелоэдр — етти жуфт параллел ёнлардан иборат, бунинг энг юқори симметрияга эга бўлган шакли куб билан октаэдрларнинг мураккаблашган шаклидир.

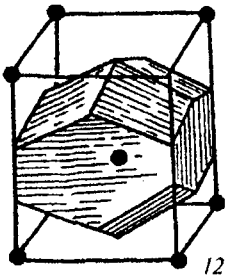
Табиий кристалларда кўриладиган бошқа параллелоэдрларни ҳам ана шу Е. С. Федоров параллелоэдрларидан ҳосил қилиш мумкин. Параллелоэдрлар ҳар бир атом ёки ионга тўғри келадиган фазовий панжарадаги мавқеини ифода этади. 83-расмда шундай параллелоэдрлар билан улар орасидаги бўшлиқ қолдирилмасдан чексиз такрорланишдан юзага келадиган кристалл шакллари кўрсатилган.

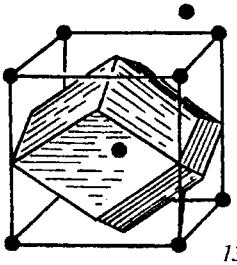
11. Рентген нури ва кристалл тизими таҳлили

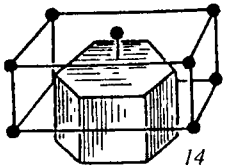
Кристалл тизими — маълум тартиб билан даврий такрорланадиган моддий нуқталардан, шу нуқталар қаторидан, ўша қаторлар ҳосил қилган текис тўрдан, мазкур текис тўрларнинг даврий такрорланишидан юзага келган фазовий панжарадан, яъни параллелепипедлардан ташкил топгандир. Бу моддий нуқталар — ион ва атомлар маълум ўлчамга эга, шунингдек фазовий панжара қаторлари ва тўрлари орасида ҳам маълум масофа бор. Буларнинг умумий ўлчов бирлиги А° — сантиметрнинг миллиондан бир улушига тенгдир. Шуни ҳам унутмаслик керакки, Е. С. Федоров моддий нуқталарнинг фазода жойланиш қонуниятини кашф этган пайтда кристалл тизим бирликларининг аниқ ўлчами ҳақида ҳеч қандай маълумот йўқ эди. Рентген нури кашф этилганидан кейин, 1912 йили Лауэ бу нурни ўз табиатига

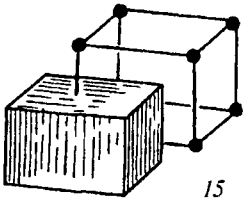


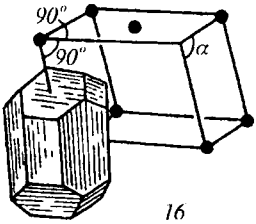
83-расм.

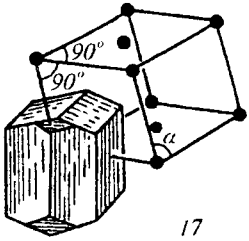


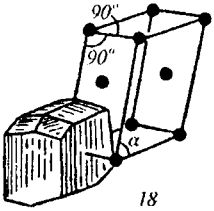


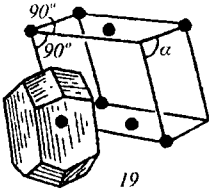


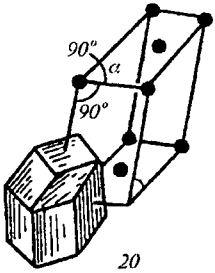


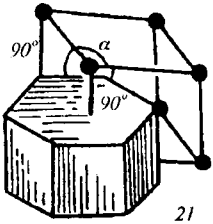


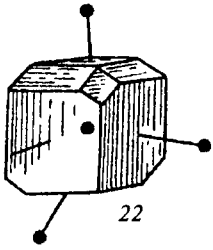


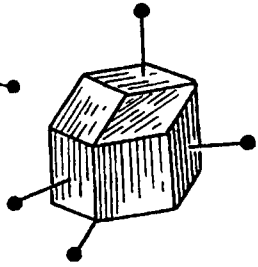


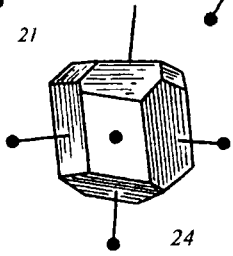










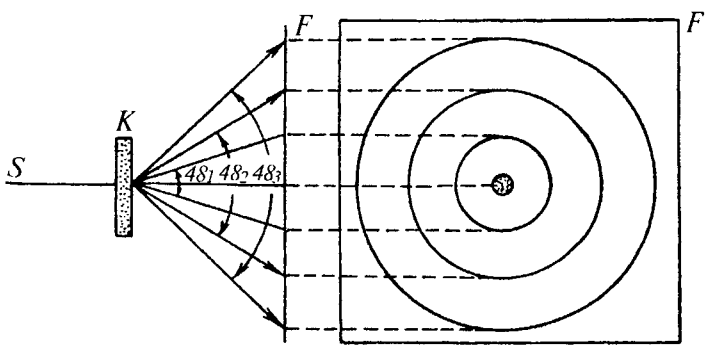


83-расмнинг давоми.

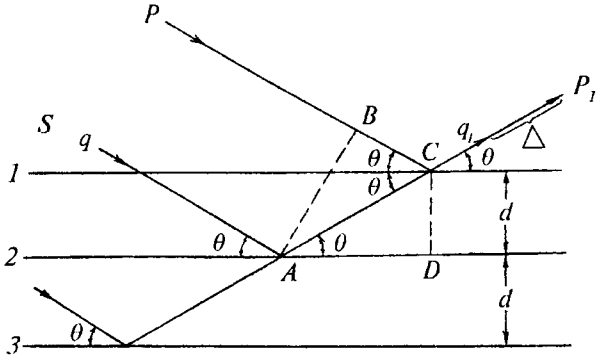
кўра ёруғлик нурига ўхшашлигини ва фақат жуда қисқа тўлқинли эканлиги билан фарқ қилишини исбот этди. Унинг тўлқин узунлиги ёруғлик нурига нисбатан тахминан 10000 марта кичикдир. Ўша йили В. Л. Брегг, кейинчалик Г. В. Вульф мана шу қисқа тўлқинли нурдан ўлчов бирлиги сифатида фойдаланиб, ионлар ўлчамини ва фазовий панжаралар текис тўрлари орасидаги масофани ва ниҳоят, элементар ячейка ўлчамини аниқлашга муяссар бўлди. Бунинг учун фазовий панжара текис тўрлари орасидаги масофа (d), рентген нури тўлқин узунлиги (λ) ва нурнинг қайтиш бурчаги (a) орасидаги боғланишни аниқлайдиган қуйидаги тенглама: $n\lambda = 2d\sin\alpha$ ишлаб чиқилди. В. Г. Брегг ва В. Л. Брегглар ҳар хил кристаллар учун d қийматини амалий тажриба йўли билан аниқладилар.

84-расмда В. Г. ва В. Л. Брегглар томонидан кашф этилган кристалларни рентген нури ёрдамида текширадиган мосламанинг ишлаш тартиби кўрсатилган. Бунда S — рентген нури манбаи, K — текшириладиган кристалл, F — ионлаш камераси, тенгламадаги n – 1, 2, 3... қайтиш даражаси. K — кристалл вертикал ўқ устига ўрнатилган бўлиб, уни шу ўқ атрофида айлантириб, рентген нурининг тушиш бурчагини ўзгартириш мумкин, шу билан баробар F — ионлаш камераси ҳам шу ўқ атрофида айланади ва кристалл ёнидан қайтган нурни қабул қилади.

Ўтказилган тажрибадан маълум бўлишича, кристалл параллел — кетма-кет жойлашган текис панжаралардан ибо-



84-расм.



85-расм.

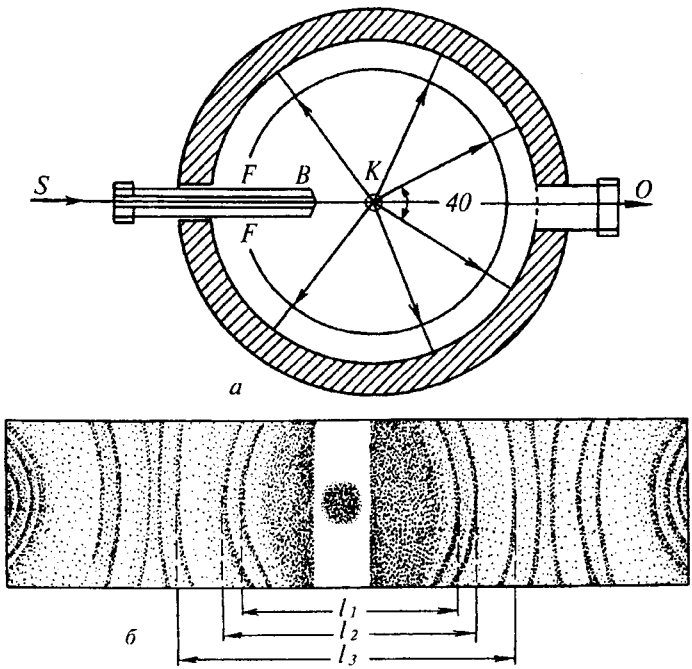
рат. 85-расмда кўрсатилганидек, уларнинг бири иккинчисидан d масофа узоқликда ётади. Шунинг учун ҳам рентген нурлари мана шу d қиймати билан боғлиқ равишда текис панжараларга нисбатан маълум бурчаклар ҳосил қилиб қайтади. Рентген нури ҳар хил моддаларнинг, шунингдек, бир хил модда кристалларининг турли ёнларидан ҳар хил бурчак бўйича қайтади, юқорида келтирилган тенгламага мувофиқ нурнинг тўлқин узунлиги маълум бўлса d панжара текис тўрлари оралиғини ҳисоблаб чиқиш мумкин. Бунда: $d = \lambda / 2\sin\alpha$ бўлади. Лауэ кашфиётидан кейин, В. Г. ва В. Л. Брегглар ва Вульф томонидан рентген таҳлили учун асосий тенглама ишлаб чиқилганидан кейин рентген таҳлили олиб бориш жуда ривожланиб, атомлар орасидаги масофани аниқлашга киришилди. Жумладан, биринчилар қаторида миснинг кристалл тузилиши (66-расм, *а*) текширилди.

12. Фазовий панжара турлари ва ўлчамларини аниқлаш

Рентген нури кашф этилиши билан шу нур ёрдамида кристалларнинг ички тузилишини, яъни ўша кристаллни ташкил этувчи тизим бирликларининг бир-бирига нисбатан фазода тутган ўрнини аниқлаш имконияти яратилди. Бунинг учун маълум усуллардан фойдаланилади. Улар орасида "айлантириш усули" — Дебай-Шеррер усулидан кўп фойдаланилади. Бу усул ёрдамида тўғри тузилган кристаллар билан бир қаторда кристалл майда кукунининг ички тузилишини

ҳам тадқиқ этиш мумкин. Бунинг учун таҳлил қилиниши лозим бўлган кристалл ёки унинг кукуни K ўқ учига ўрнатилади, δ антикатоддан тушган нур F диафрагма орқали ўтиб, κ — кристаллга тушади ва унинг тизим бирликлари орқали қайтиб F айлана шаклида ўрнатилган рентген тасмасига тушади ва шу тасмада ўша кристалл тузилишига хос маълум тартибда йўл-йўл қора доғ ҳосил қилади. Кейинчалик шу тасмадаги доғларга (86-расм) қараб кристалл тизими ҳисоблаб чиқилади. Мураккаб таркибли бирикмалар учун шундай ҳисоблаш ишлари жуда кенг миқёсда олиб борилади. Бундай усул билан кристалл тузилишини аниқлашда йўл қўйилиши мумкин бўлган хатолик 0,001 Å дан ошмайди. Ҳозир бу вазифа ҳисоблаш машиналарида бажарилади.

Кристаллар устида олиб бориладиган шу каби текшириш усулларидан фойдаланиб, уларнинг кўзга яққол кўринмайдиган ва шу билан бирга ҳар бир кристаллнинг ўзи учун хос бўлган жуда кўп хусусиятлари ҳам аниқланади. Маълум



86-расм.

бўлишича, кристалл тизимидаги аниқ, қонуний тартиб билан жойланиши шарт деб ўйлаганимиз атом, ион ва молекулалар маълум даражада ўша табиий белгилаб қўйилган жойланиш тартибини бузади ва натижада кристалл тизимида ҳар хил нуқсонлар юзага келади.

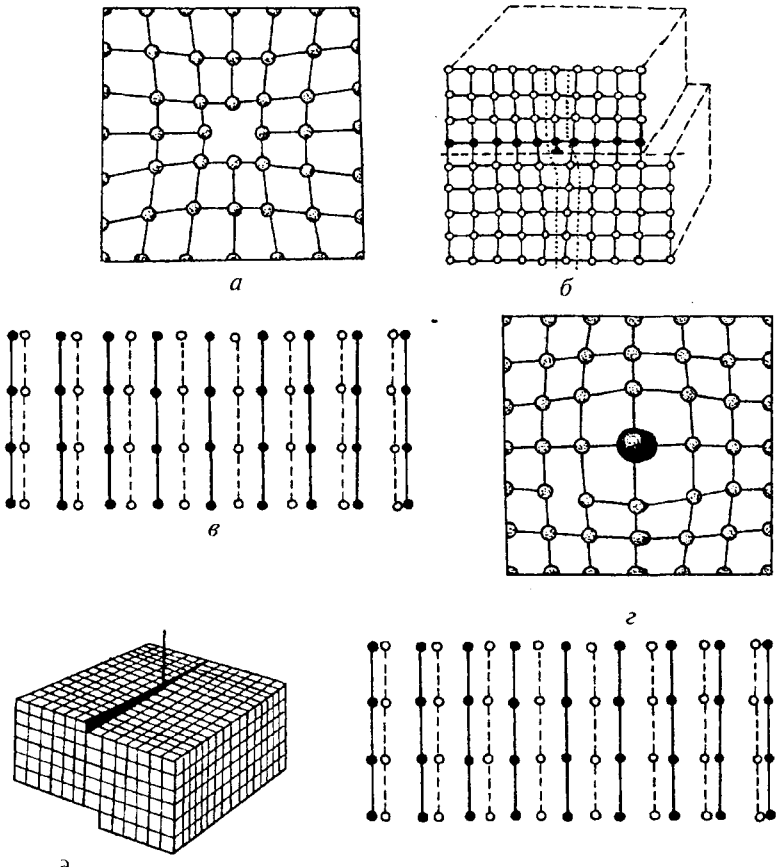
13. Кристалл тизимларининг нуқсонлари

1. Моддий нуқтанинг жойланиш тартибининг бузилиши чексиз даврий такрорланаётган моддий нуқталарнинг баъзан ўрни бўш қолиши билан боғлиқ. Тузилишнинг бундай нуқсони — бўш ўринли (вакансияли) дейилади. 87-*а* расмда кўрсатилганидек, расмий — қонуний текис тўрда шундай нуқсон содир бўлар экан, у ҳолда бўш қолган нуқта ўрни атрофдаги моддий нуқталарнинг ҳам жойланишида ўзгариш юз беради (87-*а* расм). Бўш — вакансия ёнидаги моддий нуқтанинг шу бўш ўринга силжиб ўтиши оқибатида тизимдаги маълум йўналиш бўйича сурилиш — силжиш юз бериши мумкин. Бундай сурилиш ёки силжиш ҳарорат кўтарилиши билан боғлиқ равишда тезлашади.

Моддий нуқтанинг жойланишида иккинчи ҳолат ҳам бўлиши мумкин, яъни маълум тартиб билан жойлашган ўша моддий нуқталарнинг орасида ортиқча, ўзи учун "алоҳида жойи" йўқ моддий нуқталар ҳам бўлиши мумкин (87-расм, *б*). Бундай ҳолатда ҳам шу ортиқча нуқта атрофида кристалл панжарасидаги умумий тартиб бузилади.

Кристаллар тизимларининг нуқсонлари ҳосил бўлиши учун ўша кристаллнинг ўсиш муҳити ва кристалл тузилишларидаги моддий нуқталарнинг бошқа катта ёки кичик радиусли моддий нуқталарга алмашиниб қолиши билан боғлиқ (87-*в*, расм).

Бундай нуқсонлар кристаллнинг 1 см куб ҳажмида 10^{12} – 10^{14} донагача етади. Вақт ўтиши билан шу нуқсонлар ўз-ўзидан камайиб кейинчалик йўқолиб кетиши ҳам мумкин. Ҳозирги замон техникаси нуқсонларсиз кристаллар олишни талаб этади. Лекин мутлақо нуқсонлари бўлмаган кристалларни сунъий йўл билан ҳам олиш мумкин эмас, улар табиатда ҳам учрамайдилар. Энг юқори тозаликка эга бўлган модда кристалларида ҳам бундай нуқсонлар 10^{-6}% дан кам эмас.



87-расм.

Кристаллар тузилишида сурилиш билан боғлиқ силжишлар дислокациялар деб аталадиган нуқсонлар ҳам бўлади. Кристалларга маълум йўналиш бўйича куч таъсир этганда унинг маълум қисми муайян йўналиш бўйича силжийди. Ўша кристаллнинг тузилишида дислокация — бузилиш содир бўлади. 87-*е*, расмда кўрсатилганидек, дислокация тўғри чизиқ бўйича йўналган бўлса, у чизиқли нуқсон дейилади. Шундай нуқсон кристаллнинг бир қисмини бошқа қисмига нисбатан биттадан атомлараро масофага силжишидан ҳам юзага келиши мумкин. У ҳолда кристалл тузилишидаги бундай бузилиш бурама нуқсон дейилади (87-*д*, расм).

14. Атом ва ион радиуслари

Юқорида кристалларни даврий чексиз такрорланувчи моддий нуқталардан иборат эканлиги эслатиб ўтилган эди. Шундай экан, ўша моддий нуқталардан барқарор кристалл тизими ҳосил бўлиши учун моддий нуқталар деб тасаввур этилган шарларнинг кристалл тизимидаги жойланиш тартиби билан бир қаторда ўша моддий нуқталарнинг катта-кичиклиги билан улар орасидаги боғловчи куч ҳам муҳим аҳамият кашф этади.

Қуйида кристалл тизимини ташкил этувчи моддий нуқталарнинг катта-кичиклиги ва уларни аниқлаш услуби ҳақида гап боради. Шарларнинг катта-кичиклиги радиуслар билан ўлчанар экан, сўзни атом ва ион радиусларидан бошлаш керак.

Атом ва ионларнинг амалдаги радиуслари шу атом ёки ионнинг ташқи электрон қавати ҳаракат доирасининг радиусига тенгдир. Лекин бу қиммат ядро марказидан ташқи электрон қаватигача бўлган масофага тенг эмас, аксинча, қўшни атом ёки ионлар яқинлаша оладиган доиранинг ташқи чегарасидан атом ядросигача бўлган масофа бўлиб, маълум муҳит ва шароит билан боғлиқ равишда ўзгариб туради. Умуман кимёвий элементларнинг атом ёки ион радиуслари уларнинг Менделеев жадвалида белгилаб қўйилган ўрнига мос равишда ташқи электрон қаватининг электронлар билан тўлдиришига боғлиқ. Амалдаги радиусларни ўлчашда атом ёки ионларга ҳар қандай ҳолатда ҳам ўз ўлчамини ўзгартирмайдиган қаттиқ жисм деб қаралади ва улар ўлчамини атомлараро масофани рентген нурлари ёрдамида ўлчаб ёки назарий йўл билан ҳисоблаб чиқилади. Бунда кристалл тузилишидаги ёнма-ён жойлашган шарлар марказлари орасидаги масофа шу шарлар радиусларининг йиғиндисига тенг деб тасаввур этилади. 6-жадвалда ион радиуслари Г. Б. Бокий ва Н. В. Белов ҳисоби бўйича берилган. Шунингдек, кристалл тизимидаги бир-бирига яқин жойлашган мусбат ҳамда манфий ишорали атом ёки ионлар орасидаги масофани аниқлаш ҳам муҳим аҳамиятга эга. Бу қиймат ҳам ҳар қайси ион (атом) радиуси деб аталади, яъни ион атом марказининг қўшни ион (атом) ташқи электрон қаватига яқин-

КИМЁВИЙ ЭЛЕМЕНТЛАРНИНГ ЙОН РАДИУСЛ

Давр-лар	Гуруҳлар								
	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	
I									
II	Li	Be							
	1^+0,68	2^+0,34							
III	Na	Mg							
	1^+0,98	2^+0,74							
IV	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co
	1^+1,33	2^+1,04	3^+0,83	2^+0,78	2^+0,72	2^+0,83	2^+0,91	2^+0,80	2^+0,78
				3^+0,69	3^+0,67	3^+0,64	3^+0,70	2^+0,80	2^+0,78
				4^+0,64	4^+0,61	6^+0,35	4^+0,52	3^+0,67	$+^+$0,64
					5^+0,4		7^+(0,46)		
V	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh
	1^+1,49	2^+1,20	3^+0,97	4^+0,82	4^+0,67	4^+0,68		4^+0,62	3^+0,75
					5^+0,66	6^+0,65			
VI	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir
	1^+1,65	2^+1,38	3^+1,04	4^+0,82	5^+(0,6-6)	4^+0,68	6^+0,52	4^+0,65	4^+0,65
			4^+0,90			6^+0,65			
VII	Fr	Ra	Ac						
		2^+1,44	3^+1,11						
ЛАНТАНОИДЛАР				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
				3^+1,02	3^+1,00	3^+0,99	3^+(0,98)	3^+0,97	3^+0,99
				4^+0,88					
АКТИНОИДЛАР				Th	Pa	U	Np	Pu	Am
				3^+1,07	3^+1,06	3^+1,04	3^+1,02	3^+1,01	3^+1,00
				4^+0,95	4^+0,91	4^+0,89	4^+0,88	4^+0,86	4^+0,85

Эслатма: Қавс ичида ҳисоблаб чиқарилган ион радиуслари берилган.

6-жадвал

КЎРСАТИЛГАН ДАВРИЙЛИК ЖАДВАЛИ

VIIIa	Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	Vib	VIIb	VIIIb
							H	He
							1^{-}1,36	1,22
							1^{+} 0.00	
			B	C	N	O	F	Ne
			3^{+}(0,20)	4^{+}0,2	3^{+}	2^{-}1,36	1^{-}1,33	01,60
				4^{+}(0,15)	5^{+}0,15			
				4^{-}(2,60)	3^{-}1,48			
			Al	Si	P	S	Cl	Ar
			3^{+}0,57	4^{+}0,39	3^{+}	2^{-}1,82	1^{-}1,81	01,92
					5^{+}0,35	6^{+}(0,29)	7^{+}(0,26)	
					3^{-}1,86			
Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
2^{+}0,74	1^{+}0,98	2^{+}0,83	3^{+}0,62	2^{+}0,65	3^{+}0,69	2^{-}1,93	1^{-}1,96	01,98
	2^{+}0,80			4^{+}0,44	5^{+}(0,47)	4^{+}0,69	7^{+}(0,39)	
					3^{-}1,91	6^{+}0,35		
pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
4 0,64	1 1,13	2 0,99	1^{+}1,30	2^{+}1,02	3^{+}0,90	2^{-}1,11	1^{-}2,20	2,18
			3^{+}0,92	4^{+}0,67	5^{+}0,62	4^{+}0,89	7^{+}(0,50)	
					3^{-}2,08	6^{+}(0,56)		
Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi	Po	At	Rn
4^{+}0,64	1^{+}(1,37)	2^{+}1,12	1^{+}1,36	2^{+}1,26	3^{+}1,20			
			3^{+}1,05	4^{+}0,76	5^{+}(0,74)			
					3^{-}2,13			
Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	
3^{+}0,94	3^{+}0,89	3^{+}0,88	3^{+}0,86	3^{+}0,85	3^{+}0,85	3^{+}0,81	3^{+}0,80	
Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Инерт газларнинг атом радиуслари кўрсатилган.

лашиб бора оладиган энг қисқа масофа ион (атом) радиусидир.

Кимёвий элементларнинг ион ва атом радиуслари Менделеев жадвалидаги маълум даврийлик қонунига мувофиқ қийматга эга бўлади. Жумладан: 1. Менделеев жадвалида горизонтал қаторлар бўйича элементларнинг валентлиги ортиши билан уларнинг ион радиуси кичиклаша боради. Масалан, Na^{1+} ион радиуси 0,98 Å, Mg^{2+} – 0,74 Å, Al^{3+} –0,57 A Si^{4+} – 0,41 Å ва ҳ. к.

2. Ҳар қайси гуруҳ ионларининг радиуси тартиб сонининг ортиши билан катталаша боради. Масалан, Li^{1+} ион радиуси 0,68 A Na^{1+} – 0,98 Å, K^{1+} – 1,33 Å, R^{1+} – 1,49 Å, Cs^{+1} – 1,65 Å.

Лантанидлар (уч валентли сийрак ер элементлари гуруҳида "лантанид сиқилиш" мавжуддирки, шунга кўра тартиб сони 57 (лантанддан бошлаб 71(лютенций) гача ортиши билан ион радиуслари кичиклаша боради. Масалан, La^{3+} ион радиуси — 1,04A° бўлгани ҳолда Lu^{3+} ион радиуси — 0,80 A°.

Шунга ўхшаш сиқилиш, мис гуруҳи (кумуш ва олтин) ва бошқа гуруҳ элементларида (цирконий билан гафний ва ниобий билан танталда) ҳам кўрилади. Бундай ҳол жадвалнинг сўнгги элементларида актинийдан бошлаб ҳам кўриладики, буни Г. Б. Бокий таклифига кўра "актинид сиқилиш" деб аталади.

Ҳар бир элементнинг ўзи валентлигига қараб, бир неча хил ион радиусига эга бўлиши мумкин: катта валентликка эга бўлган катионларнинг радиуси кичик ва аксинча, кичик валентли катионларнинг радиуси катта бўлади. Масалан, марганец нейтрал атомининг Mn° радиуси 1,29 A°, Mn^{2+} ионн радиуси — 0,92 A°, Mn^{3+} ионн радиуси 0,70 A°, Mn^{4+} ионн радиуси — 0,52 A. Бундай ҳол олтингугуртда ҳам кўрилади:

$$S^{2-} - 1{,}82\ A^{\circ} \quad S^{4-} - 1{,}04\ Å, \quad S^{6+} - 0{,}29\ A^{\circ}.$$

Кристаллни ташкил этувчи тизим бирлиги — ионлар бир-бирига ёндошиб, тегиб турадиган шарлар шаклида тасаввур этилади. Лекин баъзан қўшни ионларнинг электр майдони таъсирида шу ионларнинг сферик шакли бузилади. Бу ҳодиса

ионларнинг қутбланиши деб аталади. Шунга кўра ионларда икки хил хусусият намоён бўлади. Бир турли ионлар бошқа кучли ионлар таъсирида осонликча ўз ҳаракат доирасини бузади, яъни қутбланади, бошқалари эса бошқа ионлар таъсирида ўз ҳаракат доирасини жуда кам ўзгартиради ва бошқа қўшни ионлар ҳаракат доирасига катта таъсир кўрсатади, яъни уларни қутблантиради. Демак, ҳар бир ион бошқа қўшни ионлар таъсирида қутбланиши ёки шу ионнинг ўзи бошқа қўшни ионга таъсир этиб, уни қутблантириши мумкин.

Бундай ҳодиса асосан кимёвий элементлар ион радиусларининг катта-кичиклигига боғлиқ. Ион радиуси катта ионлар кўпроқ қутбланиш, ион радиуси кичик ионлар кучли қутблантириш хусусиятига эга. Буни қуйидаги 7-жадвалдан ҳам яққол кўриш мумкин:

(α — қутбланиш хусусияти, β — қутблантириш хусусияти, r_i — ион радиуси).

7-жадвал

Ионларнинг қутбланиши

Элементлар	r_i	a	b
Li	0,69	0,06	1,7
Na	0,98	0,19	1,0
K	1,33	0,81	0,6
Rb	1,49	1,90	0,5
Cs	1,65	2,85	0,4

Ионларнинг қутбланиш хусусияти ион радиуси ўлчамига тўғри мутаносиб, қутблантириш хусусияти эса тескари мутаносибдир.

Ион радиуслари кичик бўлган катионлар, масалан, Cu, Ag, Zn,Cd, Hg кучли қутблантириш хусусиятига эга бўлиб, ўзи қутбланмайди. Кичик валентли ион радиуси катта бўлган анионлар кучли қутбланиш хусусиятига эга.

Ион радиусларининг шундай ўзгаришини кристаллар тузилишидаги ионлараро масофасини ўлчаб кўриш мумкин. Масалан, AgCl бирикмасида ионлар орасидаги масофа

2,77 A° бўлиб, бу қиймат шу иккала элемент ион радиуслари йиғиндисидан анча кичикдир. Аслида Ag^{1+} ион радиуси — 1,13 A°, Cl^{1-} — ион радиуси — 1,81 A° уларнинг йиғиндиси — 2,94 A° бўлмоғи керак эди.

Галоген элементларнинг кумушли бирикмаларидаги қутбланиш хусусияти қуйидаги маълумотларда келтирилган: (d ионлар орасидаги масофа Å ҳисобида):

AgF	d = 2,46	$R_A + R_K = 2,46$
AgCl	d = 2,77	$R_A + R_K = 2,94$
AgBr	d = 2,88	$R_A + R_K = 3,09$
AgI	d = 2,99	$R_A + R_K = 3,33$

Жадвалдан кўриниб турганидек, ионлар орасидаги масофа фақат AgF бирикмасидагина ион радиуслари йиғиндисига тенг бўлиб, қолган бирикмаларнинг ҳаммасида ҳам бу масофа ион радиуслари йиғиндисидан кичикдир. Атомлар орасидаги масофа элементларнинг координация сонига қараб ҳам ўзгаради (8-жадвал).

Атом ва ионларнинг бу хусусияти билан бир қаторда ўша ион радиусларининг ҳарорат ҳамда босимга боғлиқ равишда ўзгаришини ҳисобга олиб, В. М. Гольдшмидт кимёвий кристаллографиянинг қуйидаги асосий қонунини кашф этди: "Кристалларнинг тузилиши шу кристалл таркибидаги тизим бирликларининг — ион ва атомларнинг миқдорий нисбати билан улар радиусларининг нисбий ўлчами ҳамда қутбланиш ва қутблантириш хусусиятларига боғлиқдир".

Ўша тизим бирликларининг миқдорий нисбатини тасаввур этиш мақсадида координацион сон ва координацион полиэдрлар тушунчасидан фойдаланилади.

15. Координация сони ва полиэдрлар

Кристалл тизими маълум қоида, тартиб асосида чексиз ва уч йўналиш бўйича такрорланадиган моддий нуқталардан — шарлардан ташкил топган бўлиб, уларнинг ҳар бири шу тизимда иштирок этаётган бошқа қўшни шарлар билан қуршаб олингандир. Кристалларнинг, жумладан кристалл тизимининг ҳам қиёфаси ва кўп хусусиятлари шу берилган шарни қуршаб олган қўшни шарларнинг сонига ва тутган ўрнига боғлиқ. Шундай қилиб, гап энди кристалл тизимини ташкил этувчи атом ёки ионларнинг бир-бирига нисбатан тутган ўрни — мавқеи ҳақида боради.

8-жадвал

Атомлараро масофанинг элементлар координация сонига қараб ўзгариши

Ион ковалент бирикмаларда		Ковалент-металл бирикмаларда	
координация сони	атомлараро масофа	координация сони	атомлараро масофа
12	100	12	100
9	94-96	8	96-98
8	92-94	6	93-95
6	86-90	4	86-87
4	78-75	3	79-82
3	72-75	2	74-78
2	63-68	1	(68-72)
1	57-63		

Координация сони — кристалл тузилишидаги муайян атом ёки ион атрофидаги энг яқин жойлашган қўшни атомлар ёки ионлар сонидан иборатдир. Агар шундай қўшни атом ёки ионлар маркази ўзаро туташтирилган деб фараз қилинса, қандайдир геометрик шакл ҳосил бўладики, бу шакл координация полиэдри дейилади. Координация сони аниқланаётган атом ёки ион шу координация шаклининг марказида жойлашади. Координация полиэдрларининг шакли кристаллнинг ташқи қиёфасига ҳеч қандай алоқаси бўлмаган тарзда унга мутлақо ўхшамайдиган кўринишда бўлиши мумкин. Масалан, олмос — С кристалл тизимида карбоннинг координация сони аниқланаётган углерод атомига яқин қўшни углерод атомларининг сони — координация сони 4 га тенг: галит — NaCl тузилишида натрий иони олтита хлор иони билан, хлор иони эса шунча натрий иони билан ўралган, яъни натрий ва шунингдек, хлор ионларининг координация сони олтига тенг, сфалерит ZnS тузилишида рух ва олтингугурт ионларининг ҳар бири учун ҳам координация сони 4 га тенг.

CsCl тузилишида цезий ионига яқин жойлашган хлор иони ҳам хлор ионига яқин жойлашган цезий иони ҳам 8 тадан бўлиб, шу икки хил ионларнинг ҳар қайсиси учун координация сон 8 га тенг.

Ёнлари марказлашган кубик тузилишга эга бўлган миснинг координация сони 12 га тенг. Шунингдек, гексагонал сингонияда кристалланган магнийнинг координация сони ҳам 12 га тенг.

Координация сони NiS тузилишида никель иони учун ҳам, олтингугурт иони учун ҳам 6 га тенг, лекин қўшни ионларнинг жойланиш тартиби ҳар қайси элемент учун бошқа-бошқа бўлади.

Флюорит — CaF_2 кристалл тизимида кальций иони 8 та фтор иони билан, фтор иони эса 4 та кальций иони билан ўралган, демак, координация сони Са учун 8, фтор учун эса 4 га тенг.

Металларнинг кристалл тизимида ионларнинг координация сони доимо 12 га тенг бўлиб, ярим ўтказгичлик хусусиятига эга бўлган моддалар кристалл тизимида координация сони 4 ёки 6 га тенгдир (9-жадвал).

Кристалл моддаларни ташкил этувчи тизим бирликлари — ион ёки атомларнинг ҳар бири бир хил ёки бир неча хил координацияда бўлиши мумкин. Шу билан бирга ҳар қайси тенг қийматли координация сони фазода ҳар хил координация полиэдрлари ҳосил қилиши мумкин (88-89-расмлар).

16. Атом ёки ион радиуслари билан координация сони орасидаги боғланиш

Кристалларни эзилмайдиган қаттиқ шарлардан иборат атом ёки ионлардан ташкил топган деб қаралар экан атом-ион радиуслари билан координация орасидаги муносабатни назарий жиҳатдан ҳисоблаб чиқиш мумкин.

1. Масалан, маълум ионнинг координация сони 6, координация полиэдри октаэдр шаклида бўлсин, бунда тўртинчи даражали симметрия ўқига тик олинган кесимда квадрат диагоналининг узунлиги А катион (r_a) билан анионнинг (r_x) 2 ланган радиуслари йиғиндисидан иборат, яъни $A = 2r_a + 2r_x$; бу тенгликдан $2r_a + 2r_x = 2r_x\sqrt{2}$ ёки $r_a : r_x + 1 = 2$, демак, $r_a : r_x = \sqrt{2} - 1 = 0,41$ деган хулосага келиш мумкин. Бу қиймат октаэдр шаклидаги координация сони 6 га тенг полиэдрнинг барқарор бўлиши учун энг паст чегарадир.

Лекин 0,41 билан 2,41 орасида координация сони 6 га тенг гексаэдр шаклидаги полиэдр барқарор бўлган оралиқ мавжуддир.

9-жадвал

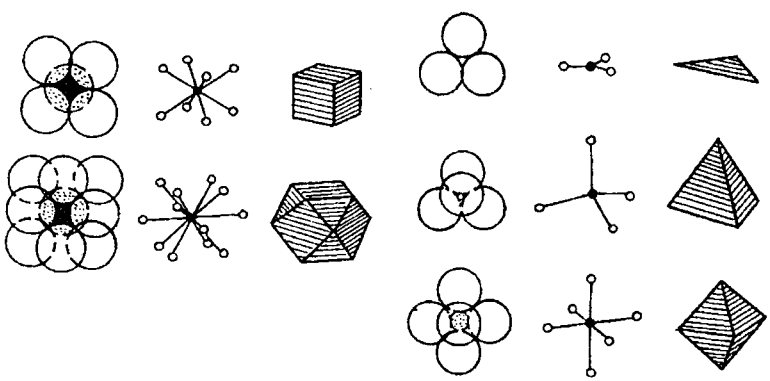
Минераллар таркибидаги электр мусбат элементларнинг қуршов сони ва шакллари

Атомлар қ.с.	Қуршон шакли (полиэдр) шакли	Ковалент боғланиш	Элементлар
2	Тўғри чизиқ	sp, dp	H, Cu^{I}, Ag^{I}, Hg^{II}, Au^{IV}
	Бурчакли	p^2, ds	H, As^{V}, Sb^{V}, Bi^{V}, S^{VI}, Se^{VI}, Tl^{VI}
3	Учбурчакли	sp^2, dsp	Cu^{II}, B, Sb^{3+}, C^{IV}, C^{IV}, Se^{4+}
	Тригонал пирамида	P^3, d^2p	Sn^{2+}, Pb^{2+}, As^{3+}, Cu, Sb^{3+}_, Bi^{3+}, Se^{4+}, Te^{4+}, J^{5+}
4	Квадрат 888	dsp^2, d^2p^2	Nu2+, U_2^{2+} W^{6+}(?0
	Тўғри бурчакли	—	Cu^{II}, Ni^{II}, Pd^{II}, Pt^{II}
	Тетрагонал пирамида	d^4	Sn2+, Pb2+, Bi3+, Te4+
	Тетраэдр	sp3, d3s	Li, Be, Mg, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Co^{II}, Ni^{2+}, Zn, Cd^{II}, Hg^{II}, B, Al, Fe^{III}, Ga^{III}, In^{III}, Si^{IV}, Sn^{IV}, Ge^{IV}, Sn^{IV}, V^{V}, As^{V}, Sb^{V}, Nb^{5+}, Ta^{5+}, Se^{VI}, Cr^{IV}, Mo^{6+}, W^{6+}
	Бешбурчакли	—	UO_2^{2+},
5	Тригонал пирамида	d^2sp^2, d^4s	Cu^{2+}, Zn, Ni^{II}, Al, Ti^{4}, V^{5+}
	Тригонал дипирамида	d^3sp	V^{5+}
6	Олтибурчакли	—	UO_2^{2+} MoO_2^{2+}
	Тетрагонал дипирамида	—	Fe^{II}, Co^{II}, Ni^{III}, Mo^{IV}, W^{IV}
	Тригонал призма	d^4sp, d^5p	F^{cI}J, Cs^{II}, Ni^{III}, Mo^{IV}, V^{IV}
	Октаэдр	d^2sp^3, sp^3d^2	Co^{2+}, $Ni2^{+}$· Cu^{2+}, Zn, Cd, Ai, V^{3+}, Ca^{3+}, Mn^{3+}, Fe^{3+}, Y, In^{3+}, Tl^{3+}, Sb^{3+}, Bi^{3+}, Co^{III}, Si, Ti, Zr, Mn^{4+}, Sn^{4+}, Ge^{4+}, Pb^{4+}, Au^{IV}, Pd^{IV}, Pt^{IV}, Fe^{IV}, Ni^{IV}, V^{5+}, Sb, Nb, Ta, Mo, W
7	Призма, октаэдр ва бошқалар	—	Na, Ca, Pb^{2+}, Y, La, Ce, Zr
8	Диофеноид	—	Ca, Pb2+, Y, Zr, Th, U^{4+}
	Куб (ва бошқа саккиз учлилар)	—	Na, K, Ca, Sr, Ba, Pb^{2+}, Y, Ce^{3+}, Ce^{4+}, Th, U^{4+},
9	Ёнлари марказлашган тригонал призма	—	Ca, Sr, Ba, Pb, La, Ce
10	Кубоктаэдр ва бошқалар		Na, K, NH4, Ca, Ba, La, Ce, Cu, Ag, Au, Pb, Bi, Os, Ir, Pt

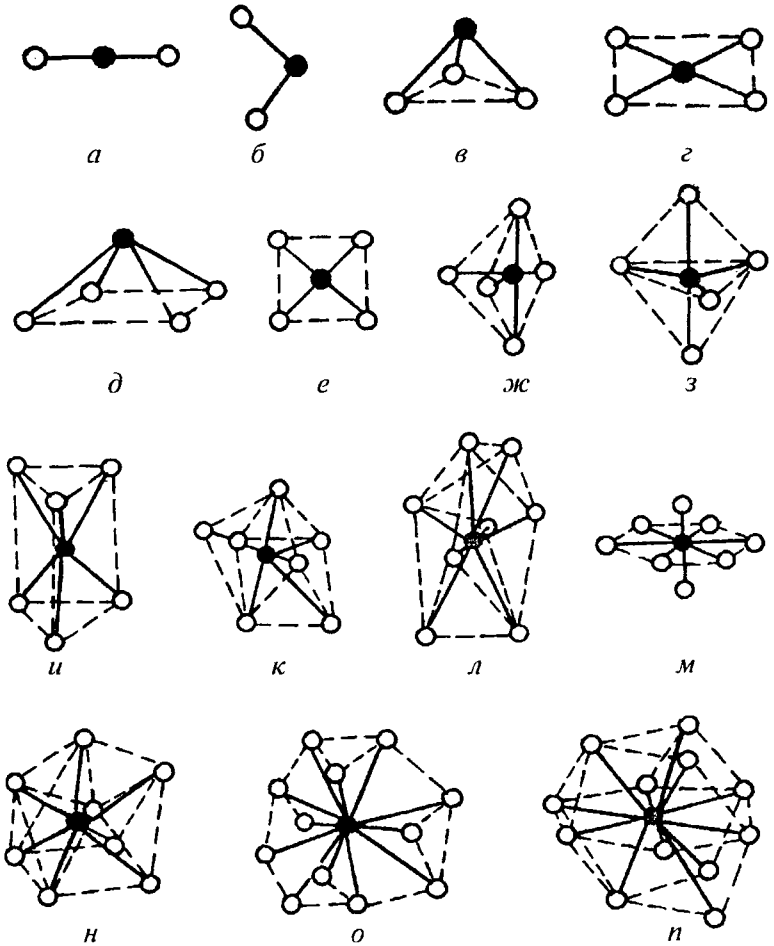
2. Координация сони 8 га тенг гексаэдр шаклидаги полиэдрда ўша саккизта қўшни анион кубнинг учларида, марказда катион жойлашади. Катион устидан олинган кесим ҳажмининг диагонали бўйича олинган кесим билан мос келади. Демак, $2r_a + 2r_x = 2r_x\sqrt{3}$, ёки $r_a : r_x + 1 = \sqrt{3}$; бундан $r_a : r_x = \sqrt{3} - 1 = 0,73$ тенглиги келиб чиқади. Бу координация сони 8 бўлган гексаэдр шаклидаги полиэдрлар барқарорлигининг энг пастки чегарасидир.

Қуйида шу координация сони — полиэдрларнинг барқарорлик чегарасидан намуналар кўрсатилган:

Координация сони	Координация полиэдри	$r_a : r_x$
2	гантел	0 дан 0,115 гача
3	учбурчакли	0,115 дан 0,225 гача
4	тетраэдр	0,225 дан 0,414 гача
6	октаэдр	0,414 дан 0,732
8	гексаэдр	0,732 дан 1,000 гача
12	кубоктаэдр	1,00



88-расм.



89-расм.

Атомларнинг ўзаро тутган ўрни ковалент боғланишга эга бўлган кристалларда шу боғланишда иштирок этадиган атомларнинг электрон қаватлари қиёфаси билан боғлиқдир.

Ковалент боғланишга эга бўлган турли электрон гуруҳлар орасидаги масофа ва координация сони юқоридаги жадвалда кўрсатилган.

Ковалент боғланишни олмос кристалли тизимида кўриш мумкин. Бунда карбоннинг тўрт йўналиш бўйича sp^3 гуруҳи электронлари билан боғланиши натижасида координация сони тўрт бўлган тетраэдр шаклидаги полиэдр юзага келади.

Кристалл тузилишида атомларнинг жойланиш тартибини, кимёвий бирикмаларининг барқарорлигини, кимёвий боғланиш муаммоларини таҳлил қилишда атомларнинг координация сонлари билан улар шаклини билиш муҳим аҳамиятга эга. Баъзан кимёвий бирикмалар тизимидаги координация сони ва полиэдрига қараб гуруҳларга ажратилади ва шу орқали тасвирланади (88-89-расмлар).

III б о б
КИМЁВИЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЯГА ОИД НАЗАРИЯЛАР

1. Кристалларнинг симметрияси билан кимёвий таркиби орасидаги боғланиш

Кристалларнинг симметриялик даражаси, уларнинг умуман олганда, кимёвий таркиби билан боғлиқдир. Кристалларнинг кимёвий таркиби қанчалик содда бўлса, симметриялик даражаси шунчалик юқори, таркиби қанчалик мураккаб бўлса, симметриялик даражаси шунчалик паст бўлади. Бу қонун Федоров — Грот қонуни деб юритилади. Е. С. Федоров ўзининг "Кристаллар дунёси" китоби учун ишлаб чиққан жадвалларини тайёрлаш жараёнида шундай хулосага келади. Кейинчалик немис кристаллограф олими Грот (1843—1926) ҳам шундай фикрни баён қилади.

Сунъий, шунингдек, жуда кўп табиий кристалларда ҳам шу қонунда баён этилган фикр тасдиқланади. Масалан, жуда кўп соф элементлар кубик сингонияда (Li, Na, K, Cu, Ag, Au ва бошқалар) ёки гексагонал сингонияда (Be, Mg, Zn, Ca, Te, Re ва бошқалар) кристалланади (10-жадвал). Шунингдек, кўп оксидлар MgO,CaO, UO_2; Bi_2O_3, Cu_2O; сульфидлар: PbS, ZnS, FeS_2, Cu_2S ва NaCl, KCl, CaF_2, CsCl каби галоген бирикмаларнинг ҳаммаси кубик сингонияда кристалланади.

Лекин шунга қарамасдан, шундай содда бирикмалар, ҳаттоки соф элементлар ҳам мавжуддирки, уларнинг симметриялик даражаси пастдир. Масалан, S, Se, Cl, Br, I. Шундай паст симметриялик даражасига эга сульфидлар ҳам, бошқа содда бирикмалар ҳам бор. Бу Менделеев жадвалидаги кимёвий элементларнинг кристалларида янада яққолроқ кўринади (11-жадвал).

Табиатда содда кимёвий бирикмаларга қараганда, таркиби мураккаб, симметрия даражаси паст бўлган кристаллар юқори симметрияга эга бўлган кристалларга нисбатан кўпроқ учрайди.

Ҳозиргача маълум бўлган кристаллардан, кўп тарқалган ва текширилгани 1308 кристалл симметриклик даражасига қараб қуйидагича бўлинади: паст табақа 760 минерал тури — 57,5%; ўрта табақа 377 минерал тури — 29,5% ва ниҳоят, юқори табақа 171 минерал тури — 13% кристалланади.

Ҳамма элементлар атом сонларининг орта боришига қараб, тартиб билан берилган.

Менделеев жадвалидаги қаторлар пунктир чизиқ, даврлар эса икки қатор чизиқ билан ажратилган.

Жадвалда қуйидаги белгилардан фойдаланилган:

А-1 Ёнлари марказлашган кубик зич жойланиши: мис тури

А-2 Ҳажми марказлашган кубик зич жойланиши вольфрамит тури

А-3 Гексагонал зич жойланиши: магний тури

А-4 Кубик олмос тури

А-5 Тетрагонал оқ қалайи тури

А-6 Тетрагонал ҳажми марказлашган индий тури

А-7 Ромбоэдрик кулранг маргимуш тури

А-8 Гексагонал кулранг селен тури

А-9 Гексагонал графит тури

А-10 Ромбоэдрик симоб тури

А-11 Ромбик симоб тури

А-12 Кубик α-марганец тури

А-13 Кубик β-марганец тури

А-14 Ромбик йод тури

А-15 Кубик вольфрам тури

А-16 Ромбик қора фосфор тури

А-17 Ромбик олтингугурт тури

А-18 Тетрагонал уран тури

А-19 Содда кубик полоний тури

А-20 Ромбик уран тури.

Кристалларнинг симметриклик даражаси, биринчидан, кристалл таркибига кирадиган кимёвий элементнинг атом тузилиши билан, иккинчидан, шу кристаллни ташкил этувчи тизим бирликлари — атом ёки ионларнинг фазода тутган ўрни билан ва ниҳоят шу кристалл ҳосил бўлаётган муҳитга боғлиқдир. Шунинг учун ҳам баъзи бир содда бирикмаларнинг симметриклик даражаси паст ва аксинча,

10-жадвал

Кимёвий элементларнинг кристалл тизими

	Элемент	Полиморф модификацияси	Тизим тури	Фазовий панжара ўлчами A° ҳисобида				Ҳарорат C°	Инглиз γ г/см³
				a	*b*	*c*	*α°*		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	H		Тетр. Гекс.	4,42 3,75	4,42 3,75	3,75 6,49		 −271	$0{,}08988 \cdot 10^{-3}$
2	He		A-3	3,67	3,57	5,83		−271	$0{,}1785 \cdot 10^{-3}$
3	Li	α β γ	A-2 A-3 A-1	3,509 3,111 4,36—4,43	3,509 3,111 4,36—4,43	3,509 5,093 4,36—4,43		 −195 −195	0,531-0,534
4	Be	α β γ	A-3 Гекс. A-2	2,286 7,1 2,549	2,286 7,1 2,549	3,584 10,8 2,549		 500— 700 1250	1,845—1,86
5	B		Тетр. Гекс.	8,73 4,908	8,73 4,908	5,03 12,567			2,32-2,34
6	C	 α β	A-4 A-9 Ромбоэд.	3,567 2,4612 2,4612	3,567 2,4612 2,4612	3,567 6,708 10,062			3,51 2,2-2,25
7	N	α β	Куб. Гекс.	5,664 4,039	5,664 4,039	5,664 6,670		−269 −238	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$
8	O	α β	Ромб. Ромбоэд Куб.	5,50 6,19 3,307 6,83	3,82 6,19 3,307 6,83	3,44 6,19 11,256 6,83		−252 −238 −223	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$

10-жадвалнинг давоми

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	F		Куб.	6,67	6,67	6,67		−218	$1,696 \cdot 10^{-3}$
10	Ne		A-1	4,429	4,429	4,429		−269	$0,90 \cdot 10^{-3}$
11	Na		A-2 A-3	4,291 3,767	4,291 3,767	4,291 6,154		−268	0,97
12	Mg		A-3	3,209	3,209	5,210			1,74-1,75
13	Al		A-1	4,049	4,049	4,049			2,70
14	Si		A-4	5,430	5,430	5,430			2,20-2,49
15	P		Куб. Куб. (қизил) Куб. (оқ) A-16 (қора)	18,8 11,1 7,18 3,32	18,8 11,1 7,18 4,39	18,8 11,1 7,18 10,52		−35	2,11 2,20-2,25 1,825 2,69-2,70
16	S	α β γ	A-17 Монокл. Ромбоэд.	10,437 10,92 6,46	12,845 10,98 6,46	24,369 11,04 6,46	83°16 115°18		1,96 2,07
17	Cl		Ромбоэд.	6,24	8,26	4,48		−160	$3,21 \cdot 10^{-3}$
18	Ar		A-1	5,256	5,256	5,256		−269	$1,784 \cdot 10^{-3}$
19	K		A-2	5,32	5,32	5,32			0,86-0,87
20	Ca	α β γ	A-1 A-3 A-2	5,582 3,94 4,477	5,582 3,94 4,477	5,582 6,44 4,477		500	1,54-1,55
21	Sc	α β	A-3 A-1	3,308 4,532	3,308 4,532	5,265 4,532			2,500-3,10

10-жадвалнинг давоми

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Ti	α β	A-3 A-2	2,950 3,307	2,950 3,307	4,678 3,307		900	4,27-4,54
23	V		A-2	3,028	3,028	3,028			5,60-6,11
24	Cr		A-2	2,884	2,884	2,884			6,92-7,19
25	Mn	α β γ S	A-12 A-13 A-1 A-2	8,914 6,470 3,862 3,081	8,914 6,470 3,862 3,081	8,914 6,470 3,862 3,081		 750 1095 1134	7,20-7,4
26	Fe	α β γ S	A-2 A-2 A-1 A-2	2,866 2,9043 3,647 2,932	2,866 2,9043 3,647 2,932	2,866 2,9043 3,647 2,932		 770 916 1390	7,6-7,9
27	Co	α β	A-3 A-1	2,507 3,544	2,507 3,544	4,059 3,544			8,7—8,9
28	Ni		A-1	3,524	3,542	3,524			8,35-8,9
29	Cu		A-1	3,613	3,615	3,615			8,3-8,95
30	Zn		A-3	2,665	2,665	4,947			7,11-7,14
31	Ga		Ромб.	4,520	7,661	4,526			5,9-6,1
32	Ge		A-4	5,657	5,657	5,657			5,32-5,50
33	As		A-7	3,760	3,760	10,548	54°10		5,73-5,75
34	Se	α β	A-8 Монокл. Монокл.	4,364 12,85 9,05	4,364 8,07 9,07	4,958 9,31 11,61	 93°08 90°46		4,8 4,46
35	Br		Ромб.	6,67	8,72	4,48		−150	3,12 (ж)

10-жадвалнинг давоми

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36	Kr		A-1	5,721	5,721	5,721		−215	$3,74 \cdot 10^{-3}$
37	Rb		A-2	5,70	5,70	5,70			1,52-1,53
38	Sr	α β γ	A-1 A-3 A-2	6,085 4,32 4,85	6,085 4,32 4,85	6,085 7,06 4,85		 248 614	2,56-2,63
39	V	α β	A-3 A-2	3,645 4,11	3,645 4,11	5,730			4,47
40	Zr	α β	A-3 A-2	3,231 3,609	3,231 3,609	5,147 3,609		 862	6,49-6,53
41	Nb		A-1	3,301	3,301	3,301			8,4-8,7
42	Mo		A-2	3,147	3,147	3,147			10,1-10,4
43	Tc		A-3	2,735	2,735	4,388			11,45-11,50
44	Ru		A-3	2,706	2,706	4,282			11,51-12,28
45	Rh		A-1	3,804	3,804	3,804			12,41
46	Pd		A-1	3,890	3,890	3,890			11,4-12,2
47	Ag		A-1	4,086	4,086	4,086			10,5-10,6
48	Cd		A-3	2,979	2,979	5,617			8,60-8,65
49	Jh		A-6	3,251	3,251	4,947			7,25-7,31
50	Sn	α β	A-4 A-5	6,489 5,831	6,489 5,831	6,489 3,181		 25	5,85 7,2-7,5
51	Sb		A-7	4,307	4,307	11,274			5,3-6,69
52	Te		A-8	4,4566	4,4566	5,9268			6,20-6,25
53	J		Ромб.	9^793	9,793	4,790			4,93-4,94
54	Xe		A-1	6,197	6,197	6,197		−215	$5,89 \cdot 10^{-3}$
55	Ce		A-2	6,14	6,14	6,14		−10	1,87-1,90

10-жадвалнинг давоми

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
56	Ba		A-2	5,025	5,025	6,025			3,5-3,8
57	La	α β γ	Гекс. A-1 A-2	3,770 5,304 4,26	3,770 5,304 4,26	12,159 5,304 4,26			6,12-6,20
58	Ce	α β γ	A-1 A-3 A-1	4,85 3,65 5,161	4,85 3,65 5,161	4,85 3,91 5,161		−189	6,77-6,88
59	Pr	α β	Гекс. A-2	3,672 4,13	3,672 4,13	11,835 4,13			6,47-6,78
60	Nd	α β	Гекс. A-2	3,658 4,13	3,658 4,13	11,799 4,13			9,96-7,01
61	Pm								7,26
62	Sm	α β	Гекс. A-1	3,621 4,07	3,621 4,07	26,25 4,07			7,54-7,75
63	Eu		A-2	4,582	4,582	4,582			5,26-5,30
64	Gd	α β	Гекс. A-2	3,636 4,06	3,636 4,06	5,782 4,06			7,89-7,90
65	Tb		A-3	3,601	3,601	5,693			8,27-8,30
66	Dy		A-3	3,590	3,590	5,647			8,50-8,54
67	Ho		A-	3,577	3,577	5,616			8,8
68	Er		A-3	3,559	3,559	5,587			9,05-9,16
69	Tm		A-3	3,537	3,537	5,554			9,30-9,33
70	Vb	α β	A-1 A-2	5,486 4,45	5,486 4,45	5,486 4,45			6,97-7,00
71	Lu		A-3	3,503	3,503	5,551			9,84-9,85

10-жадвалнинг давоми

72	Hf	α β	A-3 A-2	3,195 3,52	3,195 3,52	5,058 3,52			13,07-13,31
73	Ta		A-3	3,303	3,303	3,303			16,2-16,6
74	W		A-2	3,165	3,165	3,165			19,1-19,3
75	Re		A-3	2,760	2,760	4,450			20,5-21,4
76	Os		A-3	2,735	2,735	4,319			22,48-22,60
77	Jr		A-1	3,8312	3,8312	3,8312			22,42-22,50
78	Pt		A-1	3,923	3,923	3,923			21,3-21,6
79	Au		A-2	4,078	4,078	4,078			19,3-19,5
80	Hg		A-10	3,005	3,005	3,005	70°31	−46	13,54-13,60
81	Ti	α β	A-3 A-2	3,456 3,882	3,456 3,882	5,525 3,882		262	11,85 11,86-11,87
82	Pb		A-1	4,950	4,950	4,950			11,25-11,94
83	Bi		A-7	4,7459	4,7459	4,7459	57°14		9,78-9,84
84	Po		Куб. Ромбоэд.	3,345 3,36	3,345 3,36	3,345 3,36	98°13	10 75	9,32-9,50
85	At								
86	Rn		A-1	6,3	6,3	6,3			$9,73 \cdot 10^{-3}$
87	Fr		A-2	6,67	6,67	6,67			2,4-2,5
88	Ra		A-2						5,0-6,0
89	Ac		A-1	5,311	5,311	5,311			10,7
90	Th		A-1 A-2	5,084 4,11	5,084 4,11	5,084 4,11		1450	11,2-11,7
91	Pa		Тетр.	3,92	3,92	3,24			15,37
92	U		A-20 Тетр. A-2	2,858 10,759 3,534	5,877 10,759 3,534	4,945 5,656 3:534		25 720 800	18,6-19,6

11-жадвал

Минерал турларининг симметриялик даражасига қараб бўлиниши

Симметрия кўринишлари Сингониялар	Примитив	Марказли	Текислиги	Ўқли	Марказ текислиги	Инверсион примитив	Инверсион текислиги	Минерал турлари	
								сони	% ҳисобида
Триклин	12	76	—	—	—	—	—	88	6,5
Моноклин	—	—	28	14	351	—	—	393	30
Ромбик	—	—	34	32	213	—	—	279	21
Тригонал	6	22	20	11	84	—	—	143	11,5
Тетрагонал	2	23	1	13	72	3	17	131	10
Гексагонал	7	26	13	8	43	—	6	103	8
Кубик	5	30	33	1	102	—	—	171	13
Жами	32	177	129	79	865	3	23	1308	100

мураккаб бирикма кристалларининг симметриклик даражаси юқори бўлиши мумкин.

2. Изоморфизм ва аралаш кристаллар

Изоморфизм тушунчаси фанга Э. Митчерлих томонидан 1819 йилда киритилган бўлиб, унга кўра KH_2PO_4 ва KH_2AsO_4 кристалларининг бир хил шаклига тетрагонал сингонияга мансуб тетрагонал призма билан дипирамидадан иборат мураккаб шакл эканлиги қайд қилинади. Шу кристаллнинг (101) ва (011) ёнлари орасидаги бурчак 58° бўлиб, кейинги ўлчашлар натижасида бу бурчак калий фосфат учун 57° 58, калий арсенат учун 57°52 эканлиги аниқланди. Шу билан бирга кристаллографик ўқлар нисбати ҳам 1 : 0,939 ва 1 : 0,938 бўлиб чиқдики, бу шу моддалар кристалларининг бир-бирига жуда-жуда ўхшашлигини, лекин бири иккинчисининг айнан ўзи эмаслигини кўрсатади. Э. Митчерлих кимёвий жиҳатдан бошқа-бошқа кристаллнинг шакли бир хил ёки деярли бир хил, физик жиҳатдан ана шундай ўхшаш моддаларни изоморф моддалар деб атади.

Дастлабки пайтларда изоморф моддалар бири иккинчисидан кимёвий таркибига кўра бир хил атомларнинг бошқа хил атомлар билан 1:1 нисбатда алмашган бўлиши билан фарқ қилади деб қаралган эди. Бу назария ўз даврида, XIX асрнинг биринчи ярмида бир қатор элементларнинг атом оғирликларини аниқлаш учун ёрдам берди. Жумладан, $KClO_4$ билан $KMnO_4$ изоморфизми Mn атом оғирлигини (хлорга нисбатан) аниқлаш имконини берди. Кейинчалик кристалларнинг ички тузилишини рентген нурлари ёрдамида текшириш усуллари ишлаб чиқилгандан сўнг изоморфизм ҳодисаси ва унинг табиати бир мунча батафсил аниқланди.

Кимёвий таркиби турлича бўлган моддаларнинг битта аралаш кристалл ҳосил қилиш хусусиятига изоморфизм дейилади. Бунда изоморф аралашма ҳосил қилувчи моддаларнинг атом ва ионлари бошқа модда атом ва ионлари билан турлича нисбатда ўрин алмашиши мумкин. Бундай алмашиниш натижасида аралаш кристаллар ҳосил бўлади, бундай кристаллар баъзан қаттиқ эритмалар деб юритилади.

Кристалл тузилиши бир турли бўлган моддалар иккки хил йўл билан изоморф аралашмалар ҳосил қилиши мумкин. Улар изовалент ва гетеровалант изоморфизмлар дейилади.

Изовалент изоморфизмда кристалл тузилишидаги ионлар фақат тенг валентлик ионлар билан ўрин алмашиши мумкин. Бунда шу алмашинаётган тенг валентлик ионларнинг радиуслари орасидаги фарқ 15% дан ортмаслиги шарт, акс ҳолда кристалл тузилишининг барқарорлиги йўқолади. Масалан, икки валентли ватионлардан Mg^{2+} (ион радиуси 0,74A°); Fe^{2+}(0,80A°); Na^{2+} (0,74 Å); Zn^{2+}(0,83 Å) ва Mn^{2+}(0,91 Å) уч валентли катионлардан $Fe3^{+}$(0,64A°); Cr^{3+}(0,64 Å); Al^{3+}(0,57 Å) анионлардан — S^{2}(1,82 Å) ва Se^{2-} (1,93 Å) каби элементлар кристаллари бир турли бўлган кимёвий бирикмаларда бири иккинчиси билан изоморф ўрин алмашиши мумкин.

Изовалент изоморфизмда изоморф аралашма таркибидаги ўрин алмашинувчи тизим бирликлари билан уларнинг ўрнини ишгол этувчи бирликларнинг сони ўзгармасдан қолади. Масалан, $MgCO_3 \cdot FeCO_3$ изоморф қаторида Mg билан Fe; CuS-CuSe изоморф қаторида S билан Se тенг сонли ионлари билан ўрин алмашиши мумкин.

Гетеровалент изоморфизм. Бу хил изоморфизмда ион радиуси тенг ёки яқин бўлган бошқа-бошқа валентли кимёвий элемент атом ёки ионлари бири иккинчиси билан ўрин алмашади. Бундай алмашиниш натижасида ҳам, албатта умумий кимёдан маълум бўлганидек, бирикмадаги анионлар билан катионлар орасидаги электростатик мувозанат сақланиб қолиши керак. Кичик валентли ион билан катта валентли ионнинг ўрин алмашишидан юзага келган ортиқча валентлик бирикманинг катион қисмида бўлар экан, шу бирикманинг анион қисмида ҳам ионлар бошқа ионлар билан ўрин алмашиниши зарур. Натижада анионлар билан катионлар орасидаги мувозанат сақланиб қолади, ва аксинча, валентлиги тенг бўлмаган анионлар изоморф ўрин алмашинар экан, шу бирикманинг катион қисмида ҳам электростатик мувозанатни сақлаб қоладиган даражада алмашишлар бўлиши шарт. Масалан, слюдаларда Mg^{2+} билан Al^{3+} ўрин алмашинар экан, бунда икки валентли Mg катион-

нинг учтаси Al катионнинг иккитаси билан алмашади, яъни $Mg_3 \rightarrow Al_2$ бўлгандагина бирикмадаги электростатик мувозанат сақланади.

Шунингдек, изоморф алмашиниш $[SiO_4]^{4-}$, $[AlO_4]^{5-}$, $[PO_4]^{3-}$ ва $[SO_4]^{2-}$ каби радиуслари яқин ёки тенг мураккаб анионлар орасида ҳам жуда кўп учрайди. Жумладан, плагиоклазлар гуруҳи минералларининг альбит $Na[AlSiO_3O_8]$ билан $[Al^{III}O_4]^{5-}$ анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$ чексиз аралашмалари магматик тоғ жинслари таркибида кенг тарқалган. Бунда $[Si^{IV}O_4]^{4-}$ билан $[Al^{III}O_4]^{5-}$ комплекс анионларининг изоморф алмашиниш натижасида Al уч валентли, Si тўрт валентли эканлиги туфайли бирикманинг анион қисмида юзага келган ортиқча манфий валентлик Na катионнинг икки валентли Ca катиони билан ўрин алмашиниши ҳисобига мувозанатга келади.

Демак, бирикманинг анион қисмидаги ва катион қисмидаги изоморф алмашинувчи ионларнинг валентлиги доимо тенг бўлиши шарт.

Юқорида келтирилган мисолларда изоморф моддалар бири иккинчиси билан чексиз нисбатда алмашиниши мумкин. Чексиз изоморф аралашма ҳосил қилувчи элементлар 12-жадвалда келтирилган. Бундай изоморф моддалар мукаммал изоморф моддалар; изоморфизм эса мукаммал изоморфизм дейилади. Булардан ташқари, чекланган изоморф моддалар ҳам бўлади. Масалан $BaSO_4$ билан $KMnO_4$ фақат маълум нисбатлардагина изоморф алмашиниши, яъни аралаш кристалл ҳосил қилиши мумкин. Бундай изоморфизмни чекланган — мукаммал эмас изоморфизм дейилади. Кальцит $Ca[CO_3]$ билан магнезит $Mg[CO_3]$ ҳам чекли изоморф моддалар бўлиб, фақат маълум нисбатда аралаш кристалл (доломит — $CaMg[CO_3]_2$ ҳосил қилади. Шу ҳар қа йси модда кристалл тизимидаги элементар ячейканинг ўлчами (6,412A° ва 6,064 A°) ва катионларнинг радиуси (1, 06A° ва 0,78 A°) орасидаги анча катта фарққа кўра чексиз аралашма ҳосил қила олмайди. Демак, кристалл тизими бир хил бўлиб, чекланган изоморф аралашма ҳосил қилувчи моддаларда алмашинувчи тизим бирликларининг радиуслари орасидаги фарқ анча катта, яъни 20—25 фоизни ташкил этади.

12-жадвал

Минераллар таркибида чексиз изоморфизм (аралшма) ҳосил қиладиган элементлар

Эл. мусб. элементлар	Эл. мусб. элементлар	Эл. ман. элементлар	Эл. мусб. элементлар
K-H_3O(1)*	La-Ce(2)	Cl-Br(1)	Na-Ca(5)
Ag-Au(1)	Ce-Y(3)	OH-F(6)	Ca-Ce(1)
Sr-Ca(1)	Al-Fe^{3+}(5)	S-Se(2)	Mg-Al(2)
Ba-Sr(1)	Fe^{3+}-Mn^{3+}(1)	Te-S(1)**	Fe^{2+}-Al(2)
Ca-Mn(2)	Sb'''-As''' (4)	CO_3-SO_4(1)	Fe^{2+}-Fe^{3+}(3)
Mn-Mg(1)	Sn-Ge(1)	AsO_4-PO_4(2)	Mn^{2+}-Fe^{3+}(2)
Mn-Fe(20)	V^v-As^v(1)	$Na_3[PO_4]$-H_2O(1)	Si-Al(6)
Mg-Fe(22)	Ta-Nb(5)		Ti-Nb(1)
Zn-Cu(1)	Os-Ir(1)		
Co-Ni(4)			

*Қавс ичида минераллар дунёсида аниқланган жуфт элементлар сони

**Атом атом билан эмас, қават-қават билан ўрин алмашади.

Бундан ташқари, мураккаб ҳолат ҳам, изовалент ва гетеровалент изоморфизмлар бир пайтда, бир минералнинг ўзида намоён бўлиши мумкин. Мисол тариқасида илменорутил-стюверит изоморф қаторини кўрсатиш мумкин. Бунда қуйидаги элементлар $Ta^{5+} \rightarrow Nb^{5+}$, $Ti^{4+} \rightarrow S_n^{4+}$; $Fe^{2+} \rightarrow Mn^{2+}$ изовалент изоморфизмини $Ti^{4+} \rightarrow [Ta, Nb)^{5+}Fe^{2+}$ эса гетеровалент изоморф аралашмаларини ташкил этади. Натижада шу $\{Ti[(Nb, Ta)Fe]\}O_2 \rightarrow \{[(Ta, Nb)Fe]Ti\}O_2$ изоморф қатор юзага келади.

Бундай элементларнинг мураккаб изоморф алмашиниши натижасида ўша минералларнинг физик хусусиятлари: солиштирма оғирлиги, қаттиқлиги ва бошқа хусусиятлар ҳамда тизим ўлчамлари ўзгаради.

Юқорида таърифи берилган расмий аралаш кристаллардан ташқари, яна тўлдирувчи аралаш кристаллар ҳам мавжуддирки, бундай модда кристалли тузилишларида аралашувчи модда тизим бирликлари ўрнида эмас, балки улар-

нинг орасидаги бўшлиқларда жойлашади. Бу жиҳатдан қараганда, асосий кристалл тизими эритувчига, аралашувчи модда эса эриган моддага ўхшайди.

Баъзи металл қотишмаларига аралаштирилган металлар кристалл тизимларида шундай бўшлиқларни ишгол этади. Таркибида натрий металл аралашмалари бўлган кўк рангли ош тузи (галит — NaCl) шу тўлдирувчи аралаш кристалларга мисол бўлади.

3. Полиморфизм

Маълум кимёвий элемент ёки кимёвий бирикма кристалланиш шароитига (босим, ҳарорат, эритма ёки қотишманинг таркибига) қараб, шакли, тузилиши ва физик хусусиятлари жиҳатидан бир-бирига мутлақо ўхшамайдиган турлича кристаллар ҳосил қилиши мумкин.

Кимёвий таркиби бир хил бўлиб, кристалл тизими ҳар хил бўлган моддаларга полиморф модификациялар дейилади. Полиморф модификациялар бир-биридан, аввало кристалл тизимидаги фарқ билан ажралади. Бу бир турли тизим бирликларининг муайян шароитга мувофиқ равишда турлича кристалл тизими ҳосил қила олишда, яъни тизимда турлича жойланишида намоён бўлади. Баъзи бир кимёвий элемент ёки бирикмаларнинг бир нечтадан — иккита, учта ва ундан ҳам кўп полиморф модификациялари бўлиши мумкин.

Баъзан бир турли кристалл тизимларида атом ва ионлар ўзининг тутган ўрни, жойланиш тартибига кўра бир-биридан фарқ қилади. Чунончи, икки ёки ундан ортиқ шаклларда кристалланадики, бундай хусусият полиморфизм дейилади.

Мавжуд кристалл тизимларини уларнинг ҳосил бўлиш шароитларини ўзгартириш йўли билан бошқа-бошқа полиморф модификацияларига айлантириш мумкин. Умуман, кимёвий моддаларнинг юқори босим ва юқори ҳарорат таъсирида юзага келган модификациялари паст ҳарорат ва босимли муҳитда юзага келган бошқа модификацияларга қараганда юқори даражали симметрияга эга. Масалан, кварц (SiO_2) юқори ҳароратли муҳитда гексагонал, паст ҳароратли муҳитда эса тригонал сингонияда кристалланади; С —

карбон ҳам олмос — кубик, графит — гексагонал; $CaCO_3$ — кальций-карбонат ҳам кальцит-тригонал, арагонит-ромбик ҳам шундай ҳар хил муҳитда кристаллангандир. Лекин маълум моддaнинг, масалан, олмос ва графитнинг бир модификациядан иккинчи модификацияга ўтиши учун жуда юқори ҳарорат ва босим талаб этилса, бошқа моддaнинг шундай алмашиниши учун жуда кичик босим ва ҳарорат ҳам кифоя қилади. Масалан, аммоний нитрат тузининг мавжуд бешта модификацияси ҳам 17-80° ҳарорат оралиғида юзага келади. Шундай моддалар ҳам мавжудки, уларнинг ҳар қайси модификацияси ҳосил бўлиши учун ҳарорат билан босимдан кўра кўпроқ ташқи муҳит аҳамиятли бўлиб қолади. Масалан, бир хил термодинамик шароитларда FeS_2 кислотали муҳитда кубик сингонияда пирит шаклида, ишқорли муҳитда эса ромбик сингонияда марказит шаклида кристалланади. Бундай полиморф модификацияларнинг ҳаммаси ҳам муайян ҳарорат, босимга эга бўлган шароитларда барқарор бўлиб, бирга учраши мумкин. Рутил, анатаз ва брукит шаклида кристалланадиган TiO_2, сфалерит ва вюртцит шаклида топиладиган ZnS ҳам шулар жумласига киради.

Юқорида кўрсатилган полиморф алмашинишлар жараёнида моддaнинг кристалл тизимигина эмас, айрим ҳолларда тизим бирликлари орасидаги кимёвий боғланишнинг тури ҳам ўзгаради (13-жадвал). Полиморф алмашинишлар жуда кўп ва хилма-хил бўладики, шунга кўра полиморфизмни қуйидагича уч турга ажратиш мумкин.

1. Полиморф алмашинишлар жараёнида бир турли тизим доирасида бўлиб, бундай алмашинишлар натижасида кристалл тузилиш сақланиб қолади. Бунга турли аммоний тузларини (NH_4NO_3, NH_4Br, NH_4Cl) мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

2. Координацион сони ва кимёвий боғланиш тури сақланган ҳолда кристаллнинг тизими бошқача бўлган полиморф алмашинишлар ҳам мавжуд. Бунинг учун ZnS мисолини кўрсатиш мумкин, бунда Zn катиони беш хил тизим турининг ҳаммасида ҳам учлари бир томонга қараган тетраэдрик бўшлиқлар сонининг ярмини ишғол этиб, жойлашади. Иккинчи мисол тариқасида кремнезем — SiO_2 полиморф модификацияларини ҳам кўрсатиш мумкин. Жумладан,

кварц, кристобалит, тридимит ва уларнинг юқори ва паст ҳароратда ҳосил бўлган шакллари ҳам бири-иккинчисидан фақат (SiO_4) тетраэдрларининг ўзаро боғланиш тартиби билан фарқ қилади. Буларнинг ҳаммасидан ҳам атомларнинг координацион сони ўзгармасдан тўртталигича қола беради.

3. Кристалл тизимининг тури, координацион сони ва кимёвий боғланиш тури ҳам бошқа-бошқа бўлган полиморф алмашинишлар ҳам мавжуд. Бунинг учун мисол қилиб, темирнинг полиморф модификацияларини кўрсатиш мумкин. Бу модификациялар ҳажми марказлашган кубик ва ёнлари марказлашган кубик тизимда кристалланган бўлиб, улар темирнинг координацион сони ва атомларнинг зич жойланиш тури билан бир-биридан фарқ қилади. Олмос билан графит карбон модификациялари бир-биридан кескин фарқ қиладиган кристалл тизими ва кимёвий боғланиш тури билан ҳам ажралиб туради.

Табиий шароитда юқори ҳароратда ҳосил бўлган β-кварцнинг гексагонал кристалли ернинг устки қисми шароитларида тригонал сингонияда кристалланадиган α кварц модификациясига айланиши мумкин. Шундай янгидан ҳосил бўлган модификация ўзининг аввалги шаклини сақлаб қолар экан, у параморфоза деб аталади. Минералларнинг псевдоморфоза ва параморфоза деб аталадиган қиёфалари баъзан худди шу йўл билан ҳосил бўлади (13-жадвал).

4. Элементлар ва кимёвий бирикмаларнинг кристалл тузилиши

1. Кимёвий элементлар кристалл тузилиши

Кимёвий элемент ва улар бирикмаларининг кристалл тизимлари шу элементларнинг Менделеев жадвалида (5-жадвал) тутган ўрни билан бевосита боғлиқ. Ўша жадвалнинг ўнг томонида нометалл, чап томонида аниқ металлик хусусиятига эга бўлган элементлар жойлашган. Демак, кристаллнинг тузилиши шу кристаллни ташкил этувчи минерал таркибига кирадиган элементларнинг сони ва сифати ҳамда кимёвий хусусиятларига қараб хилма-хил бўлади.

13-жадвал

Полиморф минераллар

Ўзгариш тури	Минерал ва таркиби	Кристалл тизими	Сингония	Ўзгариш ҳарорати	Муҳит
к.с. тизим тури ўзгаради	Олмос С	координацион	куб	1300	юқори Р
	Графит С	Варақсимон	гекс. г		паст Р
	Дистен $Al_2[SiO_4]O$	оролсимон	трик		юқори Р
	Силиманит $Al\,AlSiO_5$	занжирсимон	ромб	1400	юқори Т
Атомлар к.с. ўзгаради	Арагонит $CaCO_3$	оролсимон	ромб	400	паст Т
	кальцит $CaCO_3$	оролсимон	триг	400	
тизим тури ўзгаради	валентинит Sb_2O_3	занжирсимон	ромб	557	паст Т
	Сенармонтит Sb_2O_3	оролсимон	куб		паст Т
	Анатаз TiO_2	тўқимасимон	тетр		паст Т
	Рутил TiO_2	занжирсимон	тетр	915	ўрта ва паст Т
тизим тури ўзгаради	сфалерит ZnS	координацион	куб	1020	ишқорли
	Вюрцит ZnS	координацион	гекс г		нордон
	Марказит FeS_2	оролсимон	ромб	415	нордон
	пирит FeS_2	оролсимон	ромб		ишқорли
	кварц SiO_2	тўқимасимон	триг	573	ўртача
	Гексакварц SiO_2	тўқимасимон	гекс г		юқори Т
	Гексакристобалит SiO_2	тўқимасимон	гекс г		юқори Т
	Гексатридимит SiO_2	тўқимасимон	гекс г	870	жуда юқори Т
қаватларда атом полиэдрларнинг йўналиши ўзгаради	вюрцит-2H ZnS	координацион	гекс г		ўртача Т
	вюрцит-4H ZnS	координацион	гекс г		ўртача Т
	хэгбомит-15R $Mg_2Al_4O_8$	координацион	триг		юқори
	хэгбомит-21R $Mg_2Al_4O_8$	координацион	триг		юқори

2. Ҳақиқий металларнинг кристалл тузилиши

Металларнинг энг кўп тарқалган кристалл тузилишлари — гексагональ зич жойлашган, кубик зич жойлашган ва кубик ҳажми марказлашган тузилишлардан иборат. Юқорида ҳисоблаб чиқилганидек бундай тузилишларда металл атомлари ишғол этган ҳажм биринчи ва иккинчи ҳолларда 74,05%, учинчи ҳолда эса — 68,01%. Шу билан бирга кубик ва гексагонал зич жойлашган тузилишларда координацион сон Z -12 га, ҳажми марказлашган кубик тузилишда — Z = 8 га тенг. Металларда боғланиш кучи маълум йўналишга эга эмас, шунинг учун ҳам ҳар бир атом ўзига кўпроқ электронларни жалб этишга интилади.

Фақат α ва β – U, Pa ҳам Mn нинг ҳамма модификацияларидан бошқа металлар юқорида санаб ўтилган уч турли тизимда кристалланади. Буни α-Mn мисолида кўриш мумкин. Ҳақиқатан ҳам ячейкага тўғри келадиган 58 та Mn атомлари 2 та 8 та, 24 та ва яна 24 тадан бўлиб, тўрт гуруҳга бўлинади. Буларнинг биронтасини ҳам симметрия воситалари ёрдамида бир-бирига мос келтириб бўлмайди. Бу атомларнинг электрон ҳолати ҳам бошқа-бошқадир. α-Mn тузилиши ўзига хос бўлишига қарамасдан умумий расмий металл тузилишларига, яъни симметриялик даражасини юқори — кубик бўлиши, координация сонининг катталиги билан ўхшаб кетади. x – U ромбик сингонияда кристалланишига қарамай тизими гексагонал зич жойлашиш тузилишига жуда ҳам ўхшаб кетади.

β-Mn — кубик сингонияда кристалланади, кубик зич жойлашиш турига жуда яқин бўлиб, атомлари икки турли жойлашган бўлишига қарамай, координация сони Z = 12 га тенг. Лекин улар орасидаги масофа ҳар хил 2,36 A° дан 2,67 A° гача γ-Mn кристалл тузилиши ҳам шунга ўхшаш, лекин 4 даражали симметрия ўқи йўналиши бўйича деформацияланган; шунга кўра кристаллари тетрагонал сингонияга мансуб бўлиб қолган. Хулоса қилиб айтганда, умуман бу гуруҳ элементлари тузилиши, асосан юқорида эслатиб ўтилганидек, уч турлидир.

2. Hg, Zn ва γ-Mn каби элементларнинг кристалл тузилиши α-Mn кристалл тузилишида Mn атомлари кубик зич жойлашгандек бўлиб кўринса ҳам аслида муглақо бош-

қачадир. Элементар ячейкаси кубнинг 4 ўқ бўйича бир оз бўлса ҳам чўзилиши ёки қисқариши натижасида симметриялик даражаси кескин пасайиб кетади; иккита 4, тўртта 3 симметрия ўқлари йўқолади; фазовий панжараси тетрагонал сингонияга мансуб бўлиб қолади. Тетрагонал сингонияда Бравэ қоидасига мувофиқ ёнлари эмас, ҳажми марказлашган элементар ячейка мавжуддир. Шу билан бирга бу ячейканинг ҳажми —ёнлари марказлашган кубдан икки марта кичик бўлиб қолади.

In кристалл тузилиши ҳам γ-Mn тузилишига ўхшаб кетади. Лекин куб шаклидаги элементар ячейканинг ўлчами бошқа йўналиш бўйича ўзгаради. Бу жиҳатдан қараганда, Hg кристалл тузилиши ҳам ўзига хос хусусиятларга эга. У ромбоэдр шаклида кристалланади, лекин унинг умумий қиёфаси марказлашган, кубик ячейкага жуда ўхшаб кетади. Ўша куб ёнлари бурчаги 60° га тенг элементар ячейкага айлантирилар экан, унинг бир қатор симметрия воситалари камаяди, яъни тўртта 3 симметрия ўқи битта бўлиб қолади, учта 4 эса мутлақо йўқолади. Натижада кубик элементар ячейка ўрнига, содда ромбоэдр шаклидаги ҳажми кубга нисбатан 4 марта кичик элементар ячейка пайдо бўлади. Шундай қилиб, кубик зич жойлашишдан гексагонал зич жойлашган тузилишига ўтиш, симоб мисолида кўрилганидек, кечиши мумкин.

Нометалл — б гуруҳ элементларининг кристалл тузилиши

Нометалл кимёвий элементларнинг кристалл тузилишида координацион сон K = 8 – N га тенг, бунда N — элементлар даврийлик жадвалидаги гуруҳнинг тартиб сонига тенг. Бу ҳар бир кимёвий элементнинг 8 mт электрон билан ўралишига интилиш оқибатидир. Шунинг учун қўшни атомлар билан умумий жуфт электронлар ҳосил қилади. Шу атомлар орасида жойлашган, ҳар икки атомга ҳам тегишли бўлган электронлар шу атомлараро ковалент боғланишни юзага келтиради. Натижада галоген элементлар билан хидрогеннинг координацион сони бирга тенг бўлади. Чунки ҳар қайси атом Cl-Cl каби биттадан энг яқин қўшни атомга эга.

VI-б гуруҳ элементларининг координацион сони 2 га тенг. Берк ҳалқаларда ёки чексиз занжирларда шундай бўлиши мумкин. Ҳақиқатан ҳам шундай: ромбик ва моноклин сингонияда кристалланадиган олтингугурт билан селен элементар ячейкаси учларида саккиз атомдан иборат ҳалқа жойлашади.

V-б гуруҳи элементларининг координация сони 3 га тенг бўлиши керак эди. Аслида ҳам P (қораси) As, Sb ва Bi кристалл тузилишида шундай. Бу элементларнинг ҳаммаси юзаси нотекис бурмаланган қаватларда жойлашган бўлиб, шу бир қаватда жойлашган атомлар орасидаги масофа бошқа-бошқа қаватларда жойлашган атомлар орасидаги масофадан кичик.

Шунингдек, V-б гуруҳ элементлари тўрт атомдан иборат тетраэдр қиёфасидаги молекула ҳам ҳосил қилади. Бундай ҳолни паст ҳароратларда юзага келган кубик, зич жойлашган молекулалардан ташкил топган фосфорда ҳам кўриш мумкин.

IV-б гуруҳга мансуб элементлардан бири координация сони 4 га тенг бўлган олмос-карбон ҳам Si, Ge, Sn шундай тузилишда кристалланади. Графит билан оқ қалайнинг кристалл тузилиши K = 8 – N қоидаси жиҳатидан бошқача — жуда мураккаб.

Маълум K = 8 – N қоидасига мувофиқ III-б гуруҳ элементларининг координация сони 5 га тенг бўлиши керак эди. Лекин табиий кристалларда 5 даражали симметрия ўқининг мавжуд эмаслиги мана шу координация сони бешга тенг бўлган тузилишнинг умуман бўлмаслиги оқибатидир. Чунки бу гуруҳ элементлари — нометалл элементлар гуруҳидан анча узоқ ва уларнинг металлик хусусиятлари яққолроқ кўринади. Шунинг учун уларда ковалент боғланиш билан бир қаторда металларга хос боғланиш тури ҳам намоён бўлади.

II-б гуруҳ элементларининг координация сони K=6 га тенг бўлиб, у маълум қоидага мутлақо мосдир. Бу элементларнинг ковалент боғланиш ҳосил қилиши учун электронлари етишмайди, металлик хусусияти янада яққолроқ кўринади. Шунинг учун ҳам уларнинг кристалл тузилиши координация сони 12 га тенг бўлган металларникига жуда ўхшаш,

лекин айнан металларга хос шарларнинг зич жойланиш тартибига тўла риоя қилинмасада, ҳар қалай яқинлашади. Координация сони олтига тенг, лекин яна бошқа олтитаси ҳам борки, улар аввалгиларига қараганда бир оз узоқроқда жойлашган. Масалан, рухнинг атрофидаги кўшни атомлараро масофаси 2,66, қолган 6 атом орасидаги масофа — 2,91 А° га тенг; шунга ўхшаш кадмийда 2,97 ва 3,29; симобда — 3,00 ва 3,47 А°.

Демак, Менделеев жадвалидаги "б" гуруҳ элементларининг асосий қисми молекуляр тузилишга ёки $K = 8 - N$ қоидасига риоя қиладиган тизимларда кристалланади. Баъзан мана шу умумий тартиб бузилган бирмунча мураккаб тузилишлар ҳам мавжуддир.

Металл қотишмалари кристалл тузилишлари

Металл атомларининг радиуси координация сони 12 га тенг бўлган соф металл тузилишларидаги атомлар орасидаги масофани иккига тақсимлаб аниқланади. Агар уларнинг координация сони 12 дан бошқача бўлса, унга махсус жадвалларга қараб тузатиш киритилади.

Ҳар хил металларнинг атомлари ўзаро бир-бири билан турлича боғланган бўлиши мумкин. Уларнинг баъзилари суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирлари билан кимёвий реакцияга киришмайди ва алоҳида-алоҳида (бири иккинчиси билан аралашмайдиган) қаватлар ҳосил қилади. Ниҳоят, шу икки металл кимёвий реакцияга киришади, муайян таркибли бирикма юзага келади. Мана шу икки ҳолат орасида бир неча бошқача ҳолатларни ҳам кўриш мумкин:

а) металл атомлари юқорида айтиб ўтилганидек, суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам кимёвий реакцияга киришмайди;

б) металлар суюқ ҳолатда аралашиб, кейин қаттиқ аралашма ҳосил қилади;

в) металлар бир-бири билан чексиз қаттиқ эритма ҳосил қилади;

г) металлар бири иккинчиси билан битта ёки бир неча қотишма ҳосил қилади. Бу ҳолатлар орасида аниқ қатъий

чегаралар йўқ, биридан иккинчисига маълум оралиқ ҳолатлар орқали ўтиш мумкин. Шу билан бирга ҳосил бўлган шу бирикмаларнинг барқарорлиги ҳам ҳар хил бўлади.

Суюқ ҳолатда аралашувчи металлар. Булар қаттиқ ҳолатда қаттиқ эритма ҳам, қаттиқ қоришма ҳам ҳосил қилмайди. Металл атомларининг радиуси бир-биридан кескин фарқ қилади. Агар уларнинг атом радиуслари бир-бирига яқинроқ бўлса, қаттиқ эритма юзага келади. Масалан, K билан Li суюқ қаватлар, K билан Rb ҳам Cs қаттиқ эритмаларининг чексиз қаторини ҳосил қилади (r_{Li} = 1,55; r_{Na} = 1,89; r_K = 2,36; r_{Rb} = 2,48; r_{Cs} = 2,68 Å). Магний (r – 1,60) билан Li қаттиқ эритмаларнинг чексиз қаторини ташкил этади. Лекин Na ҳам K билан бошқа-бошқа суюқлик қаватига ажралади.

Атомларнинг электрон қаватларидаги кескин фарқ ҳам, шунга ўхшаш металларнинг эриш ҳарорати орасидаги катта фарқ ҳам қаттиқ эритмалар ҳосил қилиш имконини бермайди.

Қаттиқ эритма ва металл қотишмалар. Кристалл тузилишларида аралашувчи металл атомлари маълум тартиб билан жойлашган бўлади. Лекин ўша аралашган атомларнинг тартиб билан жойлашганлари камдан-кам 100% ни ташкил этади. Шундай қилиб, кимёвий бирикма билан қаттиқ эритмалар орасида кескин фарқ сезилмайди. Унисида ҳам, бунисида ҳам атомлар муайян тартиб билан жойлашади.

Қўшалоқ ва чексиз аралашувчан металлар қотишмаси. Металлар билан нометаллар бир-бирининг ўрнини алмаштирувчи қаттиқ эритмалар чексиз қаторини ҳосил қилади. Металлар атом радиуслари жуда кичик бўлган (H, B, C, N) нометалл элементлар билан тўлдирувчи қаттиқ эритмаларни юзага келтиради.

Кристалл тизимида ортиқча атоми бўлган қаттиқ эритмаларни металлар билан баъзи бир нометалл элементлар — олтингугурт, селен бирикмаларида кўриш мумкин. Бундай тизимда ҳосил бўлган нометалл элементларнинг ион радиуслари жуда кичикдир. Шунингдек, шу нометалл элементларда иштирок этган кристалл тизимида атомларнинг ўрни бўш қолган қаттиқ эритмалар ҳам юзага келади. Бу турли қаттиқ эритмалар орасида энг кўп тарқалгани атомлари ўрин алма-

шувчи қаттиқ эритмалардир. Қаттиқ эритмаларнинг чексиз қаторини юзага келиши учун ўша эритма таркибига кирадиган кимёвий элементларнинг кристалл тузилиши бир хил ёки бир-бирига жуда ўхшаш бўлиши, ундан ташқари, шу атомларнинг ион радиуслари орасидаги фарқ 10-12% дан ошмаслиги керак. Ана шу қаттиқ эритма таркибидаги элементларнинг кимёвий хусусиятлари ҳам бир хил, яъни Менделеев жадвалида бир кичик гуруҳда ёки бир даврда жойлашган бўлиши керак. Айрим ҳолларда, кимёвий элементларнинг ион радиуслари орасидаги фарқ катта бўлса ҳам, элементлар орасидаги мана шу кимёвий яқинлик туфайли барқарор қаттиқ эритмалар қатори юзага келади. In билан Tl қаттиқ эритмасининг барқарорлиги айнан мана шу элементларнинг кимёвий ўхшашлиги билан боғлиқдир. Маълумки, In тетрагонал Tl эса кубик тузилишга эга бўлиб, улар қаттиқ эритма ҳосил қилар экан, таркибидаги элементнинг миқдорига қараб бир тизимдан иккинчи тизимга ўтади.

Полиморфизм ва қаттиқ эритмалар. Қаттиқ эритмаларнинг узлуксиз қаторини ташкил этувчи элементлар, маълумки, бир хил тузилишга эга бўлиши керак, лекин эритма ҳосил қиладиган элементларнинг бири ташқи муҳит билан боғлиқ равишда бир неча тизимларда кристалланиши мумкин. Бундай ҳолда: а) қаттиқ эритма таркибидаги элементлар тизимларининг юқори ҳароратда юзага келадиган турлари бир хил бўлиши керак; б) эритмадаги элементларнинг тизимларидан бири иккинчи элементнинг тузилиши билан мос келиши, яъни элементлар тизимларининг тури юқори ҳарорат билан боғланмаслиги шарт; в) эритмадаги элементларнинг биронтаси тизимларнинг ўхшаш турига эга бўлмаслиги мумкин. Масалан, Ru билан Pt, V билан CO кабилар эритмалар ҳосил қилиши мумкин. Лекин улар чексиз қаттиқ эритмалар қаторини юзага келтира олмайди.

Шу баён қилинган мулоҳазаларни темир иштирок этадиган қаттиқ эритма мисолида кўриш мумкин. Темир маълумки, 3 хил тузилишда кристалланади. α, β ва δ темир бир хил, γ — темир бошқа хил тузилишга мансубдир. Темирнинг бошқа элемент билан ҳосил қилган жуфт бирикмаси 4 тоифада бўлади.

1. α, β, δ тузилиш турлари асосида юзага келган узлуксиз қаттиқ эритмалар қатори: V-Fe, Cr-Fe ва ҳ.к. лар қатори.

2. γ — темир тизими асосида юзага келган узлуксиз қаттиқ эритмалар. Масалан, Fe-pd, Fe-Pt ва бошқалар.

3. α, β ва δ — темир бир хил шароитда чекланган қаттиқ эритма қаторини ҳосил қилади. Масалан, Ti-Fe, Mo-Fe ва ҳ.к.

4. Темирнинг α — тури билан δ тури алоҳида-алоҳида ажралган ҳолда чекланган қаттиқ эритма қаторини ҳосил қилади. Масалан,

Zr – Fe ва ҳ.к.

Қаттиқ эритманинг таркиби билан элементар ячейкаси ўлчамлари орасида муайян боғланиш мавжуддир. Қаттиқ эритма икки металлдан ташкил топган экан, ўша модда элементар ячейкасининг ҳажми металлар атом радиуси билан боғлиқ бўлади. Бу қиймат шу қаттиқ эритма таркибида иштирок этадиган металларнинг миқдорига мувофиқ тўғри чизиқ бўйича ўзгарадики, шу металл атомлари миқдорига қараб, элементар ячейка ҳажмининг ўзгариши — Вегард қоидасига мувофиқ қуйидагича ифодаланади:

$$a = \frac{a_1c_1 + a_2c_2}{100}$$

бунда a_1 ва a_2 — ҳар бир металлнинг фазовий панжараси ўлчами; c_1 ва c_2 — қаттиқ эритма таркибидаги ҳар бир металлнинг молекуляр миқдори (фоиз ҳисобида). Кўпинча, жумладан Pt-Au, Pd-Au қотишмаси Вегард қоидасига мос келади. Лекин бу қоидага мос келмайдиган ҳолатлар ҳам учраб туради. Масалан, Cu-Pd, Cu-Au, Ag-Au, қаттиқ эритмаларида шундай бўлади. Чекланган қаттиқ эритмаларнинг ҳосил бўлиши учун юқорида кўрсатилган чексиз эритмани юзага келтирувчи шартлар бажарилмаган бўлиши керак. Жумладан, қаттиқ эритма таркибидаги металлар бошқа-бошқа тизимларда кристалланади; атом радиуслари орасидаги фарқ 12% дан ортиқ, ўша металларнинг ҳар бири кимёвий жиҳатдан бир-бирига яқин эмас.

Металларнинг қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида шу нуқсонларнинг бирон таси мавжуд экан, чекланган таркибли қотишма юзага келади. Масалан, металлар ҳар хил тизимларда кристалланса ҳам ҳажми жиҳатидан бир-бирига яқин

металлар Li билан Mg; Os билан Pd; Cd билан Hg; Ag билан Hg; Cu билан Zn; Ag билан Cd ва ниҳоят Zn билан Al қаттиқ эритма ҳосил қилади. Атомлар ҳажми орасидаги фарқ 10-15% дан ортиқ бўлса, уларнинг эрувчанлик даражаси кескин камайиб кетади.

Металларнинг кимёвий хусусиятлари бир-бирига яқин ўхшаш бўлган ҳолларда ҳам қаттиқ эритмалар ҳосил бўлади. Жумладан, б кичик гуруҳлари металлари бири иккинчиси билан кўпроқ, ишқорий металлар билан камроқ қаттиқ эритма ҳосил қилади.

Аралашувчи элементларнинг валентлиги ҳам муҳим аҳамият кашф этади. Валентлиги катта бўлган металлар кичик валентли элементларга осонликча "мослашиб" олади ва аксинча, кичик валентли элементлар катта валентли металлар орасида осонликча жойлаша олмайди.

Чекланган қаттиқ эритмаларнинг ҳосил бўлиш чегараси электронлар концентрацияси билан аниқланади. Бирикмадаги озод электронлар сонининг атомлар сонига нисбати электронлар концентрацияси дейилади. Кристалл озод энергиясининг миқдори мана шу электронлар концентрацияси билан аниқланади.

Кристалл тузилишида атомларнинг ўрни бўш қолган қаттиқ эритмаларни Ni-Al мисолида кўриш мумкин. Al кристалл тизимига CsCl каби. Алунитнинг 50% гача бўлган миқдори расмий алмашинувчи қаттиқ эритма ҳосил қилади. Никелнинг 50% дан ортиқча бўлган миқдори Al ўрнида жойлашади. Қотишманинг таркиби ўзгариши билан элементар ячейкасининг ҳажми билан зичлиги ҳам ўзгаради. Чунки Al; — атом радиуси — 1,43 атом оғирлиги — 26,97; Ni — атом радиуси — 1,23, атом оғирлиги 58,69.

Шундай экан, қотишма таркибидаги енгил металл Al — оғир металл Ni билан ўрин алмашар экан, унинг зичлиги ҳам ортиши керак эди, лекин ҳақиқатда аралашган миқдори 50% га яқинлашгач, унинг зичлиги кескин пасайиб кетади. Бунинг сабаби аралашмалар миқдори маълум нисбатга, мисолимизда 50% га етганда қотишманинг зичлиги қонуний равишда орта боради, нисбат ўзгариши билан, яъни Al миқдори ортиши билан тузилишда Ni ишғол этиши лозим бўлган жойларнинг маълум бир қисми бўш қолади ва ниҳоят, натижада фазовий панжаранинг ҳажми ортади, қаттиқ эритма-

нинг зичлиги камаяди. Ni-Al қаттиқ эритмасида Al миқдори 60% га яқинлашганда Ni_2Al_3 таркибли бирикма ҳосил бўлади ва унинг кристалл тузилишида никелнинг 1/3 жойи бўш қолади. Ҳамма бўш қолган жой кристалл тизимининг (III) текислигига тўғри келади. Кристаллнинг NiAl кубик қиёфаси тригонал (Ni_2Al_3) бўлиб қолади.

Табиий кимёвий бирикмалар орасида юқорида таърифланганидан кўра кўпроқ ва мураккаброқ қаттиқ эритмалар металл қотишмалари — интерметалл бирикмалар ҳам борки, уларнинг таърифи махсус фан сифатида ўқилади. Шуни ҳисобга олиб, қуйида бошқа кимёвий бирикмалар хусусиятларининг баёни келтирилади.

5. Ноорганик бирикмалар кристалл тизими

Икки элементдан иборат бирикмалардан шу элементларнинг бўлиши мумкин бўлган нисбатларини ҳисоблаб чиқиш мумкин. Кимё фанидан маълумки, кимёвий бирикма таркибига кирадиган элементлар валентлиги асосида доимо бутун сонлар нисбатида бўлади. Масалан, AB, AB_2, AB_3, Ab_6, Ab_7 ва ҳ.к.

A_2B_3, A_2B_5, A_2B_7 ... ва ҳ.к.
A_3B_4, A_3B_5, A_3B_7 ... ва ҳ.к.
A_4B_5, A_4B_7, A_4B_9 ... ва ҳ.к.

Лекин бу қатордаги бирикмаларнинг ҳаммаси ҳам мавжуд бўлавермайди. Валентлик назарияси билан кристалларнинг ички тузилишига оид назариялар бу қаторларга ўз тузатишларини киритади.

Моддий нуқталар симметриясининг 230 гуруҳи назариясига мувофиқ моддий нуқталарнинг такрорланиши даражасини ҳисобга олганда кристалл тизимида бирикмаларнинг бўлиши мумкин бўлган қаторлари:

A_1B_1, A_1B_2, A_1B_3, A_1B_4, A_1B_6, A_1B_8;
A_1B_{12}; A_1B_{16}; A_1B_{24}; A_1B_{48};
A_2B_3, A_3B_4, A_3B_8 лардан иборат.

Яна валентлик назарияси ҳисобга олинадиган бўлса, санаб ўтилган бўлиши мумкин бўлган бирикма турларининг ўрта-

даги қаторини ўчиришга тўғри келади. Бу назарияга мувофиқ бундай кимёвий бирикмаларнинг бўлиши мумкин эмас.

Электр мусбат валентлигининг 8 дан, электр манфий валентлигининг 4 дан юқори бўлмаслиги натижасида бу қаторлар яна қисқариб,

AB_1, AB_2, AB_3, AB_4, AB_6, AB_8;
A_2B_3, A_3B_4, A_3B_8 кўринишига эга бўлади.

Лекин AB_5, AB_7, A_2B_5, A_2B_7, A_3B_5, A_3B_7 каби қаторлар мавжуд бўлиши мумкин, фақат таркибида иштирок этаётган элементларнинг бири кристалл тузилишида 2 ёки ундан ортиқ турдаги мавқеини ишғол этади ва натижада 3 ёки ундан ортиқ кимёвий элемент иштирок этадиган бирикма тизимига ўхшаш мураккаб кристалл тузилиши юзага келади.

Уч ва ундан ортиқ элемент бирикмалари кристалл тизими

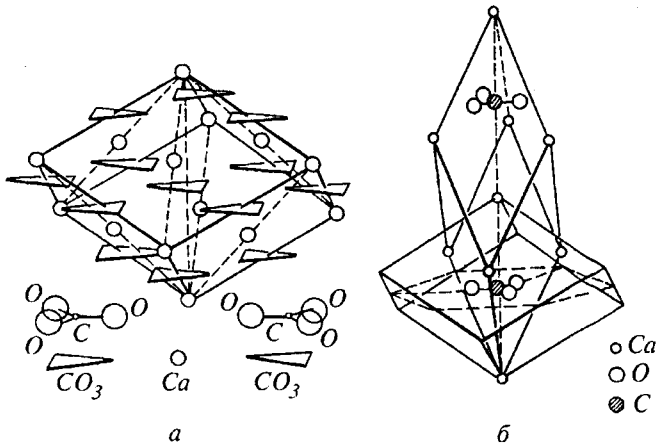
Улар икки турли бўлади. Биринчиси шартли равишда АВХ каби белгиланади. Бунда А ҳамда В — металлар нометалл элемент — Х билан бирикма ҳосил қилади. Иккинчи турли бирикма АХу шаклида белгиланади. А — металл, *х* ҳам *у* — нометалл элементлар бирикма ҳосил қилади.

Бу икки турли бирикмалар тузилиши жиҳатидан бир-биридан кескин фарқ қилади. Биринчи тур бирикма учун перовскит — $CaTiO_3$ мисол бўлади. Бунда кальцийнинг координация сони 12, титанники 6, ҳар бир металл атомига тўғри келадиган оксиген атоми 3 тадан бўлгани учун атомлар алоҳида гуруҳларга ажратилмаган.

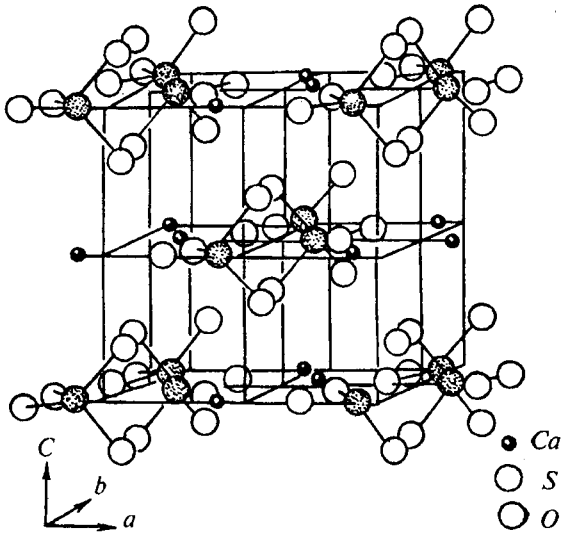
Иккинчи тур бирикмаларда икки элемент мураккаб анион гуруҳини ташкил этади. Масалан, $[CO_3]^{2-}$, $[SO_4]^{2-}$ сифатида металлар билан карбонатлар ҳамда сульфат бирикмалар ҳосил қилади. $[CO_3]^{2-}$ гуруҳи марказида карбон учларида оксиген жойлашган текис учбурчакликни, $([SO_4]^{2-}$ марказини олтингугурт ва учларини оксиген ишғол этган тетраэдр шаклида бўлади (90, 91-расмлар)

Таркиби мураккаброқ бўлган бирикмаларда, масалан, АВХУ турида А металлнинг жойлашган ўрнини бир қисми В

металлари билан ишғол этиладики, натижада кристалл тузилишининг аввалги ҳолати деярли сақланиб қолади. Жумладан, доломит ($CaMg[CO_3]_2$) кристалл тузилишида кальцит таркибидаги кальцийнинг бир қисми магний билан ўрин алмашади, Z ўқига тик йўналган қаватларни навбати билан Ca ёки Mg ишғол этади.



90-расм.



91-расм.

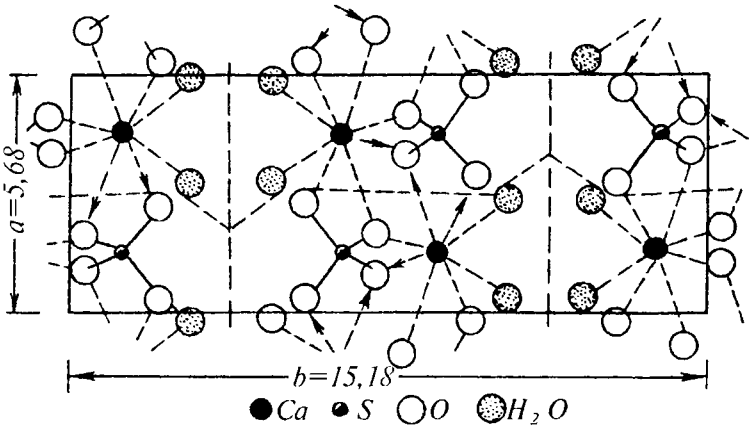
Бошқа мураккаб бирикмаларда шунга ўхшаш ҳолатни кўриш мумкин. Сфалеритда — ZnS, халкопирит — $CuFeS_2$ ва станнин — Cu_2FeSnS_4. Кристалл тизимларида Cu, Fe, Sn каби металлар ўша сфалеритдаги Zn ўрнини маълум қоидага асосан тартиб билан ишғол этади. Бунда аввалги куб шаклидаги элементар ячейка тетрагонал призмага айланиб қолади.

Мураккаб бирикмалардан бири бўлмиш сульфатлар кристалл тизимларида $[SO_4]^{2-}$ анион гуруҳи доимо алоҳида ажралган ҳолда иштирок этади. Бу жиҳатдан қараганда сульфатларни оролсимон тузилишли деб қараш мумкин. Лекин $[SO_4]^{2-}$ тетраэдларининг бошқа полиэдрлар билан икки ва ундан ортиқ валентли катионлар ташкил этган октаэдрлар орасидаги боғланишнинг мустаҳкамлигига қараб уларни оролсимон, занжирсимон, варақланган, тўқима тизимлиларга ажратиш мумкин. Масалан, гипс $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$ кристалл тузилишида $[SO_4]^{2-}$ тетраэдрлари Са катиони билан ўзаро бирлашиб, алоҳида-алоҳида қаватлар (92-расм) ташкил этувчи саккиз учли шакллар ҳосил қилади. Шунингдек, леонгардит — $Mg[SO_4]4H_2O$ мураккаб оролсимон тузилишга эга. Занжирсимон тизимлар ($[SO_4]^{2-}$) тетраэдрларнинг металл полиэдрлари билан бирин-кетин алмашинуви оқибатида ёки металл полиэдрлари билан унга ёндан туташган $[SO_4]^{2-}$ тетраэдларидан ҳосил бўлади (92-расм).

6. Силикатларнинг кристалл тизими

Силикатлар кристалл тизими жуда мураккаб бўлган ер пўстида жуда кўп тарқалган ноорганик бирикмалардир. Ҳозирги пайтда тажрибахоналарда ва саноат миқёсида кўплаб хилма-хил силикат бирикмалар сунъий равишда олинмоқда. Буларнинг жуда мураккаб кристалл тузилиши билан кимёвий таркиби орасидаги боғланишни тушунтириш мақсадида бир қатор силиций кислоталари мавжуддир, деб тахмин қилинган ва силикатлар шу фараз этилган кислоталарнинг тузлари деб қаралган эди.

Фан ва техниканинг, жумладан, кристаллография фанининг ривожланиши, шунингдек, рентген нурларининг кашф этилиши ҳамда кристалларни ўрганишда қўлланилиши туфайли силикатларнинг бутун ички "сири" очиб ташланди.



92-расм.

Шундай қилиб, силикатлар $[SiO_4]^{4-}$ анион гуруҳидан иборат тизим бирикмаларидан ташкил топгандир. Уларнинг хилма-хиллиги, таркибининг мураккаблиги ўша силиций ва уни ўраб турган тўртта оксиген атомидан иборат тетраэдрларнинг фазода тутган ўрни ва бир-бири билан тутаниш тартиби билан боғлиқдир. Бундан ташқари, силиций-оксиген тетраэдрлари орасида жойлашган катионларнинг катта-кичиклиги ва кимёвий хусусиятлари ҳам силикатлар тузилишида муҳим аҳамиятга эга. Булар ҳақида қуйида батафсилроқ тўхтаб ўтилади.

Шу билан бир қаторда силикатлар таркибида Si бир қатор кимёвий элементлар билан изоморф ўрин алмашиниши мумкин. Бундай алмашинишлар, айниқса алюминий билан кўпроқ учрайди. Демак, силиций билан оксиген атомларидан ташкил этилган тетраэдрларнинг маълум қисмида Si_4^{4+} ўрнини Al^{3+} ишғол этган бўлади, яъни кристалл тузилишида $[SiO_4]^{4-}$ тетраэдрлари билан бир қаторда $[AlO_4]^{-5}$ тетраэдрлари ҳам иштирок этадики, бундай силикатлар алюмосиликатлар дейилади. Алюминий силикатлар таркибида катион сифатида ҳам иштирок этадики, улар алюминий силикатлар дейилади.

Дала шпатларидан — ортоклаз, микроклин, албит, анортит; слюдалардан — мусковит, флагопит каби минераллар

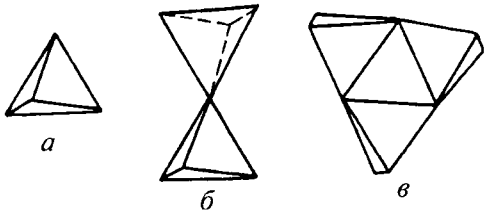
алюмосиликатлар қаторига киради. Баъзи бир силикатлар таркибида баъзан алюминий ҳам катион, ҳам анион сифатида иштирок этади. Бу ҳолда минерал бир пайтнинг ўзида ҳам алюмосиликат ҳам, алюминийли силикат бўлиб қолади. Шунингдек, темир-ферросиликат, бор-боросиликатлар, Be — бериллосиликатлар ҳосил қилади ва ҳ.к.

Минералларнинг кимёвий таркибини ифодалашда Si билан изоморф аралашма ҳосил қилган элемент мураккаб анион тариқасида Si билан бирга катта қавс ичига ёзилади ва қавсдан кейин кристалл тузилишини кўрсатувчи белги қўйилади. Масалан, ∞ — тетраэдрлар бир йўналиш бўйича узлуксиз давом этишини кўрсатади ва ҳ.к.

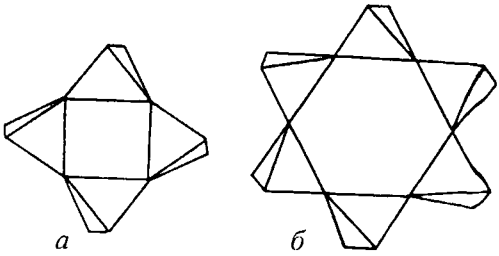
1. Силиций — оксиген тетраэдрлари $[SiO_4]^{4-}$ кристалл тизимида алоҳида-алоҳида бўлиб ёки бир нечтаси ўзаро учлари орқали бирлашиб "орол" ҳосил қилади. Масалан, оливин гуруҳи минераллари кристалл тузилишида $[SiO_4]^{4-}$ тетраэдрлари якка-якка бўлиб иштирок этади, бундан ташқари "ороллар" икки тетраэдрдан $[Si_2O_7]^{6-}$, учта тетраэдрдан $[Si_3O_9]^{6-}$, тўрт тетраэдрдан $[Si_4O_{12}]^{8-}$, олти тетраэдрдан $[Si_6O_{18}]^{12-}$ ва иккиланган олтита тетраэдрдан $[Si_{12}O_{30}]^{12}$, ташкил топган бўлиши мумкин. Мана шу, "орол" ҳосил қилувчи тетраэдрлар бир текисликда жойлашган бўлса "ҳалқасимон" тузилган силикатлар дейилади (93—94-расмлар).

2. Кристалл тузилишида силиций — оксиген тетраэдрлари ўзаро учлари билан кислород атоми орқали туташиб, бир йўналиш бўйича узлуксиз давом этиб, занжир ҳосил қилади. Бунда занжир ҳосил қилувчи қатор тетраэдрлар учлари билан бир хил йўналишга, бошқаларида тетраэдрларнинг учларидан бири — бир хил йўналишда, иккинчиси иккинчи томонга қаратилган ва бундан мураккаброқ бўлиши мумкин (95-расм). Айрим минералларнинг кристалл тузилишида ўша занжирлар икки қатордан бўлиб лента, яъни лентасимонли ёки икки қаторли занжирни ташкил этади. Табиий кристаллар тузилишида бундай тасмаларнинг кўп хилларини кўриш мумкин (96-расм).

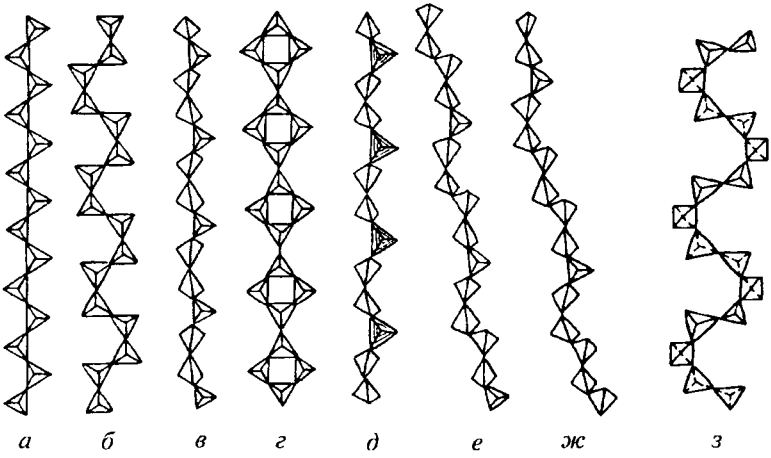
3. Силиций-оксигендан ташкил топган тетраэдрлар учлари билан ўзаро туташиб кристалл тузилишида икки йўналиш бўйича узлуксиз давом этадиган "қават"-"варақ" — текис тўр ҳосил қилади. Бундай текис тўрларнинг бир неча



93-расм.

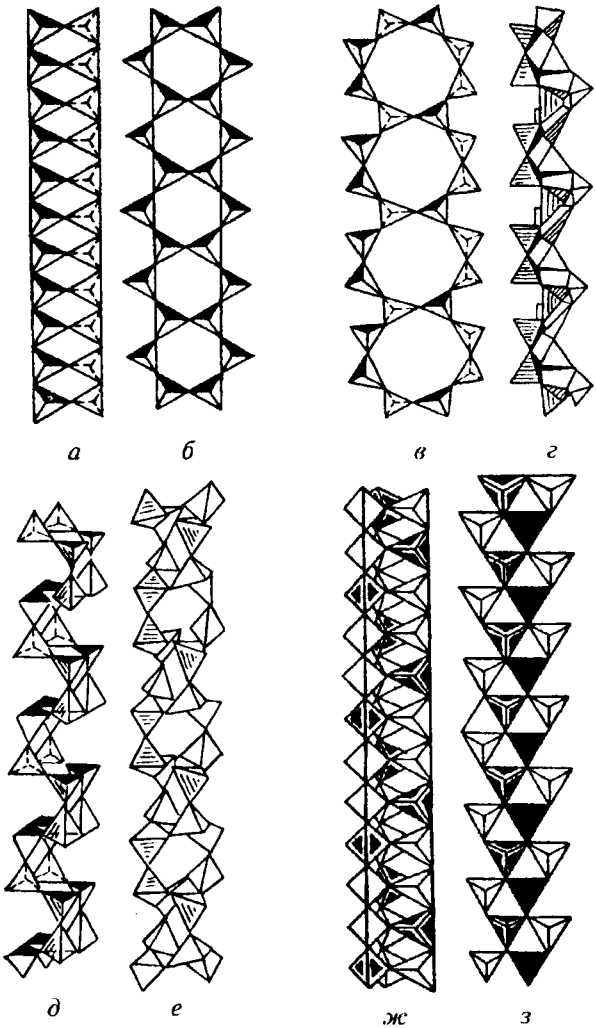


94-расм.



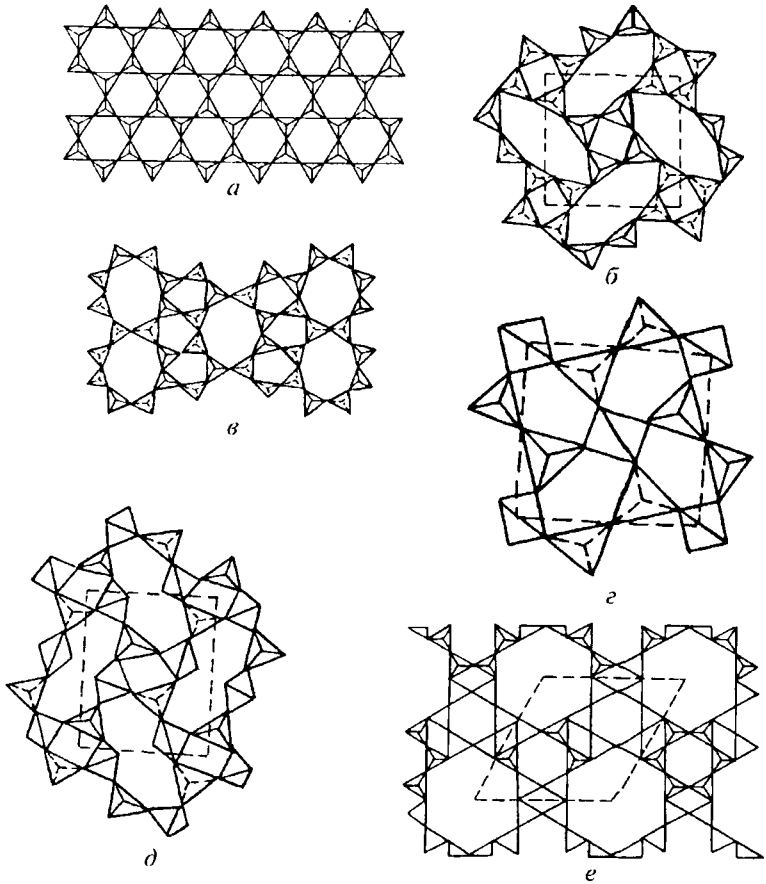
95-расм.

хиллари бўлиб, улар 97-расмда тасвирланган. Жумладан, тальк (слюда) $[Si_4O_{10}]^2_\infty$; б-апофиллит $[Si_8O_2]^2_\infty$ окенит $[Si_8O_{20}]^2_\infty$; мелилит $[MgSi_2O_7]^2_\infty$ –2 датолит $[B_2Si_{20}O_{20}]^2_\infty$ г-е-пиросмалит $[Si_{12}O_{30}]^2_\infty$ каби хиллари маълум. Шундай тузи-



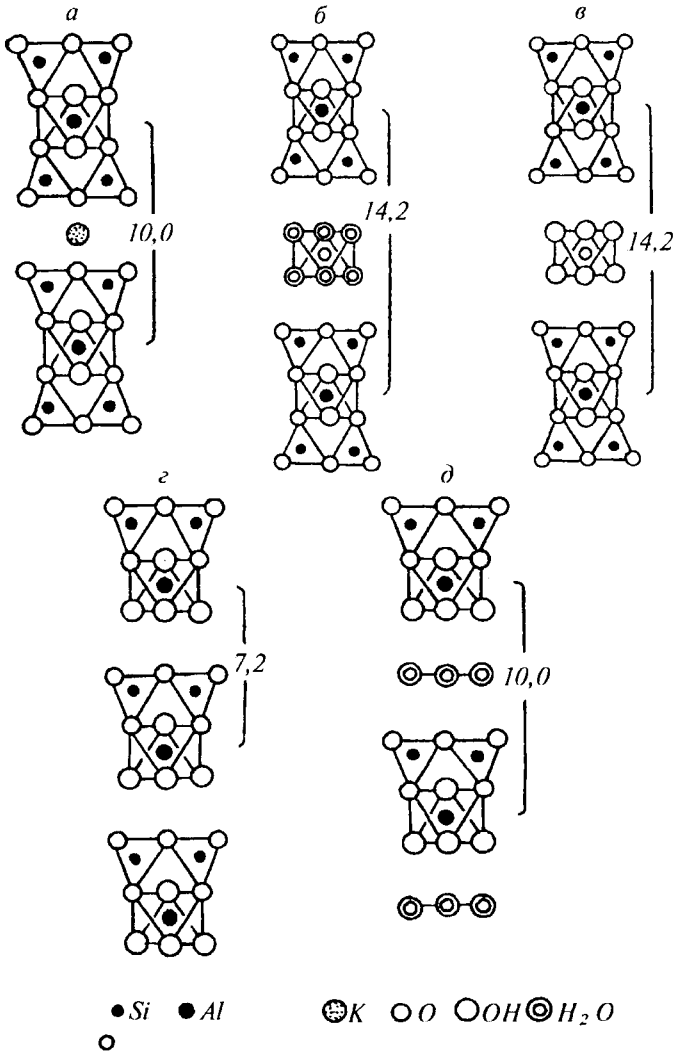
96-расм.

лишга эга бўлган силикат ва алюмосиликат минералларда-ги силиций-оксиген "варақлар"нинг фарқини кўндаланг кесимига қараб ҳам билиш мумкин (98-расм).



97-расм.

4. Силиций-оксигендан иборат тетраэдрлар уч йўналиш бўйича учлари билан туташиб, шу тетраэдрларнинг узлуксиз давом этиши натижаси сифатида "тўқима" ҳосил қилади. Масалан, SiO_2 бирикмалари — кварц, тридимит, кристобалит ва дала шпатлари гуруҳига мансуб минералларнинг кристаллари шундай тузилишга эга. 99-расмда силиций-оксиген тетраэдрларининг уч ўлчамли тўқимасидан ташкил топган кристобалитнинг ички тузилиши тасвирланган; у кубик сингонияда кристалланади: O_h^7 – $Fd3m, Z = 8$. Бунда



98-расм.

Si атоми тўртта оксиген билан ўралган, координация полиэдри тетраэдр қиёфасида, сони 4, оксиген ҳар қайси жуфт силиций атомларининг орасида жойлашган — координация сони 2 га тенг (14-жадвал).

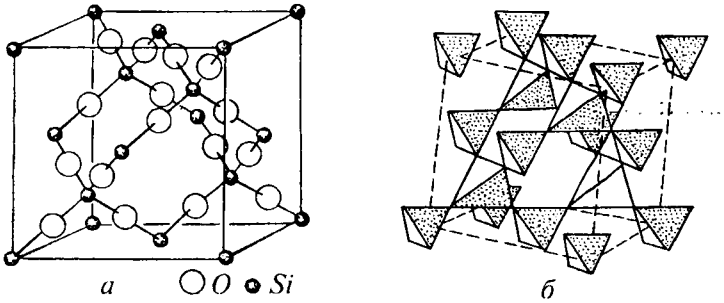
14-жадвал

Силикатларнинг кристаллокимёвий турлари

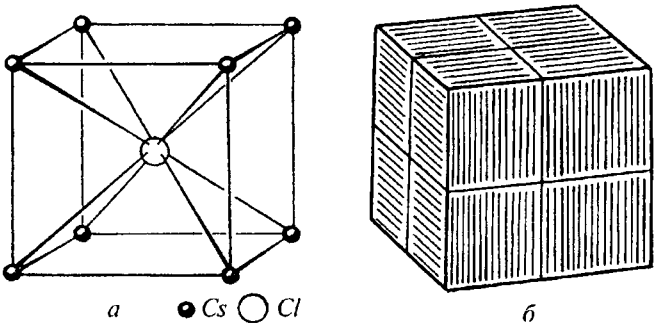
А. Чексиз силиций-оксиген тетраэдрларидан иборат гуруҳлар

	Силикатларнинг турлари	Силиций-оксиген гуруҳи	Мисоллар
1.	Силиций-оксиген тетраэдларининг уч ўлчамли тўқимасидан иборат	$[SiO_2]^3_\infty$	SiO_2 модификациялари; α — кварц; SiO_2 тригонал β — кварц гексагонал дала шпатлари: ортоклаз $[AlSi_3O_8]$ микроклин $[AlSi_3O_8]$ плагиоклазлар.Альбит $Na[AlSi_3O_8]$ анортит $Ca[Al_2Si_3O_8]$ содалит $Na_8[AlSiO_4]_6Cl_2$
2.	Силиций-оксиген тетраэдларининг узлуксиз икки ўлчамли текис тўридан иборат варақланган силикатлар	$[SiO_2]^2_\infty$	гиллар: каолин $Al_2[SiO_5]$ $(OH)_4$ монтмориллонит, галлуазит, пирофилит $Al_2[SiO_{10}]$ $(OH)_2$ слюдалар: мусковит $KaL_2[AlSi_5O_{10}]$ $(OH)_2$ биотит, лепидоллит, магнийли силикатлар: антигорит $Mg_6[SiO_{10}]$ $(OH)_8$; тальк $Mg_3[Si_4O_{10}]$ $(OH)_2$
3.	Икки қатор силиций — оксиген тетраэдларидан иборат лентасимон тузилишдаги силикатлар	$[Si_4O_{11}]^1_\infty$	тремолит $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2$ $(OH)_2$
4.	Бир қаторли силиций-оксиген тетраэдрлардан иборат занжирсимон тузилишдаги силикатлар:	$[SiO_3]^1_\infty$	пироксенлар: диопсид $MgCa[Si_2O_6]$ энстатит; $Mg_2[Si_2O_6]$ пироксеноидлар: волластонит — $Ca_3[Si_3O_9]$
	Ҳалқасимон силикатлар		
	а) уч тетраэдрли ҳалқадан иборат	$[Si_3O_9]^0_\infty$	бенитоит $BaTi[Si_3O_9]$; Вадиет K_2Zr $[Si_3O_9]$
	б) тўрт тетраэдрли ҳалқадан иборат	$[Si_4O_{12}]^0_\infty$	баотит $Ba[TiN6]_8O_{16}\{Si_4O_{12}]Cl$

	в) олти тетраэдрли ҳалқадан иборат	$[Si_6O_{18}]^0_\infty$	берилл $Be_3A_{l2}S_i6O_{18}$ диоптаз $Cu_6[Si_6O_{18}]6H_2O$ турмалин $NaCaMg_3A_{l6}B_3\{Si_6O_{18}\}(O,OH)_{12}$
	е) иккиланган олти тетраэдрли ҳалқадан иборат	$[Si_6O_{18}]^0_\infty$	милларит $K(Be, Al)_3Ca_2[Si_{12}O_{30}]$
	д) мураккаб ҳалқалардан иборат		эпидот $Ca_2Al_2FeO[SiO_4][SiO_7](OH)$
5.	Якка-якка силиций оксиген тетраэдрлардан иборат ортасиликатлар	$[SiO_4]^0_\infty$	форстерит $Mg_2[SiO_4]$ циркон $Zr[SiO_4]$ гранат $Al_2Ca_3[SiO_4]_3$ топаз $Al_2\{SiO_4](F,OH)_2$ каламин $Zn_2[SiO]H_2O$
6.	Иккиланган силиций-оксиген тетраэдрлардан иборат диортосиликатлар	$[Si_2O_7]^0_\infty$	тортвейтит $Sc_2\{Si_2O_7]$ куспидин $Ca_4[Si_2O_7]F_2$ ильваит $CaFe...F..[Si_2O_7]OOH$

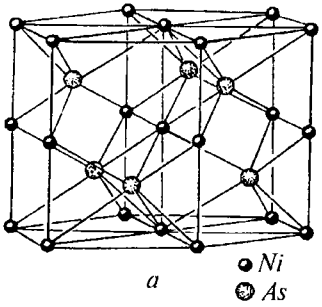


99-расм.



100-расм.

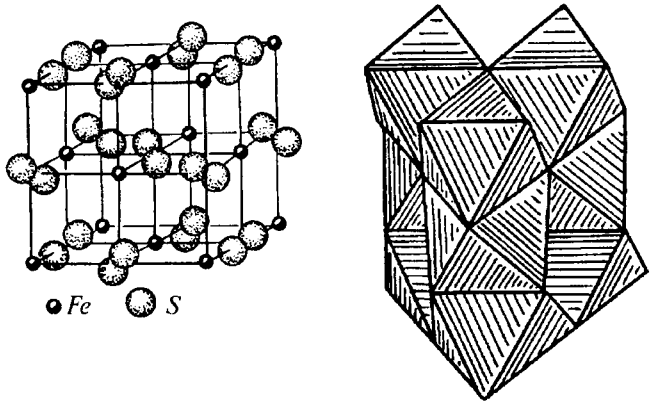
Табиатда кўп тарқалган минераллар кристалл тизимларининг турларига мисоллар



101-расм.

1. Цезий хлорид CsCl туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. I – O_h – P_m3_m; Z = 1. Cs ионлари 8 та Cl ионлари билан ва аксинча қуршовда бўлади. $CsCl_8$ қуршов шакли куб қиёфасида бўлиб, ўзаро ёнлари орқали туташади (100-расм).

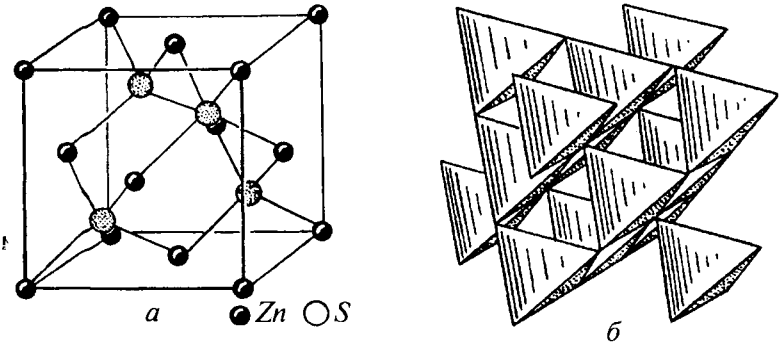
2. Галит NaCl туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади.



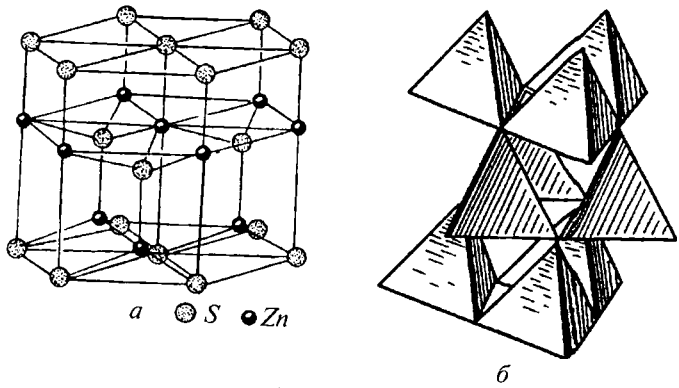
102-расм. *б*

I – O_h^5 – F_m3_m; Z = 4; Na ионларининг маркази кубик зич жойланиш қонунига мувофиқ ўрнашган. Қуршов сони Na ва Cl учун ҳам 6 га тенг. $NaCl_6$ қуршов шакли октаэдр қиёфасида бўлиб ўзаро қирралари билан туташади (65-расмга қ.).

3. Никелин NiAs туридаги кристалл тизими. Гексагонал сингонияда кристалланади. I – D_{6h}^4 – $P6_{3/mm}$; Z = 2. Атом марказлари гексагонал зич жойланиш қонунига мувофиқ ўрин олган. Ҳар қайси Ni ва As атомлари 6 тадан қўшни атомлар билан ўралган. $NiAs_6$ қуршов шакли октаэдр қиёфасида бўлиб, қирралари ва икки ёни билан ўзаро туташади (101-расм).



103-расм.

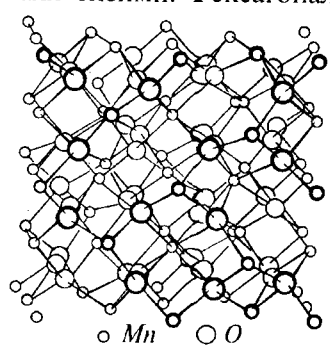


104-расм.

4. Пирит FeS_2 туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. $I - D_h^6 - Pa^3; Z = 4$. Умуман Галит кристалл тизимига ўхшаш. Na ўрнида Fe, Cl-ўрнида жуфт S_2 атомлари жойлашади. Fe ва S_2 нинг атомларининг қуршов сони 6 га тенг, шакли октаэдр қиёфасида бўлади (102-расм).

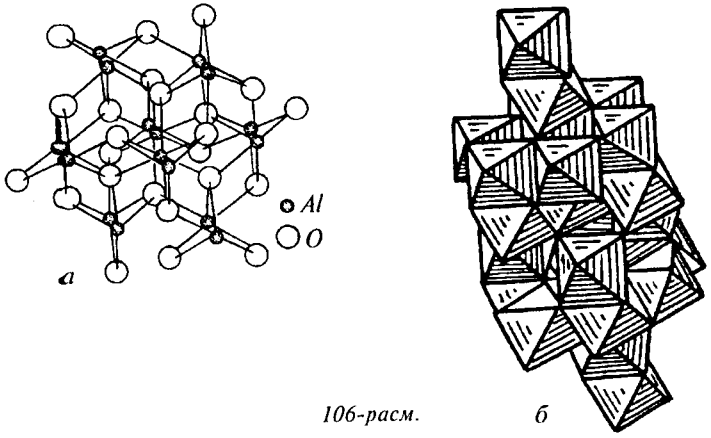
5. Сфалерит ZnS туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. $I\text{-}T_d^2\text{-}F3m$; Z=4, кубик зич жойлашиш қонунига мувофиқ Zn ва S учун ҳам қуршов сони 4, шакли тетраэдр қиёфасида бўлиб, ўзаро учлари орқали бирлашади. Шу билан бирга ҳар қайси учида 4 тетраэдр туташган бўлади (103-расм).

6. Вюрцит ZnS туридаги кристалл тизими. Гексагонал сингонияда кристалланади. $I - C_{6v}^4 - P6_3mc; Z = 2$. Гексагонал зич жойлашиши қоидасига мувофиқ, қуршов сони ва шакли сфалеритга ўхшаш. Ҳамма тетраэдрларнинг учи с бўйича бир йўналишга қаратилган (104-расм).



105-расм.

7. Биксбиит Mn_2O_3 туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. $I - T_h^7 - Ja3; Z = 16$. Mn атомларининг қуршов сони 6 га тенг,

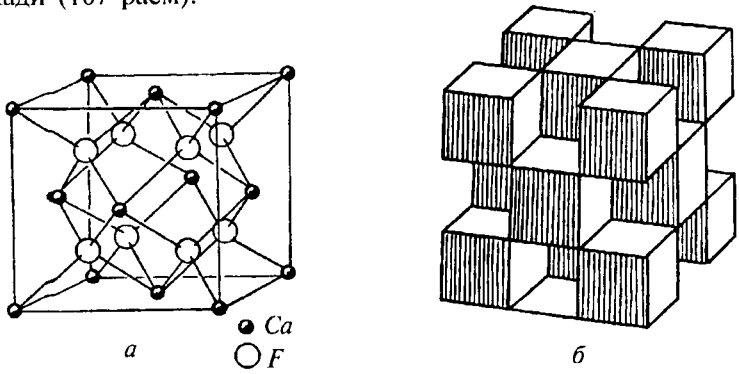


106-расм.

шакли октаэдрга ўхшаш. О атомлари 4 Mn билан қуршалган (105-расм).

8. Корунд Al_2O_3 туридаги кристалл тизими. Тригонал сингонияда кристалланади. I – D^6_{3d} – $R\bar{3}c$; Z = 6. Al — атомлари олтита О ва О атомлари тўртта Al атомлари билан қуршалган. AlO_6 қуршов шакли октаэдрлари қирралари билан туташиб ҳалқа ҳосил қилади (106-расм).

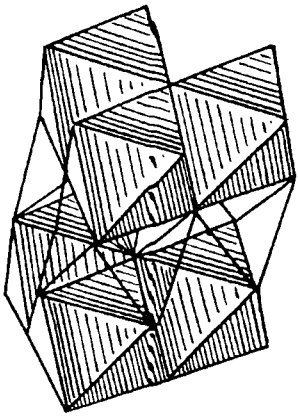
9. Флюорит CaF_2 туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. ID^5_h – Fm3m; Z_4. Ҳар қайси Са иони 8F билан, F эса –4 Са билан қуршалган. CaF_8 — куб қиёфасидаги қуршов шакли ўзаро қирралари орқали туташади (107-расм).



107-расм.

10. Рутил TiO_2 туридаги кристалл тизими. Тетрагонал сингонияда кристалланади.

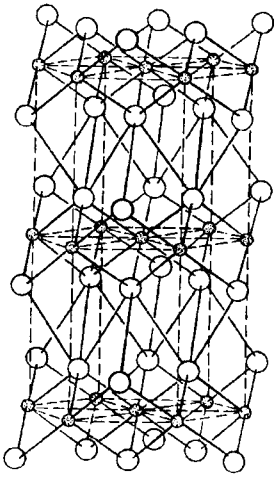
$I - D_{4h}^{14} - 42mmm$; $Z = 2$. Ҳар қайси Ti атоми олтита O, O атоми эса — 3 та Ti атоми билан қуршалган. TiO_6 қуршов шакли октаэдрга ўхшаш қиёфага эга бўлиб, улар ўзаро қирралари билан туташиб, С ўқи йўналиши бўйича чўзиқ кўринишга эга (108-расм).



108-расм.

11. Брусит $Mg(OH)_2$ туридаги кристалл тизими. Тригонал сингонияда кристалланади. $I - D_{3d}^{3} - P\bar{3}mm$; $Z = 1$. Гексагонал зич жойлашиш қонунига мувофиқ қават-қават тизим ҳосил қилади. Бунда $Mg(OH)_8$ октаэдр шаклидаги қуршов шаклининг ўзи 3 ўқи с йўналишига мос равишда жойлашган (109-расм).

12. Кадмий хлорид $CdCl_2$ туридаги кристалл тизими. Тригонал сингонияда кристалланади. $I - D_{3d}^{5} - R\bar{3}m$; $Z = 3$. Кубик зич жойлашиш қонунига мувофиқ қават-қават тузилган. Бунда $CdCl_2$ қуршов шакли-октаэдрлари умумий қирралари билан туташиб қават ҳосил қилади (110-расм).



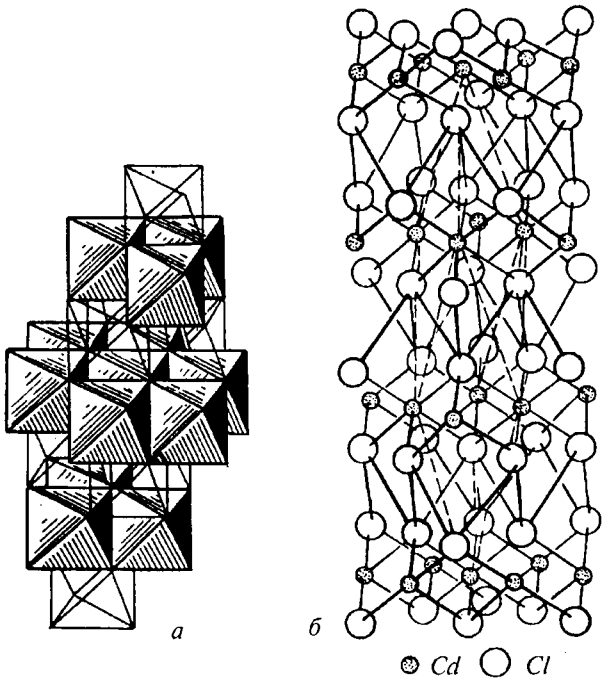
⊙ *Mg* ○ *OH*

109-расм.

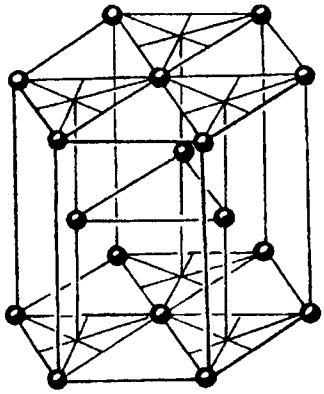
13. Кубокристобалит SiO_2 туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. $I - O_h^7 - Fd3m$; $Z=8$ Бунда Si атоми тўрттадан 0 атомлари билан қуршалган. 0 атомлари эса иккита Si атомлари орасида жойлашган бўлади (99-расмга қ.).

14. Магний Mg туридаги кристалл тизими гексагонал сингонияда кристалланади. Қуршов сони 6 . Фазовий гуруҳи: $D_{6h}^{4} - C6mmc$; $Z = 2$. Гексагонал зич жойлашган (111-расм).

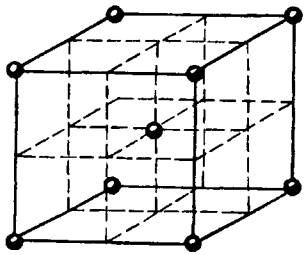
15. Тантал Та кристалл тизими кубик сингонияда кристалланади. Фазо-



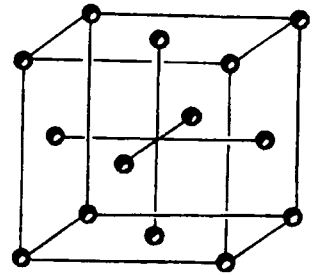
110-расм.



111-расм.



112-расм.



113-расм.

вий гуруҳи: $O_h^9 - Im3m; Z = 2$. Қуршов сони 6 га тенг. Кубик зич жойлашган (112-расм).

16. Халкит Cu туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. Фазовий гуруҳи: $O_h^5 - Fm3m; Z = 4$. Cu атомлари кубик зич жойлашиш қонуни бўйича ўрнашган. Қуршов сони 12, ёнлари марказлашган кубик элементар ячейкаси (113-расм).

17. Олмос С туридаги кристалл тизими. Кубик сингонияда кристалланади. Фазовий гуруҳи: $O_h^7 - Fd3m; Z = 8$. Кубик зич жойлашган. Қуршов сони 4 га тенг (66-расмга қаранг).

ХУЛОСА

Ушбу қисмда баён этилган маълумотлар кристалларнинг кимёвий таркиби, физик хусусиятлари билан геометрик белгилари орасидаги узвий боғланиш борлигидан далолат беради. Жумладан, ҳар қайси кимёвий бирикманинг тури учун ўзига хос симметрия воситалари бўлиб, шунга мувофиқ геометрик шакл ва ташқи қиёфага эга бўлади. Масалан, кристаллнинг фазовий панжарасида учинчи даражали симметрия ўқи ва шу симметрия ўқи устида жойлашган атом ёки иони бўлар экан, бу кимёвий бирикманинг таркиби AB_2 кўринишига эга бўлиши мумкин эмас. Чунки симметрия ўқи устида ўрнашган атом ёки ион битталигича қолаверади, шу ўқ атрофида жойлашган бошқа атом ёки ион ўша ўқнинг симметриялик даражасига мувофиқ 3 мартадан такрорланади. Демак, бундай симметрия ўқига эга бўлган кимёвий бирикманинг тури AB_3 кўринишида бўлиши мумкин.

Шунингдек, пьезоэлектрик ва пироэлектрик хусусиятларга эга бўлган кристалларда қутбланган йўналиш билан мос йўналган симметрия ўқи бўлиши шарт, шу билан бирга ўша симметрия ўқига тик йўналган симметрия текислиги ва умуман бу шаклда симметрия маркази бўлиши мумкин эмас. Акс ҳолда, бундай шаклли модда электрланиш хусусиятга мутлақо эга эмас.

Кристалларнинг геометрик шакли билан унинг ички тузилиши орасида ҳам узвий боғланиш мавжуддирки, шунга кўра унинг геометрик шаклига қараб, кимёвий таркиби ҳамда кристалл тузилиши ҳақида фикр юритиш мумкин. Масалан, кристаллнинг фазовий панжарасида 4 даражали симметрия ўқи бўлмас экан, у тетрагонал пирамида, дипирамида ёки призма қиёфасида мутлақо учрамайди.

Булардан ташқари, кристаллнинг ташқи қиёфаси, геометрик шакли ўша кристалл пайдо бўлаётган муҳит билан боғлиқ равишда ёки ўша шароитдаги кимёвий муҳит таъсирида бошқа-бошқа қиёфаларда кристалланиши мумкин.

Жумладан, пентагон додекаэдр билан гексаэдр комбинациясидан иборат мураккаб шаклга эга бўлган пиритда, айрим ҳолларда пентагондодекаэдр, бошқа ҳолларда гексаэдр ривожланган бўлиб, биринчи ҳолда гексаэдри ва иккинчи ҳолда пентагон додекаэдри кўринмайди.

Умумий қилиб айтганда, минераллнинг кристалл шаклига қараб кимёвий таркиби, физик ва кимёвий хусусиятлари кристалл тизимининг ўзига хос тузилиши — тартиби, ўша минерал пайдо бўлаётган муҳитнинг физик-кимёвий хусусиятлари, кимёвий таркибидаги аралашма-ўзгаришлар ҳақида фикр юритиб, ўша минералдан ташкил топган маъданни қандай мақсадда ишлатиш мумкинлиги ҳақида ўйлаб кўрилади, яъни унинг тақдири ҳал қилинади.

Демак, кон қидирувчи, конларнинг захирасини ҳисоблаши зарур бўлган мутахассис — муҳандис геолог ўз олдига қўйилган вазифани талабга жавоб бера оладиган даражада бажармоғи учун ушбу қўлланмада баён этилган назарий-амалий билимларни чуқурроқ таҳлил этмоғи лозим. Юқорида келтирилган маълумотларга ижодий ёндошиб, ўзининг иш фаолияти давомида ундан самарали фойдаланса, юксак иқтисодий, илмий натижаларга эришиши муқаррар.

III бўлим
ФИЗИК КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

МУҚАДДИМА

Ушбу бўлим кристалларнинг физик хусусиятлари таърифини ўз ичига олади. Шу билан кристаллография фанини ўқитишда назарда тутилган биринчи бўлимда бошланган, иккинчи бўлимда давом эттирилган билим ниҳоясига етади.

Биринчи бўлимда кристаллар ҳақида умумий тушунчалар билан уларнинг геометрияси-симметрияси ва геометрик шакли ҳақида, шунга оид баъзи бир назарий масалалар ҳамда қонун-қоидалар баён этилган эди. Иккинчи бўлимда кристалларнинг ички тузилиши — тизимга оид маълумотлар келтирилган. Аввал кристалларнинг ички тузилишининг тасвири — чексиз геометрик шаклларнинг таркиб топиши, шакли, симметрияси ва шуларга тааллуқли назариялар ҳақида фикр юритилади. Шундан кейин кристалл тизими билан кимёвий таркиби орасидаги муносабатларни мантиқий-назарий асослари ҳақида гап боради. Шундай қилиб, иккинчи бўлимда кимёвий кристаллографиянинг энг оддий, шу билан бирга энг муҳим масалаларига оид маълумотлар келтирилади. Учинчи бўлим эса кристалларнинг физик жисм қаторида таҳлил этишга қаратилган. Лекин мана шу физик жисмларни таҳлил этишда уларнинг ўзига хос кристалл тизими ички тузилиши тадқиқотчи — талаба эътиборидан узоқлашиб-четлашиб кетмайди. Кристалларнинг геометрик шакли — симметрияси кимёвий таркиби ва физик хусусиятлари орасидаги узвий боғланиш кўзга яққол ташланиб туради. Шунинг учун фанни тадқиқ этишда аввал биринчи, кейин иккинчи ва шундан кейингина учинчи бўлимни мутолаа қилиш тавсия этилади.

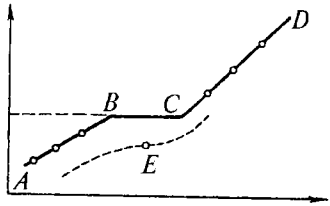
Кристалл яхлит анизотроп физикавий муҳитдир. Кристаллар ҳақида сўз борар экан, биринчи бўлимнинг бирин-

чи бобидан бошлаб, уларни бир жинсли, узлуксиз давом этадиган моддий нуқталардан ташкил топган анизотроп муҳит эканлиги қайта-қайта такрорланди. Жумладан, бир бутун кристаллни исталган нуқтасидаги кимёвий таркиби билан физик хусусиятлари текшириб кўрилар экан, олинган натижа доимо бир хил бўлиб қолаверади. Лекин кристалл тизимида айрим маълум нуқсонлар бўлган кристаллар бундан мустаснодир. Яна шуниси ҳам маълумки, кристалларнинг айрим хусусиятлари муайян йўналишлар бўйича бир хил, бошқа йўналишлар бўйича бошқача бўлади, яъни улар анизотроп моддалардир. Бундай хусусиятларнинг физик моҳиятини — қийматини векторлар билан ифодалаш, векторларнинг узунлиги ва йўналишини координата (кристаллографик) ўқларига нисбатан тасвир этиш мумкин. Кристалланган моддаларнинг шундай физик хусусиятлари ҳам борки, улар ўша муҳитнинг айрим йўналишлари билан боғлиқ эмас. Масалан, зичлиги, иссиқлик ўтказувчанлиги каби хусусиятлар йўналишларга қараб ўзгармайди, яъни булар скаляр хусусиятлар бўлади.

КРИСТАЛЛАРНИНГ ФИЗИК ХУСУСИЯТЛАРИ

Муайян шароитларда текис-силлиқ ёнлар билан чеклана оладиган, яъни маълум геометрик шакл қиёфасига эга бўла оладиган қаттиқ, бир жинсли, анизотроп модда кристаллдир. Назарий жиҳатдан қараганда, фақат кристалларгина ҳақиқий қаттиқ жисмлар бўла олади. Моддаларнинг кристалланган ҳолати шу моддаларни ташкил этувчи моддий нуқталарнинг уч йўналиш бўйича даврий такрорланиши оқибати бўлиб, бу ўз ўрнида ўша моддаларнинг кристалланган ҳолатини тасдиқловчи асосий белги бўлади.

Аслида фақат суюқ жисмларгина аморф моддалардир. Лекин суюқ кристаллар мавжудлигини ҳам унутмаслик керак. Қаттиқ аморф жисмларни ҳаддан ташқари катта ёпишқоқликка эга бўлган ўта совиган суюқлик деб ҳисоблаш мумкин. Ташқи қиёфаси бир хил бўлиб кўринган қаттиқ аморф жисм билан кристалланган жисмнинг физик хусусиятлари бир-биридан кескин фарқ қилади. Шу кристалланган ва аморф моддаларнинг эриш эгри чизиғи 114-расмда тасвирланган. Кўриниб турибдики, АВД эгри чизиғининг



114-расм.

BC кесмаси оралиғида модда қиздирилгани билан ҳарорат юқори кўтарилмайди. Берилган иссиқлик энергияси шу моддани эритиш учун сарф бўлади. Кристалл ўсаётганда ажралган энергия эриш даврида ютилади. Ниҳоят, кристалл эриб бўлмагунча унинг ҳарорати юқори кўтарилмайди. Е эгри чизиғи сарфланган иссиқлик таъсирида аморф модданинг бир чеккадан эриб боришини кўрсатади. Аморф ва кристалланган жисмларнинг физик хусусиятлари, юқоридаги мисолда кўрсатилганидек, бир-биридан кескин фарқ қилади. Демак, қуйида баён этилган физик хусусиятлар фақат кристаллар учун хос бўлиб, улар шу хусусиятлари билан аморф моддалардан (гарчи уларнинг ҳаммаси қаттиқ жисм бўлса ҳам) фарқ қилади. Бунинг сабаби, кристалл тизимида моддий нуқталарнинг маълум тартиб ва муайян геометрик қонуниятлар асосида жойланиши, моддий нуқталарнинг маълум силжиш йўналиши бўйича маълум масофадан кейин чексиз такрорланиши, шу моддий нуқталар орасидаги боғланиш кучининг хилма-хиллиги билан изоҳланади. Натижада кристалларнинг ҳаммаси ҳам маълум даражада анизотроплик хусусиятига эга бўлиб қолади. Бу хусусият ўша кристалларнинг кимёвий таркиби, пайдо бўлиш шароити — муҳитига қараб турлича намоён бўлади. Қуйида кристалларнинг муайян физик хусусиятлари баёнида бунга кўплаб мисоллар келтирилади.

Маълумки, физика фани асосан уч қисмдан иборат. Биринчи қисми механика дейилади, иккинчи қисми электр ва магнетизмни ўз ичига олади, учинчи қисми эса оптикага оиддир. Шунга кўра кристалларнинг физик хусусиятлари механик хусусиятларидан бошлаб таърифланади ва магнитлик хусусиятидан кейин оптик хусусиятлари баёни билан якунланади.

1. Кристалларнинг механик хусусиятлари

Кристалларнинг механик хусусиятлари ўша жисмга таъсир этаётган механик кучга кўрсатилган қаршиликка боғ-

ликдир. Таъсир этувчи кучга кўрсатилаётган қаршилик асосан қуйидагича бўлади.

1. Қайишқоқлик хусусияти. Кристаллнинг ҳолати маълум куч таъсирида ўзгариши — эгилиши мумкин. Шу билан бирга ўша куч таъсири йўқолганидан кейин, у асли ҳолига қайтади.

Моддий нуқталарнинг (атом, ион, молекулаларнинг) мажмуидан иборат бўлмиш кристалларнинг механик хусусиятлари қонуний равишда даврий такрорланадиган ўша моддий заррачаларнинг ўзаро таъсир кучига боғлиқдир. Улар орасидаги масофа орта бориши билан шу куч сусаяди. Бунда ўзаро тортилиш кучи секинлик билан камаяди. Заррачалараро мувозанат сақланадиган масофа улар орасидаги тортилиш ва итарилиш кучларининг тенглиги билан мос келади. Кристаллга ташқи куч таъсир этар экан, шу кучлар орасидаги мувозанат бузилади. Заррачалар сурилади, панжаранинг ўлчамлари ўзгаради. Лекин шу пайтда ҳосил бўладиган кучланиш жисмларнинг аввалги мувозанат ҳолатини сақлашга сарфланади. Панжара ўлчамининг кўзга кўринадиган даражада ўзгариши қайишқоқликни, заррачалараро куч мувозанатининг бузилиши кучланишни юзага келтиради.

2. Эгилувчанлик хусусияти. Муайян куч таъсирида кристаллнинг ҳолати ўзгариши, у эгилиши мумкин, бироқ ўша куч таъсири йўқолиши билан яна асил ҳолига келмайди.

3. Кристалларнинг пишиқлиги ва синиш. Кристалларнинг пишиқлик хусусияти — уларнинг ташқи куч таъсирида парчаланиб — майдаланиб кетиши — синишга қараб аниқланади. Бундай хусусиятларни тадқиқ этишда шу кристаллга таъсир этаётган кучнинг миқдори билан йўналишини аниқлаш керак. Чунки таъсир этаётган кучнинг йўналишига қараб, баъзи бир модда кристаллари турлича қаршилик кўрсатади.

Демак, кристалл пишиқлиги унинг ташқи куч таъсирида парчаланиш, синиш, фазовий панжараси, кристалл тизими бузилишига, маълум йўналишда силжишига кўрсатган қаршилик кучини англатади. Бу тўғрида кристалларнинг қаттиқлик хусусияти баёнида батафсил фикр юритилади. Кристалларнинг физик хусусиятлари, шу жумладан механик хусусиятлари ҳам ўша жисмни — кристаллни ташкил этувчи моддий нуқталар ион, атом ва молекулаларнинг ўзига хос хусусиятлари билан, улардан ташкил

тонган занжир, текис тўрлари ва ниҳоят кристалл тизими — ички тузилиши билан боғлиқдир. Маълумки, кристалларнинг шу ички тузилишига хос хусусиятлари такрорланиш йўналиши ва масофаси ҳақидаги тушунчаларга асосан маълум симметрияга эга, яъни кристалларнинг физик хусусиятлари ҳам симметриялик даражасига ва ўша кристалл тизимидаги мавжуд симметрия воситаларининг сони — сифатига қараб турлича бўлади.

Кристаллар, юқорида айтилганидек, эгилувчанлиги — эгилиши маълум меъёрга етгач, ўша шароит ва ўша муҳитда у ортиқча эгилмайди, балки синади. Қаттиқ жисмнинг ташқи куч таъсирида синмасдан асл ҳолатини сақлаб қолиш хусусияти унинг пишиқлиги дейилади. Назарий жиҳатдан қараганда, ташқи кучланиш атомлараро боғланиш кучидан ортиқ бўлгандагина кристалл синади. Жисмнинг сатҳ бирлигига тўғри келадиган кучланишнинг қиймати — кристалл пишиқлиги дейилади ва у маълум чегарага етганда ўша кристалл тизимида портлаш юз берган каби парчаланиш содир бўлади. Бироқ кристаллардаги бу ҳодиса осойишталик билан кечадики, баъзан бундай портлаш сезилмай қолади. Аммо кристалл синади — майдаланади.

4. Кристалларнинг мўртлиги. Металлар эгилувчан, букилувчан, юпқаланадиган, пачақланадиган бўлса, мўрт эмас дейилади. Кристаллнинг айрим қисмлари ташқи куч таъсирида бир-бирига нисбатан сурилади-силжийди. Бундай силжиш кристалл тизимидаги зич жойлашган шарлар қаватининг бир-бирига нисбатан маълум йўналиш бўйича сурилиши демакдир. Зич жойлашган шарлар қавати бошқа йўналиш бўйича силжиган ҳолда, бир қаватнинг шарлари бошқа қават шарлари орасидаги бўшлиқларга тушиб кетади. Бу эса металларнинг мўртлик хусусиятини оширади. Шунинг учун ҳам ҳажми марказлашган кубик тизимга эга металлга қараганда ёнлари марказлашган кубик тизимли металлар нисбатан камроқ мўрт бўлади.

Металл буюмлар доимо чексиз, майда ва бетартиб жойлашган кристалл заррачаларидан иборат. Металларнинг мўрт ва мўрт эмаслиги шарларнинг зич жойлашиш текислигига тик ўтган йўналишлар сонига боғлиқ. Бундай йўналиш гексагонал зич жойлашиш тизимига эга бўлган кристалларда битта, кубик зич жойлашиш тизимига эга кристалларда

тўртта, яъни ҳар қайси учинчи даражали ўққа тик йўналишда ўтади. Демак, гексагонал зич жойлашиш тизимига эга кристалларнинг мўртлиги ортиқроқдир. Кубик зич жойлашиши тизимига эга кристалларда аксинча мўртлик камроқдир.

5. Кристалларнинг қаттиқлиги. Кристалларнинг қаттиқлиги деб, сиртининг чизилиш-тирналишига кўрсатган қаршилигига айтилади. Кристаллнинг силлиқ текис сирти ўзидан кўра қаттиқроқ жисмнинг ўткир учи билан тирналар экан, ўша чизилган сиртда кукун билан бирга из қолади. Кристаллнинг қаттиқлиги кукуннинг ажралишига, яъни сиртида из қолдириш учун сарф этилган куч билан ўлчанади. Демак, кристалларнинг қаттиқлиги шу сиртни ташкил этувчи кристалл тизими бирликлари орасидаги боғланиш кучини кўрсатади ва бу қиймат ҳар бир модда кристали учун хосдир, унинг симметрияси билан боғлиқ равишда йўналишлар бўйича ўзгарувчан хусусиятга айланади. Шу билан бирга, юқорида айтиб ўтилганидек, кристалларнинг анизотроплик хусусиятини ҳисобга оладиган бўлсак, шу аниқланган қиймат бир хил модда кристаллининг ўзида ўтказилган чизиқнинг йўналишига қараб ҳар хил бўлиши мумкин. Лекин бу қийматлар орасидаги фарқ унчалик катта бўлмайди ва аксарият амалиётда эътиборга олинмайди. Айрим ҳоллардагина бундай анизотроплик хусусият кўзга яққол ташланади. Масалан, дистен кристаллининг қаттиқлиги ўқи бўйича энг кичик (4-5), Х ва У ўқи бўйича катта (6-7) қийматга эга. Кристалларнинг қаттиқлиги минеролог-геологлар томонидан амалий иш пайтида нисбий — бирини иккинчиси билан чизиб кўриш йўли билан аниқланади. Бунинг учун табиатда энг кўп тарқалган ўнта минералдан иборат, асвтриялик олим Моос (1773—1839) томонидан фанга киритилган қаттиқлик қатори мавжуд (15-жадвал). Бундай тартиб билан ёзилган минералларнинг ҳар бири ўзидан олдингисини чизади, ўзидан кейингиси эса у билан чизилмайди. Ҳар бир минералнинг тартиб сони шу минералнинг нисбий қаттиқлигини кўрсатади.

Баъзан қаттиқлиги аниқланадиган кристалл майда ёки кукун ҳолатида бўлиши мумкин. Бундай ҳолда минерал кукунини бош бармоққа ёпиштириб, шу бармоқ билан

15-жадвал

Минералларнинг қаттиқлик тартиби (Моос бўйича)

Қаттиқ-лиги	Минералнинг номи ва таркиби	Қаттиқлиги аниқланган сирт белгиси
1	тальк $Mg_3[OH]_2 \cdot [Si_4O_{10}]$	(001)
2	гипс $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	(010)
3	кальцит $Ca[CO_3]$	(011)
4	Флюорит CaF_2	(111)
5	Апатит $Ca_5[PO_4]_3[F,Cl]$	(0001)
6	Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$	(001)
7	кварц SiO_2	(1011)
8	Топаз $Al_2[F,OH\}_2[SiO_4]$	(001)
9	Корунд Al_2O_3	(1120)
10	Олмос С	—

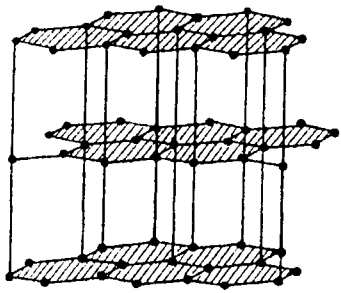
бошқа минерал сиртига ишқаланади. Агар минерал кукуни бармоқ билан ишқаланган кристаллдан қаттиқ бўлса ўша кристаллнинг сирти тирналиб — хиралашиб қолади. Акс ҳолда кукуннинг қаттиқлиги кичик бўлса, ишқаланган минерал сирти чизилмайди — ялтироқлигича қолади. Кристалларнинг аниқ ҳақиқий қаттиқлиги билан боғлиқ амалий-илмий масалаларни ҳал этишда бунинг учун мосланган махсус микротвердометр-склерометрдан фойдаланилади. Склерометр — учи пирамида ёки конус шаклида бўлган олмос игна ўрнатилган махсус асбобдир.

6. Кристалларнинг уланиш текислиги. Кристалларнинг уланиш текислиги деб, кристалларнинг синишидан ҳосил бўладиган силлиқ текис юзага айтилади. Баъзи моддаларнинг бирмунча йирик кристаллари ташқи куч таъсирида осонликча муайян йўналишлар бўйича ажралиб, бўлакларга бўлинади. Бўлакларнинг ажралишидан ҳосил бўлган юза жуда силлиқ-текис бўлади. Масалан, мусковит-битта йўналиши бўйича шундай текис юза бўйича юпқа варақчаларга ажралади. Галит — NaCl кристалли синдирилганда (001), (010),

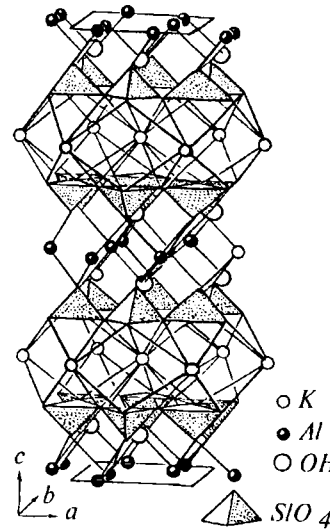
(100) йўналишлари бўйича, флюорит — CaF_2 синдирилганда эса (111) бўйича текис-силлиқ юза ҳосил бўлади. Кристалларнинг синишидан ҳосил бўладиган юзанинг текислик-силлиқлик даражаси, кристаллографик ўқларга нисбатан ўтган йўналиши ҳар хил бўлиши мумкин. Юзанинг силлиқлик даражасига қараб: бир йўналиш бўйича (масалан, мусковитда) ўта мукаммал, уч йўналиш бўйича мукаммал (ош тузи NaCl галитда, PbS галенитда); ўртача мукаммал ($K[AlSi_3O_8]$ дала шпатларида); мукаммал эмас (кварцда) дейилади. Уланиш текислиги номукаммал бўлган кристалларнинг синишидан ҳар бир минералнинг ўзи учун хос нотекис юза ҳосил бўлади. Бундай хусусият ҳар бир кристаллнинг кимёвий таркибига ва ички тузилиши — кристалл тизимига хос бўлиб, табиий минералларнинг бирини иккинчисидан ажратишда муҳим белги ҳисобланади.

Уланиш текислиги кристалл тизимидаги мавжуд бўш боғланган йўналишлар бўйича ўтади. Шу бўш боғланган йўналишлар эса ўз ўрнида текис тўрлар орасидаги масофа катта бўлган йўналишларга мос келади. Шунингдек, бўш боғланган йўналиш ўзаро таъсир кучи кичик бўлган моддий нуқталар — атом ёки ионлар жойлашган текис тўрлар орасидан ҳам ўтади. 115-расмда графитнинг кристалл тизими тасвирланган. Бунда бўш боғланган йўналиш 1-1 йўналиш билан мос келади. Чунки бу текислик бўйича карбон атомлари орасидаги масофа 3, 44Å, унга тик йўналган текисликда шу атомлар орасидаги масофа 1,42-Å га тенгдир. Слюдаларда бўш боғланган йўналиш силиций алюминий-оксиген тетраэдрлари жойлашган текис тўрлар орасидан ўтади (116-расм).

Уланиш текислиги нима эканлигини биринчилар қаторида О. Бравэ изоҳлаб бермоқчи бўлган эди. У ўзининг кристалл фазовий панжаралари ҳақидаги назариясини қўллаб, уланиш текислиги ретикуляр зичлиги ортиқ бўлган йўналишлар орасидан ўтади, деган фикрга келади. Чунки бундай йўналишлар бир-биридан бирмунча узоқроқ жойлашган бўлади. Агар кристаллар изометрик бирликлардан ташкил топган бўлганида эди, бу назария ҳақиқатга тўғри келар эди, яъни кристалларни ташкил этувчи ўша бирликлар орасидаги узоқ масофа бўш боғланган йўналиш — уланиш текислиги йўналишга мос ҳолда ўтар эди. Табиий кристалларда ана шундай осонликча тушунилиши мумкин бўлган,



115-расм.



116-расм.

масалан, графитдагига ўхшаш ҳоллар кам учрайди. Лекин табиий кристалларда бирмунча мураккаб ҳолатлар ҳам бор. Масалан, магнийнинг фазовий панжараси элементар ячейкасида a-3,20 Å, c = 5,20 Å; $c - a$ = 1,62Å. Бунда магний атомлари элементар ячейканинг учларида жойлашган бўлиб, Бравэ назариясига мувофиқ уланиш текислиги элементар ячейка асосига мос йўналишда намоён бўлиши керак эди. Ҳақиқатда эса магний кристаллида уланиш текислиги йўқ. Чунки унинг кристаллари шарларнинг гексагонал зич жойланиши қоидаси асосида тузилган бўлиб, унда ўқлар ўлчамининг нисбати $c : a$ = 1,633 га тенгдир.

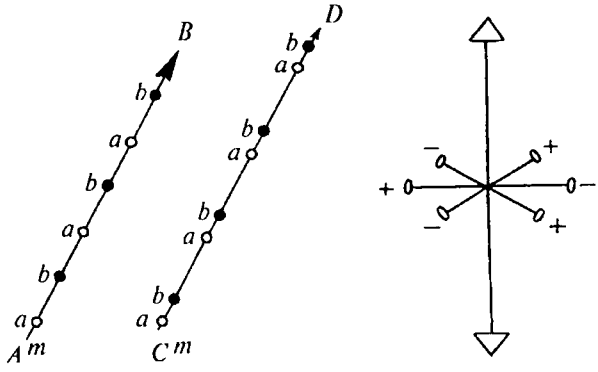
2. Кристалларнинг электрланиш хусусиятлари

Умуман, жисмларнинг электрланиши "электр ўтказиш, диэлектрик ва ярим ўтказгичлик" каби хусусиятлари физика курсидан маълум. Қуйида шундай физик жисмлар қаторида, фақат айрим кристалларнинг ўзига хос кристалл тизими билан боғлиқ равишда ташқи энергия таъсирида намоён бўладиган электрланиш хусусиятлари баён этилади.

Пезоэлектрик хусусияти. Кристалларда механик куч таъсирида қўзғатиладиган электрланиш пезоэлектрик хусусият мавжуд. Кристалл механик куч таъсирида — босим остида эзилганда ёки чўзилганда, шу куч таъсирига тик йўналиш бўйича электрланади: бир учида мусбат, қарама-қарши иккинчи

учида манфий заряд юзага келади. Кристаллар таъсир этувчи кучга тик қутбланган йўналиш бўйича электрланиши мумкин. 117-расмда кристалл тизимидаги қутбланган ва қутбланмаган йўналишлар тасвирланган. CD йўналишда *а*, *в* моддий нуқталар орасидаги масофа бир хил эмас, CD ва DC векторларининг физик моҳияти — қиймати бир хил эмас кристалл тизимидаги бундай йўналиш — қутбланган йўналиш бўлади. AB йўналишда *а* ва *в* моддий нуқталар орасидаги масофаларнинг ҳаммаси бир хил бўлганлиги учун AB ва BC векторларнинг маъноси — қиймати ҳам бир хил. Бу иккинчи AB йўналиш қутбланмаган йўналиш бўлади.

Кристалл тизимидаги мавжуд қутбланган йўналиш шу кристаллнинг симметрия воситалари билан боғлиқ. Жумладан: 1) Симметрия марказига эга бўлган кристалларда қутбланган йўналишнинг, яъни пезоэлектрик хусусиятининг бўлиши мумкин эмас. Чунки ҳар қайси моддий нуқта марказ орқали шу йўналиш бўйича ўз аксига эга бўлар экан, у ҳолда ўша моддий нуқталар орасидаги масофа 117-расмдаги каби тенг бўлиши керак. Маълумки, бу йўналиш қутбланган эмас. 2) Симметрия текислигига тик ўтган йўналиш ҳам қутбланган эмас, чунки симметрия текислиги мавжуд бўлган жисмнинг биринчи ярми иккинчи ярмининг акси бўлади. Йўналишнинг икки томони бир-бирининг акси бўлар экан, у қутбланган йўналиш бўла олмайди. 3) Жуфт даражали симметрия ўқларига тик ўтган йўналиш ҳам қутбланган йўналиш бўлмайди. Бунинг исботи ҳам аввалги ҳолатдагидек.



117-расм.

Демак, қутбланган йўналиши бўлиши мумкин бўлган геометрик шаклларни аввалдан айтиб қўйиш мумкин. Қуйидагича симметрия кўринишга эга кристалларда пезоэлектрик хусусият намоён бўлиши мумкин:

1; 2; 3; 4; 5; 6; m, 2mm, 3m, 4mm, 6mm, 222, 32, 422, 622, 42m, 6m, 2,23, 43m.

Бу рўйхатдаги симметрия кўринишларидан бири — 32-кварц кристаллига мансубдир. Таъсир этаётган куч йўналиши 3 йўналиши билан мос қўйилиши керак. Бунда зарядланиш ўша асосий ўққа тик ўтувчи, иккинчи даражали симметрия ўқлари йўналиши билан мос келади, яъни шу иккинчи даражали симметрия ўқлари кварцнинг электрланиш ўқи бўлади. Чунки бу ўқлар йўналиши қутбланган, ўқнинг иккала учи учинчи даражали симметрия ўқи ёрдамида бири иккинчиси билан боғланмагандир.

Кварц кристалли учинчи даражали симметрия ўқи билан йўналган куч таъсирида иккинчи даражали ўқнинг бир учи мусбат, иккинчи учи манфий зарядланади. Шу кристалл учинчи даражали ўқ бўйича чўзилганда, аввалги ҳолда мусбат зарядланган ўқнинг учи манфий, аввал манфий зарядланган учи энди мусбат зарядга эга бўлиб қолади. Шу йўналиш бўйича ўзгарувчан электр токи таъсир эттирилганда кристалл учинчи даражали симметрия ўқ йўналиши бўйича гоҳ кенгаяди, гоҳ тораяди — кристалл тебранади.

1880 йили Пъер ва Жак Кюри кашф этган кристалларнинг бу хусусияти фан ва техникада кенг миқёсда қўлланилади. Бунинг учун шу бир жинсли, шаффоф кварц кристаллидан қалинлиги сантиметрнинг ўндан-юздан бир чамаси улушига тенг келадиган, юзаси 3-4 кв. см. ташкил этадиган кесма тайёрланади. Ўзгарувчан ток электр майдонида шундай кесмалар секундига мингдан миллион мартагача сўнмасдан, бир меъёрда тебранади. Бундай хусусият ундан радиотехникада радио тўлқинлари стабилизатори сифатида фойдаланиш имконини яратади. Бусиз радиостанцияларнинг муайян радиотўлқинларда эшиттиришлар олиб боришини тасаввур этиб бўлмайди.

Кварц кристалли ўзи устига тушадиган босимнинг ўзгарувини ҳам "сезади". Шундай кристалл кесманинг ҳар бир квадрат сантиметр сиртига тушадиган миллиграммдан то ўнлаб тоннагача бўлган оғирлик кучи таъсирини тез ва аниқ

ҳисобга олади. Чунки электрланиш ўқи бўйича ҳосил бўладиган ток заряди ўша кристалл сиртига таъсир этаётган оғирлик кучи билан мутаносибдир. Агар юзага келган электр заряди махсус электр асбоблар ёрдамида ўлчаб кўрилса, кристалл сиртига тушаётган оғирлик кучини аниқ билиш мумкин. Шу йўл билан ҳар қандай босим кучини пезоэлектрик кварц кесмаси орқали ўлчаш мумкин.

Пезо кварц кесими товушни ҳам жуда яхши "сезади", товуш тўлқинларини "эшитади", махсус мосламалар ёрдамида ёзади, "гапиради". Шунингдек, ультратовушни ҳам пезокристаллар "сезади". Сув ости кемалари билан алоқа ўрнатишда, денгиз чуқурлигини ўлчашда (эхолотда), умуман ҳозирги замонда фан ва техникада кристалларнинг бу хусусияти, айниқса муҳим аҳамият кашф этади.

Кристалларнинг пироэлектрлик хусусияти. Кристалларнинг ҳарорат ўзгариши билан боғлиқ равишда электрланиши пироэлектрик хусусият дейилади (пирос — юнонча олов деган маъно беради). Бундай хусусият кристалларда фақат қутбланган ягона йўналишга мос келадиган муайян йўналишлар бўйича юзага келиши мумкин. Бундай хусусият фақат қуйидаги симметрия кўринишига мансуб кристалларда 1; 2; 3; 4; 6; m; 2mm; 3m; 4mm; 6mm каби синфларда намоён бўлиши мумкин. Бу рўйхатдан кўринишича шу хусусиятга эга бўлган кристалларда симметрия маркази, шу қутбланган ягона йўналишга нисбатан тик йўналган ёки маълум бурчак ташкил қилиб ўтадиган симметрия текислиги ва юқори даражали ўқларга тик йўналган иккинчи даражали симметрия ўқи бўлмаслиги керак.

Шундай хусусиятга эга кристалларнинг энг аҳамиятли мисоли турмалиндир. Унда учинчи даражали симметрия ўқи билан, шу ўқ бўйлаб ўтувчи учта симметрия текислиги мавжуддирки, унинг симметрия кўриниши 3m шаклига эга. Бундаги учинчи даражали симметрия ўқи 3 қутбланган, ягона йўналиш билан мос ўтади. Шундай кристалл қиздирилганда бир учи манфий, иккинчи учи мусбат зарядланади; кристалл совутиб зарядсизлантирилса, унинг учлари қарама-қарши: мусбат учи — манфий, манфий учи мусбат ҳолда зарядланиб қолади. Буни қўрғошин оксиди [Pb_3O_4] билан олтингугурт (S) аралашмасини сепиб кўриб билса ҳам бўлади. Кристаллнинг мусбат зарядли қисми ман-

фий зарядланган олтингугурт заррачаларини ўзига тортиб сариқ рангга бўялади. Манфий зарядланган қисми эса мусбат зарядланган оксид заррачаларини ўзига тортиб, қизил рангга бўялади. Пироэлектрик хусусиятининг фан ва техника тараққиётида аҳамияти жуда катта, айниқса у физикада кенг қўлланилади.

3. Кристалларнинг магнитланиш хусусияти

Табиатда ҳамма моддалар ҳам маълум даражада магнитлик хусусиятига эгадирларки, улар шу хусусиятларига кўра беш гуруҳга бўлинади; диамагнетиклар, парамагнетиклар, ферромагнетиклар, актиферромагнетиклар ва ферромагнетиклар — ферритлардир.

Ҳамма моддалар ҳам магнитлик хусусиятига эга экан, улардаги бу хусусиятни атомлар таркибига кирадиган элементлар заррачаларига боғлиқ, деб қараш мумкин. Ҳамма атомлар ҳам бир хил электронлар протонлар ва нейтронлардан ташкил топган. Ўтказилган тадқиқотлардан маълум бўлишича протон ва нейтронларнинг магнит моменти электронлар магнит моментидан бир неча ўн марта кичикдир. Шунинг учун ҳам магнитлик хусусият фақат электронлар билан боғлиқ, деб ўйлаш керак.

Ҳар қандай атом ядро ва электронлар "булут"идан ташкил топган мувозанатдаги тизимдир. Бунда ҳар бир электрон ўзининг магнитлик спин сонига эга. Бундан ташқари, атомнинг ичида электронларнинг қандайдир орбита бўйича ҳаракати — орбитал магнит майдонини келтириб чиқаради. Демак, атомнинг тўлиқ магнитлик моменти шу электронларнинг орбитал ва магнитлик спин сонларининг геометрик йиғиндисидан иборат бўлади.

Диамагнетиклар. Диамагнитлик хусусияти магнит майдонининг атом ёки молекулалар электрон қаватларининг ҳаракатига таъсири натижасида юзага келади. Демак, бу хусусият атом ёки молекулаларга хосдир. Бундан атом ёки ионлари магнит моменти нолга тенг бўлган моддаларда шундай хусусият намоён бўлади. Бунинг учун ўша моддаларда ҳамма орбитал ва спинларнинг магнит моменти мувозанатда бўлиши керак. Инерт газларда ва ионларнинг ташқи электрон қавати инерт газларники каби тузилган моддаларда масалан, Na, Cl каби элементларда шундай. Буларнинг ҳам-

масида ҳам спинларнинг магнит моменти нолга тенг, яъни электронларнинг сони жуфтдир. Шундай Pb, Zn, C, Hg, Si, Ge, S, CO_2, H_2O, шиша, мармар ва жуда кўп органик моддалар диамагнетиклар бўлади. Электрон қавати тузилиши бошқачароқ бўлган Cu ҳам шулар қаторига киради. Чунки унга парамагнитлик хусусиятини берадиган 4s —электрони — битта. Диамагнитлик хусусиятини берадиган 3d қавати электронларининг сони ўнта. Шунга кўра у кучсиз диамагнит бўлиб қолади.

Парамагнитизм. Парамагнитлик хусусиятига эга бўлган моддалар ташқи магнит майдони таъсирида ферромагнит моддалар каби жуда тез магнитланмайди, лекин магнитланганда ҳам ташқи магнит майдони йўналиши билан мос равишда магнитланади. Маълумки, ташқи магнит майдони таъсири бўлмаган жойларда айрим атомларнинг магнит майдони тартибсиз йўналган бўлади. Демак, атом ёки молекулаларнинг магнит моменти 0 дан бошқа қийматга эга бўлган моддаларгина парамагнитлик хусусиятига эга бўлиши мумкин. Бундай моддалар қаторига атом ёки молекулаларда тоқ сонли электронлари бўлган элементлар киради. Бундай элементларнинг умумий магнит моменти нолга тенг эмас. Масалан, ишқорий металлар (Na, K ва ҳ.к.), Al, азот оксиди (NO) ва бошқаларда. Бу қоидадан Cu, Ag мустаснодир. Улардаги ташқари ички электрон қаватлари тўлдирилмай қолган Cr, Mn, Pt каби Менделеев жадвалидаги ўткинчи гуруҳ элементлари ва ишқорий ер элементлари ҳам парамагнитлик хусусиятига эга.

Парамагнетиклар магнит майдони йўналиши билан мос равишда магнитланиши натижасида тортилади, диамагнетиклар эса аксинча магнитланиш натижасида магнит майдонидан узоқлашади.

Ферромагнетизм. Ферромагнит моддалар кучли магнитланиш хусусиятига эга бўлади. Тез магнитланади ва уларнинг магнитланганлиги осонликча билинади.

Ферромагнитизм лотинча Ferrum — темир сўзидан олинган, чунки бундай хусусият биринчи марта темирда — темир маъданларида аниқланган эди. Ҳозирги вақтда бундай хусусият темирдан бошқа никел кобальт гадолиний, эрбий, диспрозий, тулий, голмий ва тербий каби элементларда ҳам мавжудлиги аниқланган. Сўнгги сийрак элементлар жуда паст ҳароратда магнитланади. Ферромагнитлик хусусиятига эга

16-жадвал

Ферромагнитлик хусусиятининг йўқолиш ҳарорати

Моддалар	Ҳарорат С°
темир	770
кобальт	1127
никел	357
гадолиний	16
диспрозий	- 168
тербий	- 43
тулий	- 222
эрбий	- 253
марганец била висмутнинг 50% қотишмаси	- 340

бўлган кимёвий элементларнинг сони 9 та бўлгани билан бундай моддаларнинг сони аслида жуда кўпдир. Чунки шу металларнинг бир-бири билан ва бошқа металлар, ҳаттоки магнитлик хусусиятига эга бўлмаган металлар билан ҳам қотишмаси шундай хусусиятга эга бўлиши мумкин.

Баъзан айрим парамагнит моддалар ҳам ҳарорат пасайиши билан ферромагнит хусусиятини намоён этади. Ферромагнитларнинг асосий хусусиятлари қуйидагилардан иборат:

1. Ташқи магнит майдони таъсирида магнитланади.

2. Магнит майдони таъсири йўқолганидан кейин ҳам магнитланганича қолади.

3. Маълум ҳарорат таъсирида ферромагнитлик хусусиятини йўқотади. Ҳарорат янада юқори кўтарилганда парамагнитлик хусусиятини намоён қилади.

Бундан ташқари, ферромагнетикларнинг магнит моменти электронларнинг магнит моменти спинларининг тартибли йўналганлиги билан боғлиқ.

Ферромагнитлик хусусиятига эга элементлар атомларининг магнит моментлари парамагнитлик хусусиятига эга бўлган элементларники билан деярли бир хил бўлишига

қарамай кучли магнит майдонларида ҳам парамагнитлар кучсиз, ферромагнетиклар эса кучли магнитланади.

Ферромагнетизмнинг спинлар билан боғлиқлиги маълум. Ферромагнетиклар атомларида электронларнинг спин магнит моментлари мувозанатда бўлмаган ҳамма ферромагнит элементларнинг тўлдирилмаган электрон қаватларида электронларнинг мувозанатга келмаган спинлари бўлади. Масалан, темирда 4 та, кобальтда — 3, никелда — 2 та мувозантга келмаган спин мавжуд.

Ферромагнетизмнинг юзага келиши учун фақат шунинг ўзи кифоя қилмайди. Марганецда 5 та, хромда 4 та мувозанатга келмаган спинлар бор, лекин униси ҳам, буниси ҳам ферромагнитлик хусусиятига эга эмас. Демак, бу хусусият модданинг кристалл тизими билан ҳам боғлиқдир, яъни кристалл панжараси ўлчамларини мувозанатга келмаган спинли электрон жойлашган қават диаметри нисбатига боғлиқ. Бу қиймат $d : 2R > 1,5$ нисбатда бўлиши керак. Бунда d — панжара ўлчами, R — спинлари мувозанатга келмаган электрон қавати радиуси. Юқорида кўрсатилганидек, хром ва марганец учун бундай шарт бажарилмайди — демак, улар ферромагнит бўла олмайди. Шундай қилиб, моддаларни ферромагнитлик хусусияти кристалл тизими билан бевосита боғлиқдир.

Ферромагнетиклар кристалл тизимида ўз-ўзидан магнитланган, жуда майда, магнит моменти турлича йўналган бўлиб, улар ташқи магнит майдони таъсирида умумий магнит майдонига эга бўлади, яъни магнитланади.

Антиферромагнетизм. Бундай хусусиятга MnO, MnS, NiCr, Cr_2O_3, VO_2 каби бирикмалар эгадир.

Антиферромагнетиклар ва ферромагнетиклар маълум даражагача қиздирилганда ҳароратнинг ортиши билан боғлиқ равишда антиферромагнетиклик хусусиятини йўқотиб, бирмунча ортиқроқ қиздирилганда эса оддий парамагнитлик хусусиятига эга бўлиб қолади. Ҳозирча моддаларнинг бундай хусусиятлари техникада қўлланилмайди — ҳаётга татбиқ этилмаган.

Ферритлар қаттиқ эритмалардан — темир оксиди (Fe_2O_3) ва қандайдир бошқа металл оксиди қотишмасидан иборатдир. Бундай аралашмалар литий, рух, никел, кадмий, қўрғошин, мис, магний, марганец ва бошқа металл оксидларидан иборат

бўлиши мумкин. Ферритларнинг умумлаштирилган оддий формуласини $M_xFe_yO_z$ шаклида ёзиш мумкин М — ўрнида бир ёки икки металл бўлади. Ферритлар ярим ўтказгичлар ҳам, яна улар электрон ҳисоблаш машиналарининг мантиқи ҳамда эслаб қолувчи қурилмаларида ҳам ишлатилади. Бундай кристаллар тизимлари икки хил ячейкалардан иборат бўлиб, уларнинг ҳар бири турлича антиферромагнит боғланишга ва турлича магнитлик моментига эгадир. Шунга кўра бундай кристалларнинг айрим жойлари икки ячейканинг магнитлик моменти орасидаги фарқ борлиги учун магнитланади.

Атом, молекула ва кристаллар ичида содир бўлаётган жараёнларга қараб, улар юқорида санаб ўтилган бешта магнитлик хусусиятининг бирига мансуб, деб қаралади.

4. Кристалларнинг оптик хусусиятлари

Кристалланган моддаларни оптик хусусиятларига қараб аниқлаш услуби амалда кўп қўлланилади. Бу усул ёруғлик нурини кристалланган муҳитдан ўтиш қонуниятларига асосланган. Унинг назарий асоси кристалларнинг ички тузилиши — кристалл тизими билан боғлиқ бўлиб, буюк рус олими Е. С. Федоров томонидан батафсил ишлаб чиқилган. Олимнинг бу соҳада амалга оширган ишлари бутун дунёга машҳур, деярли ҳамма минерал маҳсулотларни, тоғ жинсларини тадқиқ этувчи тажрибахоналарда унинг усулидан кенг миқёсда фойдаланилади. Кристалларнинг оптик хусусиятларини ўрганиш ёруғлик нури ҳақида физика курсида баён этилган умумий тушунчалардан — физик қонунлардан бошланади.

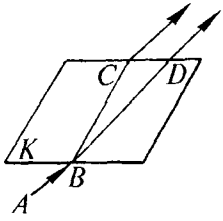
Табиий ва қутбланган нур. Ёруғлик нури ўз табиатига кўра шу нур йўналишига кўндаланг ўтган электромагнит тўлқинлари йиғиндисидан иборат. У нур манбаидан чиқиб, изотроп муҳитда ҳамма йўналиш бўйича бир хил тарқалади. Лекин маълум муҳитда қутбланган, яъни электр ва магнит майдонининг ҳамма тебраниш векторлари муайян текислик юзаси бўйлаб ўтадиган нур ҳосил қилиши мумкин. Кристаллооптик усул мана шу қутбланган (чизиқли қутбланган) нурнинг хоссаларини ўрганишга асосланган.

Нурнинг кристалларда иккиланиб синиши. Баъзи кристалларга маълум йўналишда тушаётган нур кристалланган

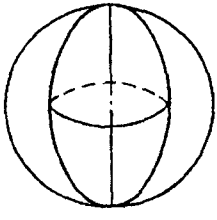
муҳитда иккига ажралади. Исланд шпатидаги бундай хусусият 118-расмда тасвирланган. Кристаллга тушаётган AB нур, кристаллга ўтиш билан иккига BC ва BD нурларга ажралади. Шунинг учун исланд шпати кристалли орқали тасвир иккита бўлиб кўринади. Физикада бундай ҳол кристаллга тушаётган нурнинг иккита қутбланган нурга ажралиши, кристаллнинг иккилантириб синдириши дейилади. Шу йўналишлар орасидаги бурчак кристаллнинг иккилантириб синдириш бурчаги, деб аталади.

Фақат кубик сингония (изотроп) кристалларининг ҳамма йўналишларида ҳам, паст ва ўрта табақа кристалларининг оптик ўқлар йўналиши бўйича ҳам, шу кристаллга тушаётган нур иккиланиб синмайди, яъни шу йўналишлар бўйича кристаллдан ўтаётган нур қутбланмайди. Бундан маълум бўлишича ҳамма сингония ва табақа кристалларининг оптик хусусиятлари бир хил эмас.

Симметриялик даражаси юқори табақа — кубик сингония кристалларининг оптик хусусиятлари. Масалан, шу сингонияда кристалланадиган CaF_2 флюоритнинг оптик хусусиятларини кўз олдимизга келтирайлик. Бунинг учун шу кристаллнинг марказига нур тарқатувчи нуқта қўйилган, деб фараз қилиб, унинг синдириш кўрсаткичи ҳамма йўналишлар бўйича аниқлаб чиқилар экан, унинг синдириш кўрсаткичи — N қиймати ҳамма йўналишлар бўйича тенг, яъни N = 1,54 бўлади. Бундан флюорит, умуман кубик сингония кристалларининг ҳаммаси оптик хусусиятлари жиҳатидан изотропдир, деган хулосага келиш мумкин. Кейин аниқланган шу синдириш кўрсаткичлари йўналиш ва қийматини векторлар билан ифодалаб, чизмада тасвирланади. Натижада 119-расмда кўрсатилганидек, айлана ҳосил бўлади. Кристаллни синдириш кўрсаткичи йўналиши ва қийматлари шундай йўл билан ҳар қандай текисликка туширилган тасвири айлана шаклига эга бўлади. Демак, исталган йўналишда исталган текисликда тасвирланган синдириш кўрсаткичларининг қиймати ва йўналиши асосида қурилган векторлари ўша текисликда ётувчи айлана ҳосил қилади. Геометрия фанидан маълум бўлганидек, шарнинг исталган текисликдаги кесмаси айлана кўринишида бўлади. Бундан синдириш кўрсаткичлари қиймати асосида қурилган фаразий шакл кубик сингония кристалларида доимо шар шак-



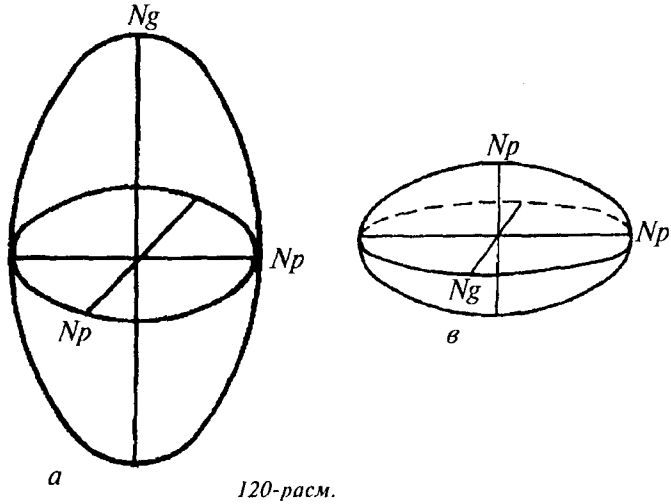
118-расм.



119-расм.

лида бўлади, деган хулосага келиш мумкин. Фақат шундай шаклнинг исталган йўналишдаги кесмаси айлана ҳосил қилади. Шу ва шунга ўхшаш синдириш кўрсаткичлари асосида қурилган фаразий шакллар оптик индикатриса дейилади.

Симметриялик даражаси ўртача бўлган табақа кристалларининг оптик хусусиятлари. Маълумки, ўрта табақа кристалларида биттадан юқори даражали — 3, $\bar{3}$, 4, $\bar{4}$, 6, $\bar{6}$ симметрия ўқи мавжуд. Кристалларни ўрнатиш қоидасига кўра шу ўқ — кристаллографик Z ўқига мос қўйилади. Юқорида кўриб ўтганимиздек, кристаллар марказига нур тарқатувчи нуқта бор, деб фараз қилиб, шу нуқтадан таралаётган нурнинг синдириш кўрсаткичи қиймати аниқланиб, векторлар билан тасвирланади. Масалан, зумрад кристаллининг синдириш кўрсаткичи Z ўқига мос йўналиш бўйича Ng = 1,568 – 1,605 га ва X ҳам У ўқлари йўналиши бўйича Np = 1,564 – 1,595 га тенг. Шу қийматларни векторлар билан аввал чизма текислигида, кейин чизма текислигига тик йўналган текисликда ва ниҳоят, учинчи текисликдаги кесмаларини тасвирлаймиз. Биринчи икки кесмада (*a*) эллипс, учинчи кесмада (*b*) айлана шаклида бўлади (120-расм). Улар битта доиравий кесимга эга эллипсоиднинг кесмалари тасвиридир. Демак, ўрта табақа кристалларининг оптик индикатрисаси битта доиравий кесимга эга эллипсоиддан иборат. Доиравий кесимга тик ўтадиган йўналиш кристаллнинг оптик ўқи дейилади. Шундай битта йўналишга эга бўлган ўрта табақа кристаллари оптик бир ўқлидир. Табиийки, баъзи кристалларда Ng қиймати Np қийматидан кичикроқ бўлиши мумкин. У ҳолда кўрсатилган эллипсоид-оптик индикатриса ўқи бўйига "эзилган", яъни ясси бўлиб қолади (120-в, расм). Бундай кристалл оптик манфий, бошқа кўриниши эса оптик мусбат ишорали дейилади. Хулоса қилиб айтганда, ўрта табақа кристалларини ўрганишда синдириш кўрсаткичлари — Ng ва Np қийматлари ҳамда оптик ишораларини аниқлаш кифоядир.

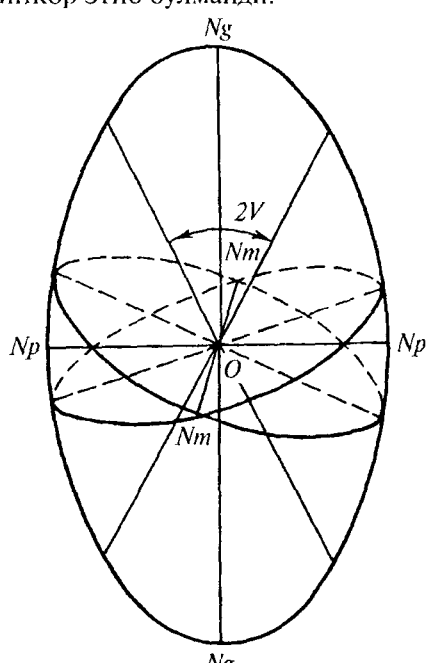


120-расм.

Симметриялик даражаси паст табақа кристалларининг оптик хусусиятлари. Юқорида кўрсатиб ўтилган табақалардаги каби паст табақа кристалларининг ҳам оптик хусусиятлари уларнинг симметриялик даражасига мувофиқдир. Бу сингония кристалларида синдириш кўрсаткичи кристаллографик ўқлар йўналиши билан мос равишда уч хил: Z ўқи йўналиши бўйича Ng (катта), *у* — ўқи йўналиши бўйича Nm (ўртача) ва X ўқи йўналиши бўйича Np (кичик) қийматга эга. Шу йўналишлар бўйича аниқланган синдириш кўрсаткичи қийматлари аввалгидек векторлар билан ифодаланиб, чизмада тасвирланса, 121-расмда кўрсатилган каби эллипс кўринишидаги учта кесма юзага келади. Чунки улар уч ясси эллипсоиднинг кесмаларидир. Демак, симметриялик даражаси паст табақа кристалларининг оптик индикатрисаси ясси эллипсоид шаклидадир. Бу шаклда доиравий кесим ва шу доиравий кесимга тик йўналган оптик ўқлари иккита бўлганлиги учун бундай оптик индикатрисага эга бўлган кристаллар оптик икки ўқли, дейилади. Шу оптик ўқларнинг иккаласи ҳам NgNp текислигида ётади. Шундай қилиб, симметриялик даражаси паст бўлган табақа кристалларининг оптик хусусиятларини таърифлаш учун учта синдириш кўрсаткичи — Ng, Nm, Np қийматлари ва оптик ўқлар орасидаги бурчак — 2V аниқланади. Бунда синди-

риш кўрсаткичлари — Ng, Np, Nm йўналиши ҳақиқий кристаллдаги иккинчи даражали ўқлар йўналиши, яъни ягона йўналишлар билан, шу йўналишларга кўндаланг текислик шу кристаллнинг симметрия текислиги билан мос тушади. Агар оптик ўқлар орасидаги бурчакнинг биссектриссаси Ng йўналиши билан мос тушса, бундай кристалл оптик мусбат, шу биссектрисса Np йўналиши билан мос тушса, бундай кристалл оптик манфий дейилади.

Ромбик сингонияга мансуб кристалларнинг ташқи кўринишига қараб, оптик ўқлар (Ng, Nm, Np) нинг қайси бири қайси симметрия ўқи билан мос тушишини аввалдан айтиш мумкин эмас. Оптик ўқлар йўналишини фақат кристаллоптик текширишлардан кейингина айтиш мумкин. Кристаллнинг узун қиррасини Ng билан, ўртача қирраси ва қисқа қиррасини Nm ёки Np йўналиши билан мос тушади, деб бўлмайди. Лекин ягона йўналишнинг ҳар бири оптик ўқларнинг бир йўналиши Ng, Nm ёки Np билан мос тушиши шартлигини инкор этиб бўлмайди.



121-расм.

Моноклин сингонияга мансуб кристалларда оптик ўқнинг йўналиши иккинчи даражали симметрия ўқи — 2 йўналиши билан мос тушади, қолган иккитаси эса шу ўққа нисбатан кўндаланг йўналган текислик устида ётади. Шу билан бирга, оптик ўқларнинг йўналиши кристаллнинг (010) текислигига мос йўналган қирраси билан маълум бурчак ҳосил қилади. Шу бурчакнинг қиймати шу сингонияда кристалланадиган моддаларнинг ҳар қайсиси учун хос белги бўлиб қолади.

Триклин сингония кристалларида эса симметрия ўқлари ва симметрия текислиги мутлақо бўлмайди. Шунинг учун кристаллдаги мавжуд ҳамма йўналишлар ягона йўналиш деб қаралади. Бунда ҳам оптик ўқлар билан кристалл қирралари орасида юзага келган бурчак қиймати шу кристаллни аниқлашда айниқса муҳим аҳамият кашф этади.

Бундан ташқари, айрим ҳолларда, кристаллни иккилантириб синдириш бурчаги (Ng-Np) қийматини аниқлаш зарурати ҳам туғилади. Бу қийматни аниқлаш имконияти бўлмаган шароитларда Ng ва Np қийматларини алоҳида-алоҳида аниқлаш талаб этилади.

Ўрта табақа кристалларида — гексагонал, тетрагонал, тригонал сингонияга мансуб кристалларда энг катта синдириш кўрсаткичи — Ng, энг кичик синдириш кўрсаткичи — Np ва иккилантириб синдириш бурчаги Ng-Np қиймати аниқланади. Оптик индикатриса — эллипсоиднинг қиёфаси тушаётган нурнинг тўлқин узунлигига қараб, бир модда кристаллнинг ўзида ҳам бирмунча ўзгарган кўринишда бўлиши мумкин. Шу билан боғлиқ равишда оптик ўқлар — Ng, Np, Nm қийматининг ўзгариши оптик индикатриса ўқларининг дисперсияси дейилади. Бундай дисперсия моноклин ва триклин сингония кристаллари оптик хусусиятларида бирмунча мураккаб ўзгаришларни келтириб чиқаради.

Кристалларнинг оптик хусусиятлари поляризацион микроскоп ёрдамида ўрганилади. Бироқ табиатда топиладиган кристаллар нотўғри шаклли бўлиб, уларда кристаллографик ўқларнинг — X, У, Z йўналишини, шунингдек, оптик индикатриса ўқлари — Ng, Nm, Np бўйича аниқланган синдириш кўрсаткичларининг йўналишини билиб бўлмайди. Уларни аниқлаш учун Е. С. Федоров 1892 йили махсус мослама яратди. Расмий поляризацион микроскопга ўрнатиладиган шу мослама ёрдамида кристалл донасидан тайёрланган шлиф (0,2 мм қалинликдаги ойнага ёпиштирилган кесма-

си) икки ўқ атрофида исталган йўналишда, исталган бурчакка айлантирилиши мумкин. Натижада кристаллдан тайёрланган бир кесмани ҳар томонлама текшириб кўриш, белгиланган синдириш кўрсаткич йўналиши билан кристаллографик ўқлар йўналиши орасидаги боғланишни аниқлаш мумкин. Бу Федоров столчаси деб юритиладиган мослама бутун дунёдаги ҳамма петрография, минералогия, кристаллография ва умуман геология тажриба-тадқиқот ишларида кенг миқёсда қўлланилади.

Юқорида кристалларнинг оптик хусусиятлари ҳар бир кристаллнинг симметриялик даражаси билан боғлиқ равишда ўзи учун хос эканлиги, кристаллнинг симметриялик даражаси эса шу кристалл тизимида иштирок этаётган моддий нуқталарнинг тури — сифати ва жойланиш тартиби билан боғлиқ эканлиги назарий жиҳатдан кўриб ўтилди.

Тоғ жинсларини ўша тоғ жинслари таркибидаги минерал-кристалларнинг оптик хусусиятларига қараб аниқлаш петрография дарсида — кристаллооптик тажрибахоналарида кенг миқёсда қўлланилади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

Белов Н. В. — "Очерки по структурной минералогии". Изд. "Недра" М., 1976 г.

Бетехтин А. Г. "Минералогия курси". "Ўқитувчи", Т., 1969.

Бокай Г.Б. Кристаллохимия. Изд. Наука, М. 1971.

Бэмфорт А. В. "Промышленная кристаллизация". Изд. "Химия", М., 1969.

Вайнштейн и др. "Методологические проблемы кристаллографии". Изд. "Наука", М., 1985.

Вегман Е. Ф., Руфанов Ю. Г., Федорченко И. Н. "Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография". Учебное пособие для вузов. -М., Металлургия, 1990.

Годовиков А. А. "Кристаллохимия простых веществ". Изд. "Наука" Н. 1979.

Желедев И. С. — "Физика кристаллов и симметрия". Изд. "Наука" М., 1987.

Загальская Ю. Г., Литвинская Г. П. — "Геометрическая кристаллография". Изд. МГУ, М., 1973.

Захидов К. С. — "Геометрик кристаллография". Изд. "ТашПИ". Т., 1987.

"Идеи Е. С. Федорова в современной кристаллографии и минералогии". Изд-во "Наука", М., 1970.

"Кристаллография и минералогия". (Труды Федоровской Юбилейной сессии 1969) Изд. "ЛГИ", Л., 1972.

Леммелейн Г. Г. "Морфология и генезис кристаллов". Изд. "Наука" М., 1973.

Либау Ф. "Структурная химия силикатов". Изд. "Мир" М., 1988.

Пикин С. А., Блинов Л. М. — "Жидкие кристаллы". Изд. "Наука", М., 1982.

Попов Г. М., Шафроновский И. И. — "Кристаллография". Изд. "Высшая школа" М., 1972.

Проблема изоморфных замешений атомов в кристаллах" Изд. "Наука", М., 1971.

"Проблемы кристаллогии". Изд. МГУ, Москва, 1971.

Сироткин Ю. И. — "Основы кристаллографии". Изд. "Наука", М., 1979.

"Современная кристаллография". т. I-IV. Изд. "Наука", 1979-81.

Шаскольская М.П. — "Кристаллы". Изд. "Наука", М., 1978.

Шафрановский И. И., Алявдин В. Ф. — "Краткий курс кристаллографии". Изд. "Высшая школа" М., 1984.

Шубников А. В. "У истоков кристаллографии". Изд. Наука, М., 1972.

Юшкин Н. П. "Механические свойства минералов". Изд. "Наука" Л., 1971.

Уиттекер Э. "Кристаллография". Изд. "Мир", М., 1983.

МУНДАРИЖА

Муқаддима 3
Кристаллар ва кристаллография 5
Кристаллография фани ва унинг вазифалари 7

I бўлим. **ГЕОМЕТРИК КРИСТАЛЛОГРАФИЯ**

Чекланган кристаллографик шакллар геометрияси

I боб. **Кристаллар симметрияси ва уни ўрганиш** 43
1. Симметрия воситалари 44
2. Симметрия воситаларини геометрик усулда жамлаш 53
3. Симметрия воситаларининг табиий кристаллардаги қаторлари 55
4. Ягона йўналишли кристалл шакллари симметрия воситаларини жамлаш 56

II боб. **Кристалларнинг геометрик шакллари** 71
1. Очиқ содда шакллар 72
2. Ёпиқ содда шакллар 75
3. Симметриялик даражаси паст табақа кристалларнинг геометрик шакллари 82
4. Симметриялик даражаси ўртача табақа кристалларнинг геометрик шакллари 84
5. Симметриялик даражаси юқори табақа кристалларнинг геометрик шакллари 88
6. Мураккаб шакллар ва уларда иштирок этадиган содда шакларни аниқлаш 92

III боб. **Кристаллографиянинг асосий қонунлари** 95
1. Бутун сонлар қонуни ва кристаллографик белгилар 97
2. Кристалл ёнларининг белгилари 100

II бўлим. **КИМЁВИЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЯ. ЧЕКСИЗ КРИСТАЛЛОГРАФИК ШАКЛЛАР ГЕОМЕТРИЯСИ**

I боб. **Фаннинг мантиқий асослари ва мазмуни** 125
II боб. **Чексиз геометрик шакллар симметрияси** 143
1. Трансляция 143
2. Трансляцион симметрия текисликлари 145
3. Трансляцион симметрия ўқлари 146
4. Федоровнинг фазовий гуруҳлари 151
5. Трансляцион панжаралар 156
6. Элементар ячейкадаги атомларнинг сони 159
7. Тузилиш бирликларининг жойланиш зичлиги 161
8. Кристалл тизими бирликларининг зич жойлашиш қонуни 162
9. Фазовий панжара текис тўрлари 164
10. Параллелоэдрлар назарияси 166
11. Рентген нури ва кристалл тизими таҳлили 167
12. Фазовий панжара турлари ва ўлчамларини аниқлаш 171
13. Кристалл тизимларининг нуқсонлари 173
14. Атом ва ион радиуслари 175
15. Координация сони ва полиэдрлар 180
16. Атом ёки ион радиуслари билан координация сони орасидаги боғланиш 182

III боб. **Кимёвий кристаллографияга оид назариялар** 187
1. Кристалларнинг симметрияси билан кимёвий таркиби орасидаги боғланиш 187
2. Изоморфизм ва аралаш кристаллар 196
3. Полиморфизм 200
4. Элементлар ва кимёвий бирикмаларнинг кристалл тузилиши 202
5. Ноорганик бирикмалар кристалл тизими 205
6. Силикатларнинг кристалл тизими 215
Хулоса 230

III бўлим. **ФИЗИК КРИСТАЛЛОГРАФИЯ**

Муқаддима 232
1. Кристалларнинг механик хусусиятлари 233
2. Кристалларнинг электрланиш хусусиятлари 240
3. Кристалларнинг магнитланиш хусусияти 244
4. Кристалларнинг оптик хусусиятлари 248
Фойдаланилган адабиётлар 255