

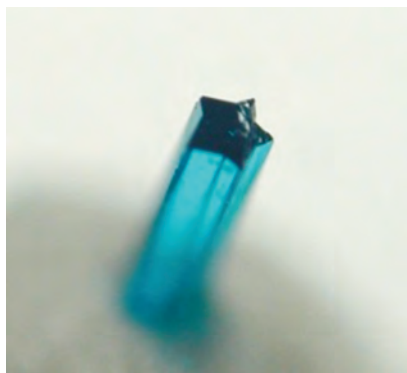
Razvrščanje kristalov po njihovih oblikah (peti del)

Mirjan Žorž

V klasični kristalografiji velja, da so štiristevni kubični minerali uvrščeni višje kot šeststevni. Z odkritjem snovi s pet- in večstevnimi simetrijami pa postane očitno, da taka razvrstitev ni povsem ustrezna. V zadnjem delu opisujemo minerale s simetrijami, ki so več kot štiristevne, in razložimo, da lahko iz najvišje šeststevne holomorfije izvedemo vse simetrije z nižjimi števnostmi.

Petstevni minerali $n = 5$

Minerali iz te skupine bi imeli eno glavno petstevno os in pet ravnin simetrije, ki so vzporedne s to osjo. Značilni lik - dipentagonska bipiramida - ima dvajset ploskev enake oblike. Doslej še niso našli nobenega naravnega minerala s to simetrijo in tudi nobenega še niso sintetizirali. Obstaja pa mineral, ki se dvojči na tak način, da nastane kristal s petstevno simetrijo. Zaradi te lastnosti so ga poimenovali pentagonit. Mineral ima hemimorfno simetrijo, zato imajo to simetrijo tudi njegovi petorčki. Kristali iz te skupine, ki vsebuje pet simetrij, bi sicer imeli enake morfološke lastnosti kakor njihovi ustrezniki iz trištevne skupine.

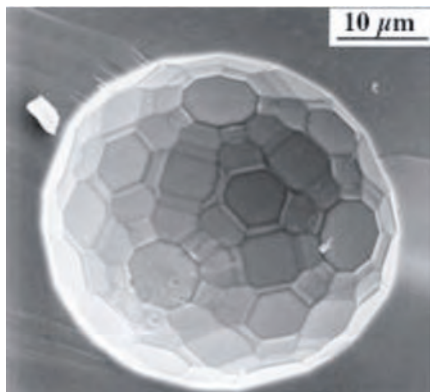


Slika 23: Pentagonit je bil nekoč redek mineral, danes pa ne več, ker je pogost v nahajališču Wagholi pri Mumbaju v Indiji. Njegovi kristali so pogosto zdvojeni tako, da nastanejo kristali s petstevnim presekom v obliki peterokrake zvezde. Kristali zdvoženega pentagonita imajo torej pentagonalno simetrijo. Vir fotografije: Google pictures.

Petstevni minerali – ikozaedrični $n = 5$

Ikozaeder je geometrijsko telo, ki ga omejuje 20 enakostraničnih trikotnikov. Ima šest petstevnih in deset trištevni osi. Tudi tukaj lahko vsak trikotnik razdelimo še na šest pravokotnih trikotnikov in nastane kristal s 120 ploskvami – disdiakistriakontaedri, kar je v tej holomorfiji najvišje možno število enakih ploskev nekega kristalnega lika. Nekoliko enostavnejši so pentagonski dodekaedri. V tem primeru je kristal sestavljen iz dvanajstih pravilnih, to je enakostraničnih peterokotnikov. Če pogledamo kristal vzdolž ene izmed njegovih trištevni osi, zopet opazimo trištevni presek. Simetrija kristala okoli te osi je popolnoma enaka trištevni holomorfiji, ki jo ima na primer kalcit. Ikozaedrit je za zdaj edini znani mineral s to simetrijo. Našli so ga v pogorju Korjak na Kamčatki v Rusiji v obliki 0,1 milimetra velikih zrn.

Če odvzamemo tej simetriji vse ravnine simetrije, se število možnih enakih ploskev zmanjša na 60. Ploskve so levo ali desno orientirane, nastane torej enantiomorfija. Kristalov s to simetrijo še niso našli oziroma sintetizirali.

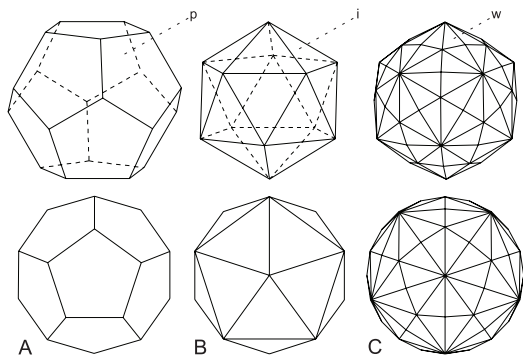


Slika 24: Na fotografiji ni kristal, temveč njegov odtis, ki ima očitno petštevno ikozaedrično simetrijo. Dobro vidna je trištevna os, okoli katere so razporejene tri petštevne osi. Kristal, ki je pustil za seboj ta odtis, je bil ploskovno zelo bogat, zato ima že čisto kroglasto obliko. To je dejansko simetrija, ki se najbolj približa simetriji krogle.

Vir: <http://mcs.open.ac.uk/ugg2/index.shtml>.

Šestštevni minerali $n = 6$

Holomorfija ima šest ravnin simetrije, ki so vzporedne z glavno osjo in se sekajo pod kotom 30 stopinj. Pravokotno nanje je še



Risba 20: Najenostavnejši lik petštevne ikozaedrične simetrije je pravi pentagonski dodekaeder **p**, ki ima dvanajst enakostraničnih peterokotnikov (A). Ikozaeder določa 20 enakostraničnih trikotnikov (B). Najvišje število enakih ploskev v ikozaedrični holomorfiji je 120 in določajo disdiakistriakontaeder **w** (C). Z naraščajočim številom ploskev se oblika ikozaedričnih kristalov zelo približa obliki krogle.

Risba: Mirja Žorž.

ena ravnina simetrije. Največ enakih ploskev, to je 24, ima diheksagonska bipiramida. Kristali s to simetrijo imajo najpogostejše obliko šesterostranih prizm z enostavnimi pinakoidalnimi terminacijami. Najznačilnejši predstavnik te simetrije je beril.

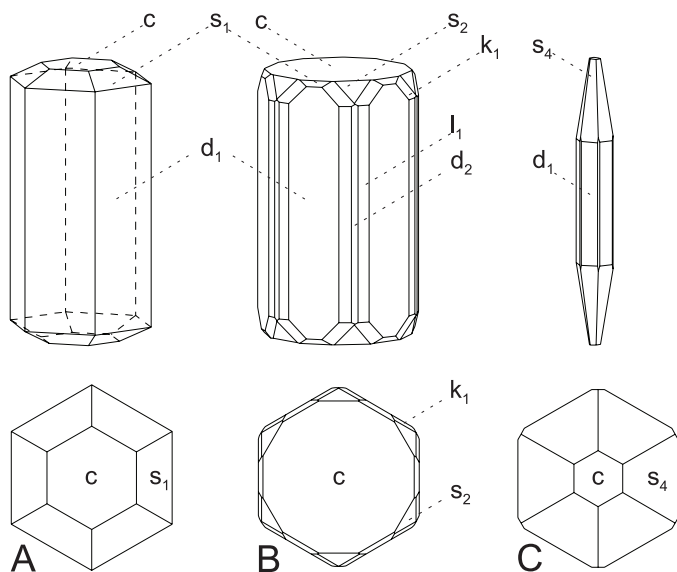


Slika 25: Sturmanit na podlagi drobnih kalcitovih kristalov. Kristal ima šestštevno simetrijo. Omejujejo ga ploskve heksagonske prizme in heksagonske bipiramide. Nobeden od teh dveh likov ni značilen za šestštevno holomorfijo, ki ji ta mineral pripada, zato je zgolj na podlagi razvitih ploskev ni mogoče potrditi. Kristal, ki meri 6 x 3 milimetrov, je obdan z manjšimi kratkoprizmatskimi kristali. Hotazel v Južnoafriški republiki. Slika: Mirja Žorž.



Slika 26: 21 x 12 milimetrov velik kristal berila na podlagi lističastih muskovitovih kristalov. Prizmatški kristal je na terminaciji omejen z ravno ploskvijo pinakoida. Na kristalu so razvite ploskve heksagonske bipiramide – svetla enakostranična trikotna ploskev. Pod obema stranicama te ploskve sta razviti ozki ploskvi diheksagonske bipiramide, ki ustrezata značilnemu kristalnemu liku šestštevne holomorfije. Prisotnost teh ploskev torej potrdi to simetrijo. Primerek je iz Nagarja v Pakistanu.

Slika: Mirjan Žorž.



Risba 21: Risba A prikazuje prizmatški kristal s šestštevno simetrijo. Na njem so razvite ploskve prizme d_1 , bipiramide s_1 in pinakoida c . Na risbi C je kristal z enakimi kristalnimi liki, le da je bipiramida s_4 bolj strma in bolj razvita, pinakoid c pa majhen, zato je kristal igličaste oblike. Ker na nobenem od teh dveh kristalov ni ploskev značilnega lika, ki je v tej simetriji diheksagonska bipiramida in jo določa 24 enakih ploskev, jima samo na podlagi oblike ne moremo določiti prave simetrije. Risba B pa prikazuje kristal z razvitimi ploskvami diheksagonske bipiramide k_1 , ki so značilne za šestštevno holomorfijo. Razvite so še ploskve diheksagonske prizme l_1 , ki so tudi značilne za holomorfijo, in nespecifične ploskve prizme d_2 ter bipiramide s_2 .

Risba: Mirjan Žorž.

V tej skupini sta dve simetriji, ki imata pol nižjo števnost glavnih osi. Kristali s tema dvema simetrijama imajo trikoten presek. Če holomorfiji odvezemo tri ravnine simetrije, ki so vzporedne z glavno osjo, ostanejo samo tri, ki se sekajo pod kotom 120 stopinj, kar je sicer značilnost trištevni simetrij in mineralov. Ostane pa še ena ravnina, ki je pravokotna na glavno os, ki je sedaj samo še trištevna. Kristalni lik z najvišjim številom enakih ploskev v tej simetriji je ditrigonska bipiramida, ki jo določa 12 enakih ploskev. To simetrijo pogosto prištevajo med trigonalne. Zaradi ravnine simetrije, ki je pravokotna na trištevno glavno os, pa te simetrije oziroma kristalov s to simetrijo nikakor ne moremo uvrstiti med tiste iz trigonalnega sistema. Tam namreč holomorfija nima ravnine simetrije, ki je pravokotna na trištevno os. Samo 0,6 odstotka mineralov

ima tako simetrijo, med njimi pa je benitoit, katerega kristali so ravno zaradi te simetrije nekaj posebnega.

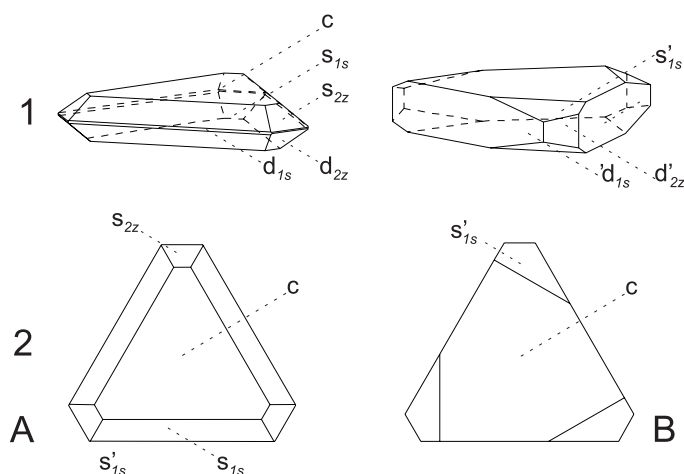
Če tej simetriji odvezemo še preostale tri ravnine simetrije, ki so vzporedne z glavno osjo, ostane samo še ena ravnina simetrije, ki je pravokotna nanjo. To je najredkejša simetrija od vseh, če izvezemo petštevne. Možnih je le še šest enakih ploskev. Takih mineralov je samo 0,07 odstotka, med njimi pa ni nobenega v makroskopskih kristalih. Tudi te simetrije ni možno uvrstiti v trigonalni sistem iz zgoraj navedenih razlogov.

Zaključek

Pri nekaterih mineralih nastanejo dvojčki, ki imajo še višje števnosti. Tak je rutil, katerega dvojčki imajo osemštevno simetrijo. Sintetizirali so tudi snovi z desetštevno simetrijo. Najvišjo opaženo simetrijo doslej

Slika 27: Trištevni kristal benitoita, katerega stranica meri 13 milimetrov, je najlepši predstavnik redke simetrije, ki jo sicer uvrščamo med šestštevne simetrije. Največja ploskev na kristalu je pinakoid, ki je obrobjen z dvema vrstama trigonskih bipiramid. Na desni je zdvojen kristal neptunita. San Benito Gem Mine v New Idrii v Kaliforniji v Združenih državah Amerike. Slika: Mirjan Žorž.





Risba 22: V skupini šestštevni simetriji je ena taka, ki ima tri ravnine simetrije, ki so vzporedne z glavno osjo, in eno, ki je na to os pravokotna. Taka kombinacija simetrijskih ravnin povzroči, da se števnost glavne osi razpolovi, zaradi česar so kristali trištevni (1A in 2A). Pri tej simetriji zato ločimo med prednjimi in zadnjimi kristalnimi liki, kot so prednje prizme d_{1s} in zadnje prizme d_{2z} ter prednje bipiramide s_{1s} in zadnje bipiramide s_{2s} . Slednji sta v tej simetriji kristalna lika z najvišjim številom enakih ploskev, ki jih je 12. Zaradi razvitega pinakoida c so kristali sploščeni.

Če tej simetriji odvezemo tri ravnine simetrije, ki so vzporedne s trištevno osjo, in ji pustimo samo tisto, ki je

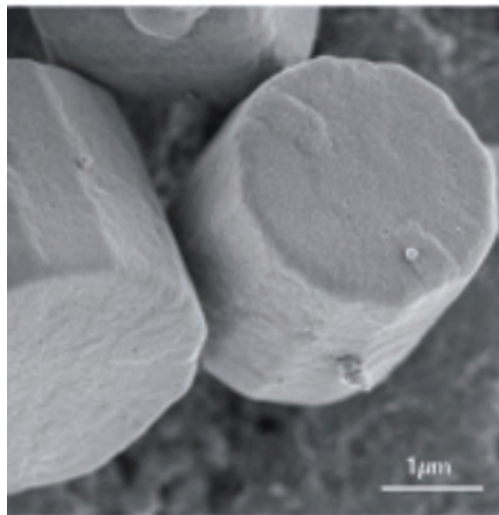
pravokotna nanjo, dobimo najnižjo možno simetrijo v tej skupini. Zanja so značilni liki, ki imajo desno ali levo in sprednjo ali zadnjo orientacijo. Kristal na risbah 1B in 2B ima razvite ploskve likov sprednje leve prizme d'_{1s} in zadnje desne prizme d'_{2z} ter sprednje desne bipiramide d'_{1s} zaradi dobro razvitega pinakoida c pa je sploščen. Risba: Mirjan Žorž.

imajo zdvojeni kristali ledu v obliki snežink, ki imajo dvanajstštevno simetrijo. Kristalografsko je najvišja simetrija dodeljena štirištevni kubični mineralom. Podlaga za to je število simetrijskih elementov, ki so osi in ravnine simetrije. Teh je največ pri holomorfiji. Odkritje ikozaedričnih kristalov je zato potisnilo kubično simetrijo na



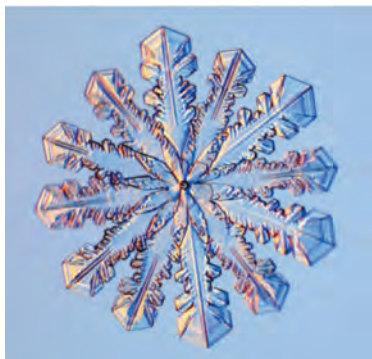
Slika 28: Dvojčenje rutila rezultira v osemštevni simetriji, ki je dobro vidna na 11 milimetrov velikem kristalu iz mesta Magnet Cove v Arkansasu v Združenih državah Amerike.

Slika: John Betts.



Slika 29: Znanstvenikom je uspelo sintetizirati tudi kristale z desetštevno simetrijo. Kristali na posnetku so enostavne desetštevne prizmatске oblike in so na terminacijah zaključeni z ravnimi ploskvami pinakoida.

Vir: J. - M. Dubois in R. Lifshitz, 2011: Quasicrystals: diversity and complexity. Philosophical Magazine, 91 (19–21, I–21): 2971–2982.



Slika 30: Simetrijo z najvišjo števnostjo imajo zdvojeni kristali ledu v obliki 12-krakih snežink.

Vir: http://philipball.blogspot.com/2009_2009_12_01_archive.html.



Slika 31: Interpenetracijsko dvojčenje enostavnih kockastih kristalov okoli trištevne osi poviša štirištevno kubično simetrijo v šestštevno holomorfijo. Lep primer takega dvojčenja je loparit iz masiva Lovozero na polotoku Kola v Rusiji. Dvojček meri 11 milimetrov v premeru.

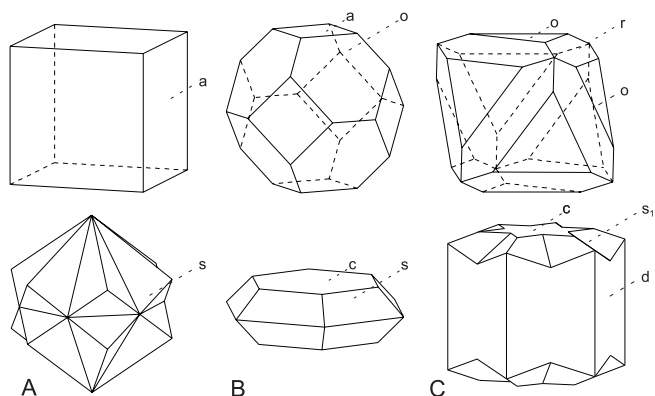
Slika: Mirjan Žorž.

drugo mesto, saj ima ikozaedrična simetrija še več osi in ravnin simetrij kot kubična. Pokazali pa smo, da imata obe simetriji tudi trištevne osi. Minerali z najvišjo kubično simetrijo so pogosto zdvojeni okoli trištevne osi. Ti dvojčki imajo najvišjo šestštevno simetrijo. Take dvojčke imajo na primer diamant, fluorit, galenit, loparit in platina. To pa hkrati pomeni, da vsebuje šestštevna simetrija tudi kubično simetrijo in je potemtakem višja od nje. Na enak način bi dobili tudi dvojčke ikozaedričnih kristalov okoli troštevne osi, torej je šestštevna simetrija višja tudi od ikozaedrične.

Simetrijsko gledano lahko torej zaključimo, da je najvišja šestštevna simetrija »mati« vseh ostalih simetrij z nižjo števnostjo, ker »rodi« ikozaedrične, kubične in trištevne simetrije. Iz ikozaedrične simetrije izpeljemo petštevne in trištevne, iz kubične pa štiri-



Slika 32: Interpenetracijsko dvojčenje kuboiktaedričnih kristalov fluorita okoli trištevne osi rezultira v sploščenih kristalih s šestštevno simetrijo. Ploskve kocke so se zaradi dvojčenja spremenile v ploskve heksagonske bipiramide in so razporejene na obodu kristala. Oktaeder pa se je pretvoril v pinakoid, ki je največja ploskev na tem kristalu. Linije, ki se sekajo pod kotom 60 stopinj, so odraz razkolnosti po oktaedričnih ravninah. Kristal iz nahajališča Yao Gang Xian na Kitajskem meri 25 x 20 milimetrov. Slika: Mirjan Žorž.



Risba 23: Minerali s štirištevno kubično holomorfijo so pogosto zdvojnjeni vzdolž svoje trištevne osi. Nastali dvojčki imajo višjo šestštevno holomorfijo. Če imajo obliko kocke (A) kot na primer loparit, se po zdvoženju vse ploskve kocke **a** spremenijo v ploskve diheksagonske bipiramide **s**. Pri kuboooktaedrskih kristalih fluorita se ploskve oktaedra **o** pretvorijo v ploskvi pinakoida, ploskve kocke pa v ploskve heksagonske bipiramide **s** (B). Pri ploskovno bolj razgibanem fluoritovem kristalu (C) se vse ploskve rombskega dodekaedra **r** pretvorijo v ploskve diheksagonske bipiramide **s₁** in v ploskve prizme **d**. Ploskve oktaedra **o** se pretvorijo v ploskvi pinakoida **c**.

Risba: Mirjan Žorž.

števne in trištevne simetrije. Iz štirištevni simetriji izpeljemo dvoštevne simetrije in iz slednjih končno enoštevne. Zato smo kot osnovni simetrijski parameter razvrščanja kristalov uporabili njihovo števno. Šele potem smo upoštevali ostale lastnosti, kot so središča inverzije, ravnine simetrije in nižještevne osi.

Literaturni viri:

Žorž, M., Herlec, U., Kobler, G., 2006: *Dobrova pri Dravogradu – locus typicus dravita. Scopolia, Supplementum 3*: 241-244.

Ljubljana.

Žorž, M., 2002: *The Symmetry System*. Grosuplje: Samozaložba.

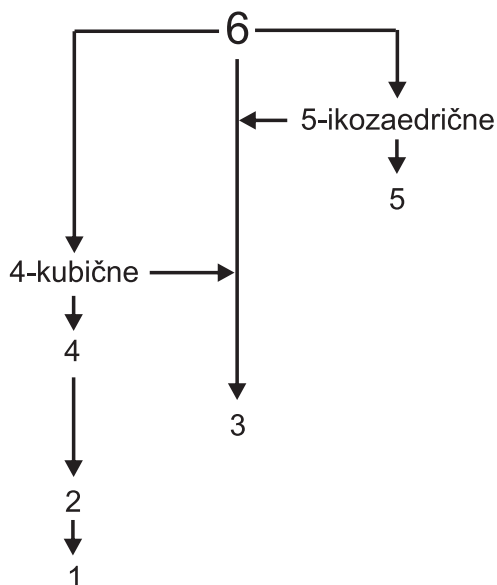
Žorž, M., Rečnik, A., Mirtič, B., Krivograd, F., 1998: *Morphology of wulfenite crystals from Mežica Mines. Materiali in geokolje*, 45 (3-4): 315-344.

Žorž, M., Rečnik, A., Podgornik, A., Kobler, G., 1996: *Septarijska mineralizacija pri Gornjem Štrihovcu. Proteus*, 58 (7): 291-299.

Žorž, M., 1994: *Pyroelectrically caused twisting of quartz crystals. Geologija*, 36. knjiga, 211-222.

Žorž, M., Rečnik, A., 1997: *Wulfenit. Proteus*, 59 (8): 344-352.

Grafenauer, F., 1974: *Kristalografija*. Univerza v Ljubljani.



Risba 24: Risba prikazuje drevo simetriji glede na njihovo števno n . Najvišja je šestštevna simetrija, ker vsebuje vse elemente petštevni ikozaedričnih in štirištevni kubičnih simetriji. Hkrati vsebuje tudi vse elemente trištevni simetriji. Petštevna ikozaedrična simetrija vsebuje vse elemente petštevni simetriji in hkrati tudi vse elemente trištevni simetriji. Podobno je pri štirištevni kubični simetriji, ki vsebuje vse elemente štirištevni simetriji in tudi vse elemente trištevni simetriji. Štirištevna simetrija vsebuje vse elemente dvoštevni simetriji, slednja pa vse elemente enoštevni simetriji. Risba: Mirjan Žorž.