

Spinelno dvojčenje kremenca s Slivnice

Mirjan Žorž, Igor Dolinar, Miha Jeršek, Rafael Šerjak, Gregor Kobler, Jože Pristavec

Kremen je med najbolj razširjenimi in najtemeljiteje preučeni minerali. Odkritje nove vrste kremenovih dvojčkov na Slivnici je zato veliko presenečenje, še posebej, ker imajo novoodkriti dvojčki obliko in simetrijo, ki sta značilni za spinelne dvojčke. V članku opišemo, kako, iz katerih simetrij in pri katerih mineralih lahko nastanejo spinelni dvojčki, s čimer razložimo tudi nastanek kremenovih dvojčkov spinelnega tipa.

Spinelno dvojčenje

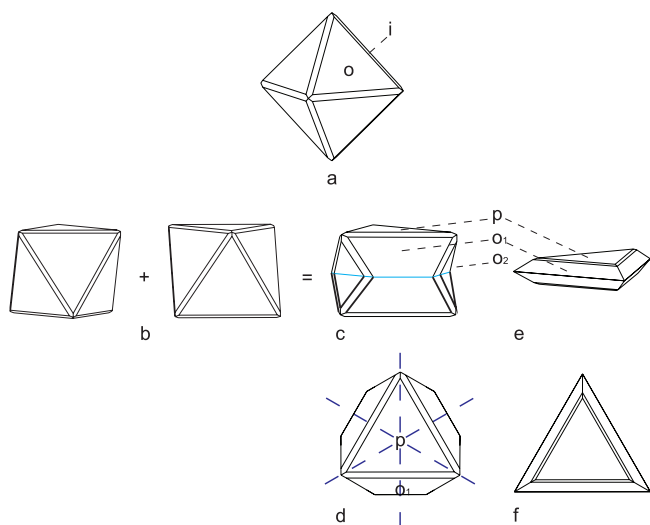
Spinel je magnezijev aluminijev oksid - MgAl_2O_4 , ki kristalizira v oktaedrih in v bolj ali manj sploščenih stičnih dvojčkih trikotne oblike. Ti so tako značilni, da so jih zaradi tega poimenovali spinelni dvojčki, način njihovega dvojčenja pa kot dvojčenje po spinelnem zakonu.



Spinelov stični dvojček, velik 12 x 8 milimetrov. Zgoraj in spodaj desno so dvojlični vpadni koti. Mogok v Burmi.
Zbirka: Mirjan Žorž. Foto: Igor Dolinar.

Spinel ima najvišjo štirištevno kubično simetrijo – holomorfijo – in točkovno skupino $\bar{m}3m$. Dvojči se tako, da se stakneta dve ploskvi oktaedra $\{111\}$. Simetrija dvojčka je drugačna, ker je trištevna. Med zdvojenima kristaloma nastanejo značilni vpadni koti, ki se z nadaljnjo rastjo lahko zarastejo, zato imajo spinelni dvojčki pogosto sploščeno trikotno obliko. Vsi spinelni dvojčki imajo eno vodoravno ravnino simetrije, ki je pravokotna na trištevno os, in tri ravnine simetrije, ki so vzporedne s to osjo in se med seboj sekajo pod kotom 120 stopinj. To simetrijo (točkovna skupina $6m2$) uvrščamo v sistem heksagonalnih simetrij.

Pogosto se dva oktaedrska kristala medsebojno prerasteta (interpenetrirata) preko dvojlične (111) ravnine. Nastali dvojček se bistveno razlikuje od stičnega dvojčka, ker je njegova simetrija višja od posameznih zdvojenih kristalov, saj je najvišja možna šestštevna holomorfija (točkovna skupina $6/mmm$). Tako zdvojeni kristali imajo eno ravnino simetrije, ki je



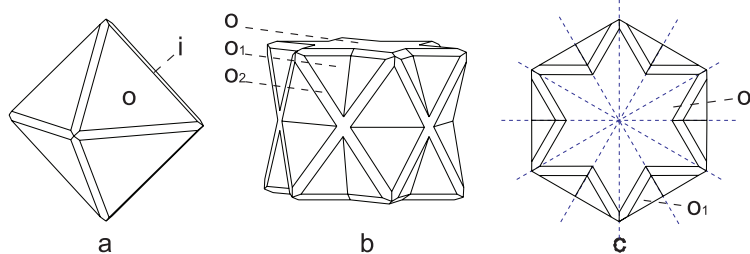
Kristale spinela (**a**) omejujejo ploskve oktaedra $o\{111\}$, ki jih po robovih odrežejo ploskve rombskega dodekaedra $i\{110\}$. Spinelni dvojček nastane, ko se dva oktaedrska kristala stakneta na eni izmed oktaedrskih ploskev **o**. Risba **b** prikazuje položaj kristalov pred dvojčenjem. Nastali dvojček (**c**) je sploščen v stični dvojčni ravni (označena v modrem); ta je vzporedna s terminalnima ploskvama pinakoida **p**, v kateri sta se preobrazili po ena oktaedrska ploskev vsakega od primarnih kristalov. Od ostalih ploskev primarnih oktaedrov so se trije pari spremenili v ploskve pozitivnih piramid o_1 , trije pa v ploskve negativnih piramid o_2 . Med ploskvami negativnih piramid o_2 nastanejo vpadni koti. Dvojček ima tri ravnine simetrije (označene z modrimi črtkanimi črtami), ki se sekajo pod kotom 120 stopinj. Prikazane so na risbi **d**, kjer je dvojček v projekciji, ki je pravokotna

na dvojnično (111) ravnino. Pri nekaterih dvojčkih se med rastjo vpadni koti popolnoma zarastejo, zato imajo enostavno obliko, ki jo prikazujeta risbi **e** in **f**. Risba: Mirjan Žorž.



Spinelni dvojček diamanta velikosti 7 x 7 milimetrov, ki ga omejujejo zaokrožene ploskve heksakisoktaedra $\{123\}$. Na levem posnetku je kristal v projekciji (001) , ki prikaže njegovo trištevno. Na desnem posnetku je fotografiran s strani, da je videti ravnino simetrije, ki poteka po njegovem obodu. Dobro vidni so tudi dvojčni vpadni koti v obliki vdolbin na obodu. Južnoafriška republika. Zbirka: Mirjan Žorž. Foto: Igor Dolinar.

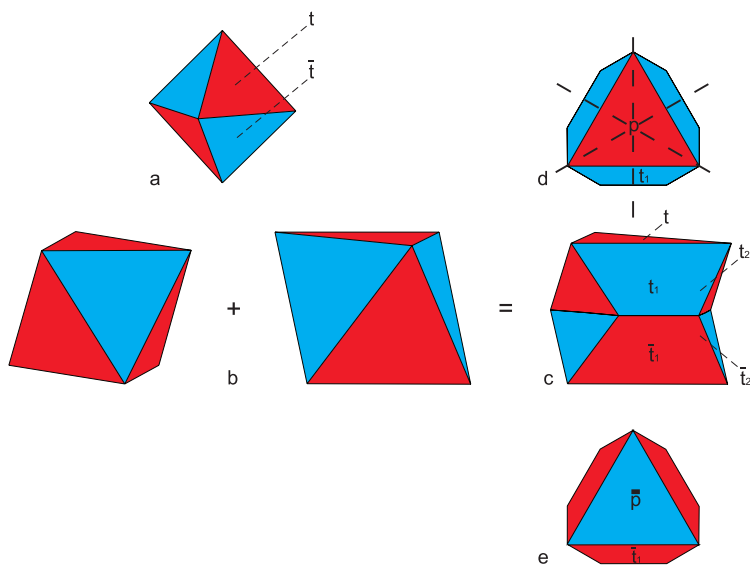
pravokotna na šestštevno os, in šest ravnin simetrije, ki so z njo vzporedne. Pri stičnih in preraščenih dvojčkih gre torej za dve povsem različni simetriji, zato šestštevni preraščeni dvojčki v doslednem pomenu ne moremo uvrstiti k troštevni stični spinelni dvojčki. Fluorit, galenit, loparit in platina pogosto kristalizirajo v preraščenih dvojčkih.



S preraščanjem dveh oktaedrov (a) preko dvojčične ravnine (111) nastanejo dvojčki z najvišjo 6-števno simetrijo. Risba b prikazuje nastali preraščeni dvojček. Trije pari ploskev oktaedra $o\{111\}$ se preoblikujejo v 24 ploskev bipiramide o_1 , trije pari pa v 12 ploskev negativne bipiramide o_2 . Dva para se spremenita v ploskvi pinakoida

p. Nastali dvojček ima šest ravnin simetrije, ki so vzporedne s 6-števno osjo in so prikazane na dvojčku v projekciji, ki je pravokotna na dvojčično ravnino (c). Risba: Mirjan Žorž.

V literaturi pogosto omenjajo minerale z nižjimi kubičnimi simetrijami, ki naj bi se tudi dvojčili po spinelnem zakonu. Značilna predstavnika sta sfalerit in redkejši metacinabarit, ki imata dvoštevno kubično sfenomorfnost simetrijo (točkovna skupina $4m2$). Njuni kristali so navidezno oktaedrične oblike, vendar pa ima polovica ploskev drugačen sijaj in vzorec kakor druga polovica, prva polovica pripada namreč pozitivnemu tetraedru $t\{111\}$, druga pa negativnemu tetraedru $\bar{t}\{111\}$. Dvojčenje poteka tako, da se stakneta ploskev pozitivnega tetraedra enega kristala in ploskev negativnega tetraedra drugega kristala. Nastali dvojček ima trištevno simetrijo, ki pa nima ravnine simetrije, ki je pravokotna na trištevno os. Zato sodi med trigonalne simetrije hemimorfnega tipa (točkovna skupina $3m$). Stičnih dvojčkov teh dveh mineralov zato ne moremo uvrstiti med spinelne dvojčke.



Pri kristalih sfalerita in metacinabarita se ena polovica ploskev razlikuje od druge polovice, ki so na risbi a prikazane v rdečem oziroma modrem, ker pripadajo pozitivnemu tetraedru $t\{111\}$ oziroma negativnemu tetraedru $\bar{t}\{111\}$. Risba b prikazuje položaj obeh kristalov pred dvojčenjem. Stično zdvojen kristal po ploskvi (111) enega in po ploskvi $\{111\}$ drugega kristala ima enako obliko kot spinelni dvojček, nima pa ravnine simetrije, ki je pravokotna na trištevno os (c). Dvojček ima zato trištevno hemimorfno simetrijo. Ena ploskev pozitivnega tetraedra na prvem kristalu se je preobrazila v zgornji pedion p, ena ploskev negativnega tetraedra na

druhem kristalu pa v spodnji pedion $\bar{p}$. Risba d predstavlja projekcijo dvojčka v ravnini zgornjega p, risba e pa v projekciji spodnjega pediona $\bar{p}$. Risba: Mirjan Žorž.

Vsaka simetrija, ki ima trištevno os in tri z njo vzporedne simetrijske ravnine, lahko ustvarja dvojčke spinelnega tipa. Take simetrije prikazuje sledeča tabela.

Primarna simetrija	Točkovna skupina	Ravnina dvojčenja	Mineral
4-števna kubična holomorfija	$m\bar{3}m$	(111)	alabandit, baker, diamant, fauyasit, magnetit, siegenit, spinel, srebro
2-števna kubična sfenomorfija	$\bar{4}m2$	(111) ali ($\bar{1}\bar{1}1$)	marshit
3-števna trigonalna holomorfija	$\bar{3}m$	(001)	kalcit, magnezit, rodohrozit, siderit
3-števna trigonalna hemimorfija	3m	(001) ali ($00\bar{1}$)	spangolit

Simetrije, ki lahko dajo dvojčke spinelnega tipa. Najpogostejši so v obeh holomorfijah. Pri 2-števni kubični sfenomorfiji sta možni dve vrsti spinelnih dvojčkov. Pri prvi pride do dvojčenja na ploskvah pozitivnega tetraedra (111), pri drugi pa na ploskvah negativnega tetraedra ($\bar{1}\bar{1}1$). Dvojčenje pri obeh tetraedrih je znano pri marshitu iz rudnika Rubcovskoje v Rusiji. Pri trištevni trigonalni hemimorfiji je možno dvojčenje vzdolž ploskev zgornjega (001) oziroma spodnjega pediona ($00\bar{1}$). Znani so spinelni dvojčki spangolita po spodnjem pedionu.

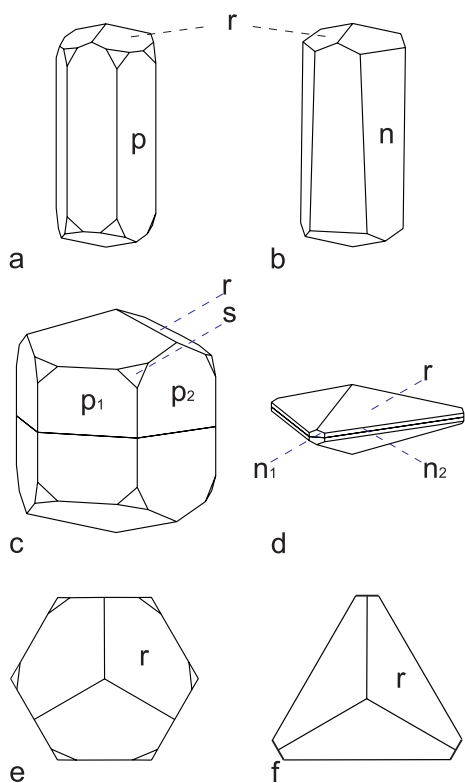
Obe kubični simetriji imata vzdolž trištevni osi popolnoma enake simetrijske lastnosti kakor obe trištevni trigonalni simetriji, zato imajo tudi stični dvojčki vseh štirih simetrij enake simetrijske lastnosti in obliko.

Med minerali s trištevno holomorfijo je najpogostejši kalcit, ki je velikokrat stično zdvojen po ploskvi pinakoida {001}. Nastali dvojček ima enake simetrijske lastnosti kot stični spinelni dvojček in v nekaterih primerih tudi popolnoma enako trikotno sploščeno obliko.



(001) stični dvojček kalcita spinelnega tipa z dobro vidnim dvojčičnim šivom. Širši zgornji ploskvi strmega negativnega romboedra $n_2\{0kl\}$ sta rahlo izbočeni. Na vbočenih ožjih ploskvah strmega pozitivnega romboedra $n_1\{h0l\}$ so simetrijsko značilne trikotne ploskve, ki pripadajo negativnemu skalenoedru $s\{21\bar{1}\}$. Na terminaciji so narebrene ploskve negativnega položnega romboedra $r\{012\}$. Velikost dvojčka je 27 x 25 milimetrov. Daye v provinci Hubei na Kitajskem. Zbirka: Gregor Kobler.

Foto: Igor Dolinar.



Kalcit ima trištevno holomorfno simetrijo. Če se dva prizmatska kristala kalcita (**a**) zdvojčita tako, da se stakneta v ravnini (001), pri čemer se istočasno v tej ravnini drug proti drugemu zavrtita za 60 stopinj, nastane dvojček s trištevno simetrijo. Če ima osnovni kristal razvite ploskve prizme $p\{100\}$, je nastali dvojček prizmatske oblike (**c**). Zgornji – pozitivni deli ploskev prizme $p\{100\}$ se po dvojčenju preobrazijo v ploskve prizme $p_2\{010\}$, spodnji – negativni deli pa v ploskve prizme $p_1\{100\}$. Na dvojčku so razvite še ploskve negativnega položnega romboedra $r\{012\}$ in simetrijsko značilne ploskve negativnega skalenoedra $s\{21\bar{1}\}$. Pri kristalih (**b**), ki so omejeni s ploskvami strmih negativnih romboedrov $n\{0kl\}$, lahko nastanejo sploščeni dvojčki trikotne oblike (**d**) zato, ker se pozitivni del negativnega strmega romboedra preoblikuje v ozke ploskve strmega pozitivnega romboedra $n_1\{h0l\}$, njegov negativni del pa v široke ploskve strmega negativnega romboedra $n_2\{0kl\}$. Risbi **e** in **f** prikazujeta dvojčka v projekciji (001). Risba: Mirjan Žorž.

Slivnica

Septembra leta 2012 sta dva od avtorjev (Rafael Šerjak in Mirjan Žorž) šla na Slivnico, da bi ugotovila, kje se pojavljajo kremenovi kristali, in jih nekaj tudi nabrala. Po čiščenju v ultrazvočni kopeli je Mirjan Žorž pod mikroskopom pregledal njihove morfološke značilnosti. Bolj zanimivi so manjši kristali, ker so lahko lepo razviti v obliki šeststranih prizem z značilnimi romboedriskimi terminacijami. Nekateri imajo zelo gladke ploskve, na katerih

je vidna menjavajoča se lamelnost v obliki širokih črk »V«, ki potrjuje brazilski tip dvojčenja. Po pričakovanju je bilo med nabranimi kristali kar precej brazilskih dvojčkov.



Brazilski dvojček kremenca s Slivnice. Na zgornji ploskvi prizme je vzorec v obliki črke »V«, katere vrh je usmerjen proti levi, na sosednji desni ploskvi pa je podoben vzorec usmerjen proti desni romboedriski terminaciji kristala. To je značilen vzorec dvojčičnih lamel, ki nastane pri dvojčenju brazilskega tipa. 16 x 10 milimetrov. Zoisova zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Igor Dolinar.

Na enem izmed najdenih kristalov je bil vzorec, ki so ga povzročale lamele, drugačen, ker se je zrcalil v sredini prizemske ploskve oziroma v ravnini (001). Na vsaki drugi ploskvi so bile lamele v obliki črke »V« obrnjene druge proti drugim s svojimi vrhovi, na sosednjih ploskvah pa druge proti drugim s svojimi odprtimi deli. Na sredini kristala, kjer so se lamele zrcalile, je bila ozka zareza, kakršna nastane pri kontaktnem dvojčenju po ploskvi oziroma ravnini (001). Tudi ploskve na obeh terminacijah kristala so bile nekaj posebnega. Vsaka druga ploskev je bila motna oziroma gladka. Vse opisane lastnosti so se ponavljale v trištevem vzorcu in se istočasno zrcalile v ravnini (001), kar je značilnost trištevne heksagonalne sfenomorfije. To pa nedvoumno potrjuje, da je kremenov kristal stično zdvojen po spinelnem zakonu.



Spinelni dvojček kremenov s Slivnice. Na prizemski ploskvi je viden štirikotni vzorec dvojčičnih lamel, ki je nastal tako, da so se lamele v obliki črke »V« s svojimi odprtimi deli obrnile druge proti drugim in se staknile v ravnini dvojčenja. Velikost kristala 12 x 7 milimetrov.

Zbirka: Mirjan Žorž.

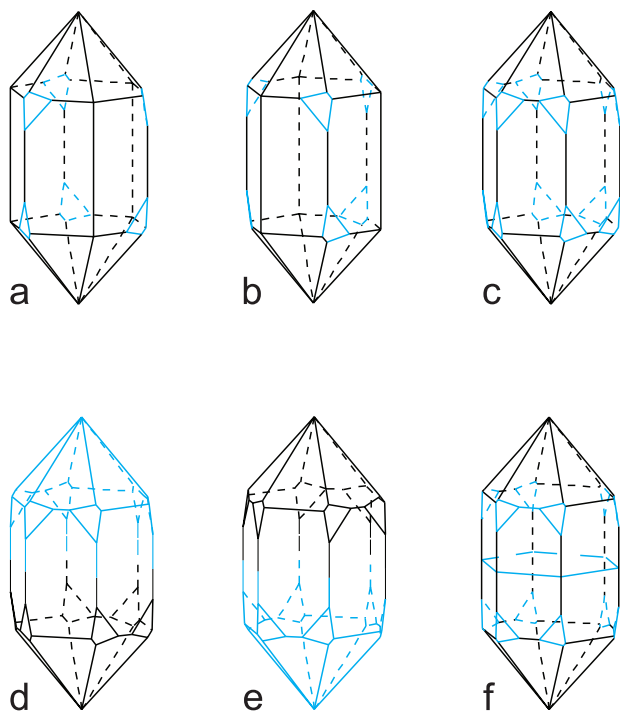
Takih dvojčkov kremenov doslej še nikjer niso našli ali opisali, zato je bilo treba preveriti, če ne gre morda za naključje. Pregled najdenih kristalov v zbirkah avtorjev in v Zoisovi zbirki Prirodoslovnega muzeja Slovenija je razkril še nekaj takih, ki so imeli zgoraj opisane znake dvojčenja tega tipa, in še ne-

katere druge, kar je nedvoumno potrdilo pojavljanje teh dvojčkov na Slivnici, ki je tako prvo nahajališče na svetu, v katerem so bili najdeni in na tem mestu tudi prvič opisani.

Simetrija in dvojčenje kremenov

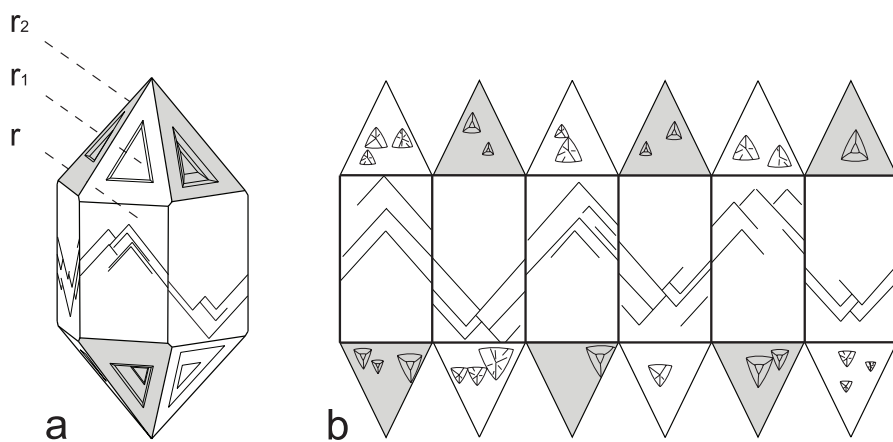
Osnovna simetrija kremenov je trištevna trigonalna enantiomorfija (točkovna skupina 32), zaradi katere obstajajo levi in desni kristali kremenov. Na Slivnici take kristale tudi najdemo, če imajo na ploskvah romboedrov vidne lamele, ki so levo oziroma desno orientirane. Bistveno pogostejši pa so brazilski dvojčki z opisano V-lameliranostjo. Ti nastanejo s preraščanjem dveh kristalov, od katerih ima eden levo in drugi desno orientacijo. Simetrija brazilskega dvojčka je trištevna trigonalna holomorfija, torej enaka, kakor jo ima kalcit. Če pa ima tako simetrijo, je samo vprašanje okoliščin, pri katerih se brazilsko zdvojen kremen zdvoji še po spinelnem zakonu. Očitno so bile razmere na Slivnici za to ustrezne.

Prevlada biterminiranih kremenovih kristalov na Slivnici kaže na to, da so se primarno obarjali iz raztopin ali pa so kristalili v sami kamnini. Najpogosteje pri tem nastanejo brazilski dvojčki, v redkih primerih pa se dva brazilska dvojčka ob istočasni rotaciji za 60 stopinj stakneta v ravnini (001) in tako nastane tako imenovani klinasti stični dvojček s simetrijo spinelovega dvojčka.

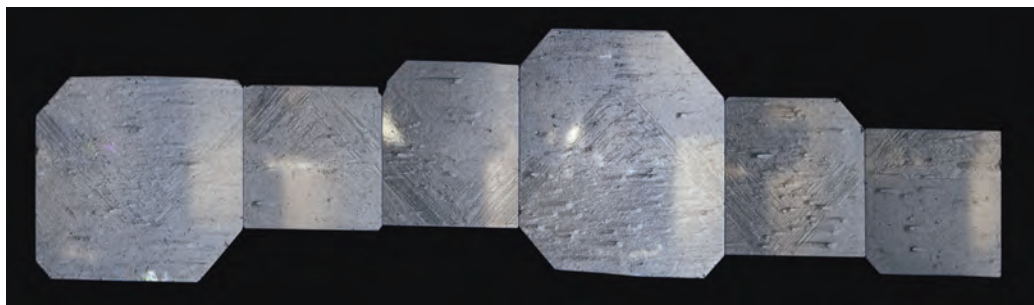


Kristali kremenena imajo trištevno trigonalno enantiomorfno simetrijo, za katero so značilni levi (**a**) oziroma desni (**b**) analogi, ki nimajo nobene ravnine simetrije. S preraščanjem desnega in levega kristala nastane brazilski dvojček, ki ima najvišjo možno trigonalno simetrijo (**c**) s tremi ravninami simetrije, ki so vzporedne s trištevno osjo, nima pa ravnine simetrije, ki je pravokotna na to os. V naslednji fazi se kontaktno zdvojčita dva brazilska dvojčka (**d** in **e**) in nastane tako imenovani klinasti dvojček, ki ima simetrijo spinelnega dvojčka (**f**), za katero so značilne tri ravnine simetrije, ki so vzporedne s trištevno osjo, in ena, ki je nanjo pravokotna. V tej ravnini se razvije dvojčični šiv. V spinelnem kremenovem dvojčku sta tako kontaktno združena po dva para levih in desnih analogov. Na risbah so le zaradi nazornosti simetrije posameznega kristala oziroma dvojčka v modrem prikazane simetrijsko značilne ploskve trapezoidov, ki pa na slivniških kristalih niso razvite.

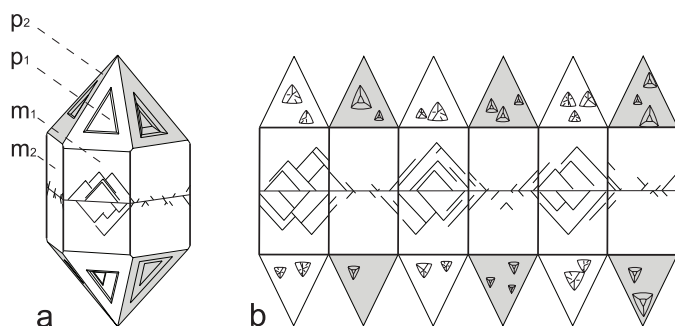
Risba: Mirjan Žorž.



Morfološka analiza brazilsko zdvojenega kremenovega kristala s Slivnice. Zdvojeni kristal po brazilskem zakonu ima na terminacijah razviti dve vrsti ploskev romboedrov $r_1\{101\}$ in $r_2\{011\}$ (**a**). Obod kristala (**b**) sestavlja šest ploskev prizme $m\{100\}$, na katerih so razvite dvojčične lamele, ki so značilne za to vrsto dvojčenja in kažejo s svojimi vrhovi izmenjaje proti eni oziroma drugi terminaciji. Na ploskvah obeh vrst romboedrov so različne vicinalne ploskve. Pozitivni romboedri r_1 so gladki, medtem ko so negativni r_2 motni. Nazorna je odsotnost zrcalne simetričnosti v ravnini (001) . Risba: Mirjan Žorž.



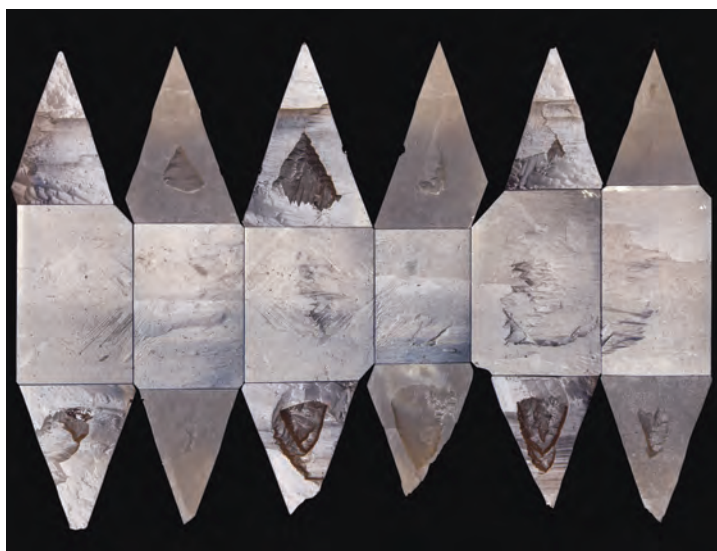
Fotografija plašča prizemskih ploskev brazilsko zdvojenega kristala s fotografije na strani 462. Na ploskvah je zelo lepo razvita dvojčična lameliranost v obliki črke »V«, ki izmenjuje kaže proti eni oziroma drugi terminaciji kristala. Foto: Igor Dolinar.



Morfološka analiza spinelno zdvojenega kremenovega kristala s Slivnice.

Zdvojeni kristal ima razvit dvojčični šiv, ki poteka po sredini kristala (a). Obod kristala sestavljajo tri ploskve prizme $m_1\{100\}$, na katerih je zrcalno simetrični vzorec dvojčičnih lamel, ki so s svojimi vrhovi obrnjene proti terminacijama, in tri ploskve prizme $m_2\{010\}$, na katerih je slabše razvit vzorec dvojčičnih lamel, ki kažejo s svojimi vrhovi proti dvojčičnemu šivu. Na vsaki terminaciji so razvite po tri gladke ploskve piramide $p_1\{101\}$ in tri motne ploskve bipiramide $p_2\{011\}$. Na

vsaki od ploskev obeh piramid so razvite še značilne vicinalne ploskve. Tako različni sijaj ploskev obeh bipiramid kakor tudi različne vicinalne ploskve na njih so zrcalno simetrični glede na ravnino dvojčenja (b). Risba: Mirjan Žorž.



Fotografija plašča prizemskih in bipiramidalnih ploskev brazilsko zdvojenega kristala s fotografije na strani 463. Simetrični vzorec dvojčičnih lamel je dobro viden na prvi in tretji ploskvi prizme m_1 z leve, na drugi z desne pa nekoliko manj zaradi skeletiranosti. Dvojčični šiv je bolj izrazit na ploskvah prizme m_2 , na katerih pa so dvojčične lamele, ki se stikajo s svojimi vrhovi, manj izrazite. Ploskve piramid p_1 so gladke, medtem ko so ploskve bipiramid p_2 motne, oboje pa so simetrične glede na dvojčično ravnino, ki poteka po sredini kristala. Na gladkih ploskvah bipiramide p_1 so vidne vicinalne ploskve. Foto: Igor Dolinar.



Nekateri kristali s Slivnice nimajo gladkih prizemskih ploskev, ker so na njih izrazite vicinalne ploskve. Zato se na takih kristalih dvojčične lamele niso razvile. Dobro pa je viden dvojčični šiv in različna odsevnost na ploskvah kristala na levem posnetku. Kljub temu pa je tudi na takih kristalih mogoče ugotoviti spinelni tip dvojčenja. Pri tem nam pomagajo ravno vicinalne ploskve, ki so s svojimi vrhovi obrnjene druge proti drugim, na sosednji ploskvi pa proti terminacijam, kakor je razvidno na desnem posnetku. Ta vzorec se ponovi trikrat in je ravno tako simetričen v dvojčični ravnini. Različna odsevnost na ploskvah nastane zato, ker so

ploskve izmenjaje rahlo nagnjene (vbočene) proti dvojčičnemu šivu oziroma (izbočene) proti terminacijama. Izbočena desna zgornja ploskev na desnem posnetku je nagnjena proti terminaciji, vbočena leva spodnja pa proti šivu, zato imata obe enako odsevnost. Ravno obratno velja za levo zgornjo in desno spodnjo ploskev, zato imata drugačno odsevnost kot drugi dve, kar se kaže v zanimivem vzorcu. To je obenem dokaz, da te ploskve ne pripadajo prizmam, temveč zelo strmemu romboedru. Kristal meri 11 x 3 milimetrov. Zbirka: Jože Pristavec. Foto: Igor Dolinar.

Zaključek

Lepo razviti spinelni dvojčki kremenca s Slivnice so redki. Razlog je v kompleksnem mehanizmu dvojčenja in razgibanosti kristalov. Čim večji so kristali, tem bolj so ploskve neravne in skeletirane. Pri velikih kristalih se zaradi tega morfološki znaki dvojčenja ne razvijejo ali pa jih prekrijejo vdolbine in narebrenost na ploskvah. Dvojčenje zato najbolje opazimo na manjših kristalih z gladkimi ploskvami. Lameliranost je neizrazita in jo najlažje zaznamo v svetlobi, ki se od ploskve odbija pod zelo majhnim kotom. Podobno je z vicinalnimi ploskvami in motnostjo ploskev na terminacijah. Najbolj očiten znak kontaktnega dvojčenja so dvojčični šiv in odsevi prizemskih ploskev na nasprotnih straneh tega šiva. Ploskve so lahko izmenjaje tudi rahlo vbočene oziroma izbočene, zato se odsevi ne pojavijo na obeh staneh šiva hkrati. V takem primeru kristali nimajo razvitih ploskev prizem, temveč ploskve zelo strmih romboedrov. Redko so prizemske ploskve pokrite le z vicinalnimi ploskvami v značilnem menjajočem se vzorcu, ki je simetričen v ravnini dvojčičnega šiva.

Pri nas so nahajališča podobnih kremenovih kristalov še v okolici Logatca, Vojskega in Turjaka, vendar tam dvojčkov spinelnega tipa še nismo našli. Tudi po svetu je več nahajališč (Marmaros na Madžarskem, Herkimer v državi New York v Združenih državah Amerike, Mirabeau v Franciji, Oehrli v Švici, Balučistan v Pakistanu ...), v katerih so kristali podobnega izvora, zato bi kremenove spinelne dvojčke morda sčasoma našli še kje.

Viri:

Žorž, M., 2013, 2014: *Razvrščanje kristalov po njihovih oblikah*. Proteus, 76 (3, 4, 5, 6, 7).

Žorž, M., 2009: *Die ungewöhnlichsten Quarzwillinge der Welt*, Quarz. Extra Lapis No. 37, 29-35. München: Christian Weise Verlag.

Rečnik, A., Šerjak, R., Vidrih, R., Mikuž, V., 2007: *Nahajališča kremenovih »diamantov« v okolici Cerknice. Nahajališča mineralov v Sloveniji*, 219-230. Ljubljana: Institut Jožef Stefan.

Jeršek, M., Žorž, M., 2006: *Kremen iz okolice Cerknice*.

Mineralna bogastva Slovenije. Scopolia, Suppl. 3: 410–412. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije.

Žorž, M., 2004: *Kremenovi dvojčki preraščanja*. Proteus, 67: 62-72. Ljubljana.

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

Rykart, R., 1989: *Quarz-Monographie*. Thun: Ott Verlag.

Fron del, C., 1962: *The System of Mineralogy, Volume III – Silica Minerals*. New York: John Wiley and Sons Inc.