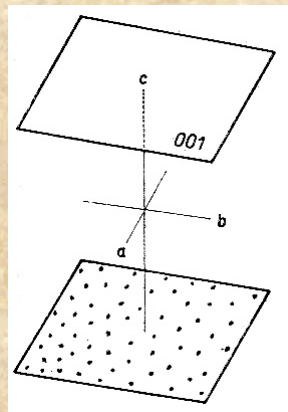


Strukturní krystalografie



Morfologická krystalografie

Forma výskytu minerálů

Krystal, charakteristický pro jednotlivé minerály, je vlastně geometrický mnohostěn, více či méně pravidelný.

Krystalické substance (minerály) se mohou vyskytovat také jako jemně zrnité agregáty, jejichž krystalický původ nelze určit makroskopicky. Rozlišujeme agregáty:

- *mikrokrystalické*
- *kryptokrystalické*
- *amorfní*

Omezení tělesa krystalu

Počet ploch, hran a rohů na tělese krystalu je dán *Eulerovou rovnicí*, která je platná pouze pro monokrystaly:

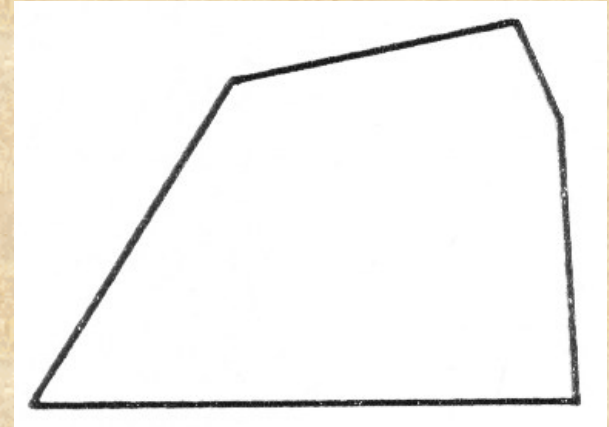
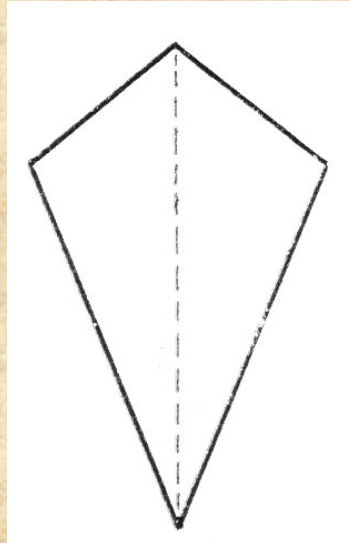
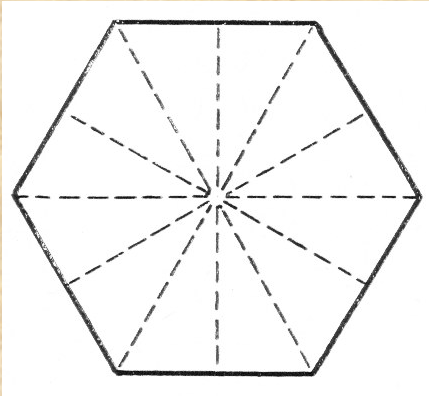
$$\mathbf{P + R = H + 2}$$

Počet ploch a rohů na krystalu je roven počtu hran, zvýšený o 2.

Krystalové plochy

Podle symetrie rozeznáváme plochy

- ❖ *pravidelné*
- ❖ *souměrné*
- ❖ *nesouměrné*



Krystalové rohy a hrany

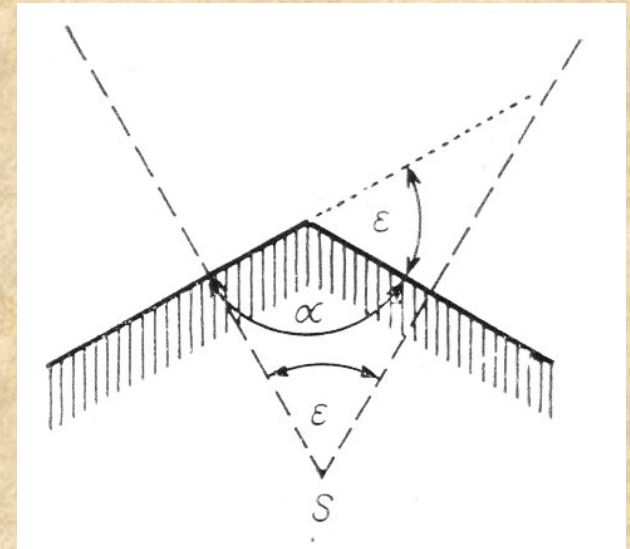
Krystalové rohy dělíme podobně jako plochy na *pravidelné*, *souměrné* a *nesouměrné*.

Skutečná krystalová hrana je místo na krystalu, kde se přímo setkávají dvě různoběžné krystalové plochy.

Pokud se plochy nestýkají přímo, hovoříme o hraně myšlené.

Prostorový vztah stýkajících se ploch označujeme pomocí úhlu krystalové hrany.

Vnitřní úhel hrany (α) je úhel mezi vnitřními stranami ploch, **vnější úhel hrany** (ε) je doplněk vnitřního úhlu do 180° .



Stálost úhlů hran

Úhly hran krystalu jsou charakteristické veličiny pro danou látku. Tuto zákonitost formuloval v roce 1669 Niels Stensen:

Velikost úhlů hran, tvořených stejnolehými plochami, je na všech krystalech téže látky za stejných podmínek veličinou stálou.

Vznik krystalů - krystalizace

Krystaly mohou vznikat z roztoků, tavenin nebo par.

Pokud má krystalizace plynule probíhat, musí být dodržena některá z následujících podmínek:

- ✓ snižuje se teplota roztoku nebo taveniny
- ✓ zvyšuje se koncentrace krystalizujícího roztoku odpařováním rozpouštědla
- ✓ dosycuje se krystalizující roztok krystalizující látkou

Krystalizace z plynné fáze

Krystalizace z par je nejméně běžný případ vzniku minerálů.

Proces tvorby síry ze sopečných par se označuje jako *sublimace*. Oxid siřičitý uvolněný v magmatickém procesu se redukuje reakcí s oxidem uhelnatým za vzniku ryzí síry. Ta se v plynném stavu dostává na povrch, kde krystalizuje na chladnějších místech.

Krystalizace z roztoku

Budeme-li rozpouštět kamenec, dojdeme do stadia, kdy zůstává v roztoku nerozpustný zbytek a mezi pevnou fází a roztokem vzniká rovnovážný stav. Roztok bude při dané teplotě *nasycený*.

Zvýšením teploty nasyceného roztoku se stává roztok *nenasyceným*, protože rozpustnost pevné látky se zvyšuje s teplotou.

Budeme-li z nasyceného roztoku odpařovat vodu nebo snažíme-li jeho teplotu dostaneme *přesycený* roztok. Z přesyceného roztoku může dojít ke krystalizaci přirozené nebo uměle vyvolané.

K samovolné krystalizaci dojde v případě, že vzniknou krystalizační jádra – nuklea.

Krystalizace z taveniny

Podobně jako u roztoků i v tavenině je při krystalizaci důležitou veličinou teplota. V geologických procesech mluvíme o magmatické tavenině, která je systémem zpravidla 10 – 15 hlavních komponent. Proces krystalizace z magmatu probíhá zpravidla postupně a jednotlivé fáze (minerály) vznikají v závislosti na fyzikálně chemických podmínkách prostředí.

Základem pro krystalizaci pevné fáze je opět vznik krystalizačního jádra – zárodku, který se zvětšuje apozicí iontů prvků přítomných v magmatu.

Krystalizace v pevném stavu

Krystalizace v pevném stavu může probíhat především v nestabilních systémech jako jsou látky s neuspořádanou vnitřní stavbou – látky amorfní.

Domény stavebních jednotek mohou posloužit jako krystalizační zárodky, které jsou základem pro postupnou rekystalizaci v pevném stavu.

Výsledné krystaly mají často radiálně paprscité uspořádání a jehlicovité krystaly tvoří sférolity.

Růst krystalů I

Některé minerály jsou vyvinuty v dokonalých krystalech, jiné mají vyvinutou jen část krystalových ploch nebo je vyvinuty vůbec nemají. Tvar krystalu je ovlivněn podmínkami během krystalizace. Jsou to zejména tyto:

- dostatek atomů nebo iontů nezbytných pro vznik krystalu a možnost slučovat se v odpovídajících poměrech
- fyzikálně chemické podmínky krystalizace, které mají vliv zejména na rychlost růstu
- velikost prostoru, ve kterém ke krystalizaci dochází

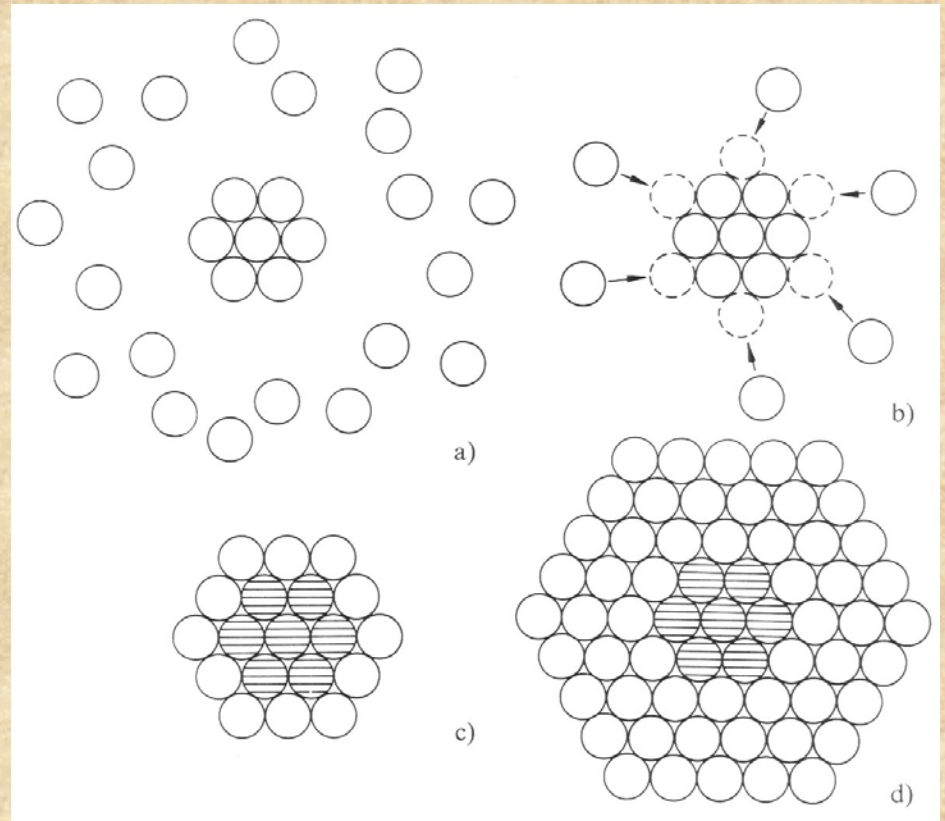
Růst krystalů II

Prvním krokem při růstu krystalů je vznik **krystalizačního jádra** (zárodek, nukleus) v roztoku. V roztocích nenasycených nebo nasycených znamená vznik zárodku zvýšení volné energie. V přesyceném roztoku je zárodek, který překročí určitý rozměr, termodynamicky stabilní a jeho růst je doprovázen snižováním volné energie.

Další krystalizace rozpuštěné látky je provázena zmenšením její koncentrace v roztoku a *proces nukleace* je tím bržděn.

Růst krystalů III

Růst krystalu probíhá
přikládáním stavebních
částic na povrch - *apozicí*.
Energie povrchu se sníží,
pokud se na něj připojí atom
a množství uvolněné
energie závisí na místě, ve
kterém se atom připojí.
Pokud je například
energeticky nejvýhodnější
připojení v rohu krystalu,
dochází k rychlému růstu
právě v těchto směrech a
vznikají *dendrity*.



Růstová rychlost krystalu I

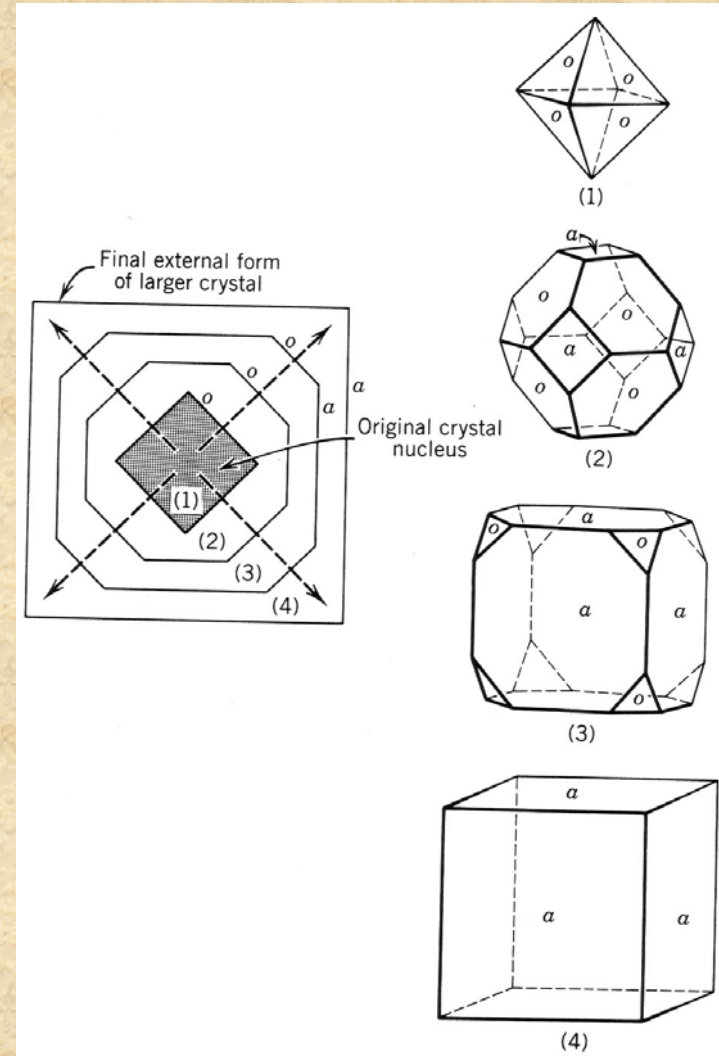
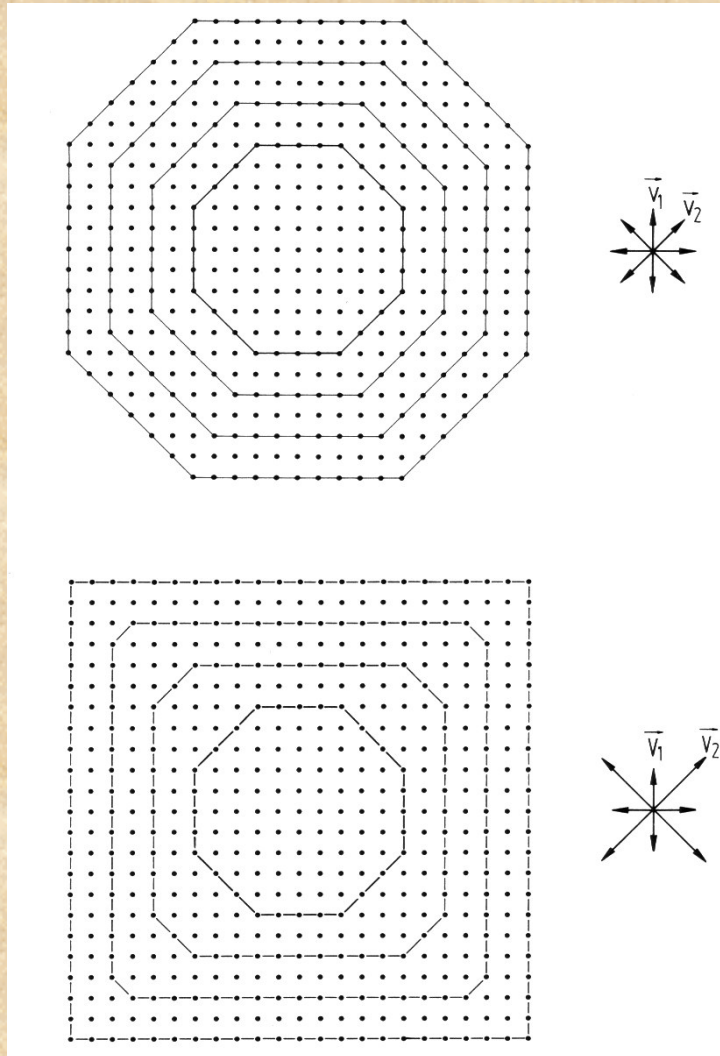
Na zárodku budoucího krystalu se nejdříve vytvářejí plochy s nejvyšší retikulární hustotou a během růstu se mohou otupovat jejich hrany a rohy plochami s nižší retikulární hustotou.

Kolmice spuštěné ze zárodečného bodu na krystalové plochy udávají **růstové směry** těchto ploch. Rychlost postupu dané plochy při jejím růstu se označuje jako *růstová rychlost*.

Plochy se stejným tvarem a růstovou rychlostí označujeme jako fyzikálně a krystalograficky stejnocenné. Objeví-li se plochy s jiným tvarem a jinou růstovou rychlostí, jsou vůči původním plochám různocenné.

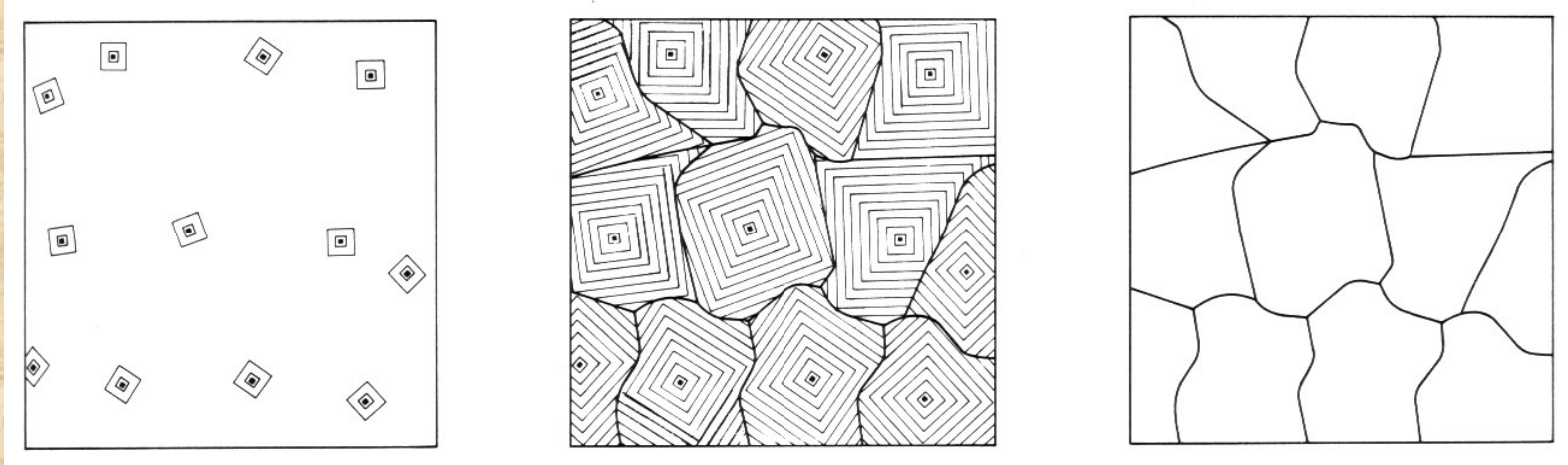
Plochy s velkou růstovou rychlostí (malá retikulární hustota) jsou postupně potlačeny nebo zcela zanikají, zatímco plochy s malou růstovou rychlostí na výsledném krystalu převažují.

Růstová rychlost krystalu II



Krystalické agregáty

V případě vzniku velkého množství zárodků během krystalizace dochází k jejich srůstání ve zcela nahodilých plochách a vzniká krystalický agregát.



Morfologie krystalů

Těleso krystalu je tvořeno opakováním základní strukturní jednotky v trojrozměrném prostoru. Úhlové vztahy, jeho velikost a tvar ploch tvoří **morfologii krystalu**. Morfologie krystalu dané látky závisí na vnějších podmínkách při krystalizaci.

Díky různým podmínkám během krystalizace se může reálný tvar krystalu velmi lišit od ideálního geometrického tvaru. Tyto zcela běžné odchylky se označují jako různoměrný vývin krystalů.

Podle typu ploch na krystalu rozlišujeme:

- ❑ *jednoduchý tvar*
- ❑ *spojku*

Symetrie krystalů

Vnější forma krystalů odráží přítomnost nebo nepřítomnost prvků symetrie. Na celkové symetrii krystalů se podílejí pouze ty prvky symetrie, které *neobsahují translaci*.

Na základě kombinace beztranslačních prvků symetrie lze odvodit 32 bodových grup (krystalových oddělení), které vyjadřují symetrii všech přírodních krystalů.

Některé bodové grupy mají společné charakteristiky. Ty se potom spojují do **krystalových soustav**.

Krystalografické osy

Popis každého krystalu se provádí vzhledem k referenčním osám, které se běžně označují jako *krystalografické osy*. V ideálním případě jsou krystalografické osy rovnoběžné s hranami základní buňky.

U většiny krystalových soustav se osy označují jako x , y , z . Obecně má každá osa jinou délku a konec každé osy je označen plus nebo minus. Úhly mezi osami jsou konvenčně značeny jako α , β , γ . Modelem, který znázorňuje symetrii v každé soustavě je krystalografický osní kříž.

Často se soustavy člení do skupin:

- ✓ soustavy vyšší kategorie (kubická),
- ✓ střední kategorie (trigonální, hexagonální, tetragonální),
- ✓ nižší kategorie (rombická, monoklinická, triklinická).

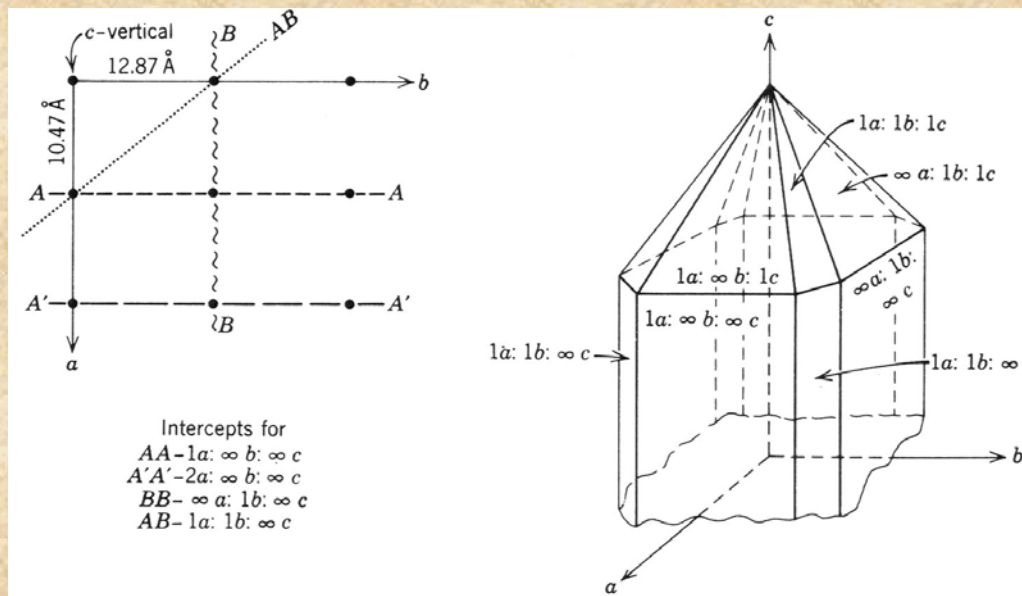
Horizontální osy označujeme někdy jako osy pasné. Dvěma osami prochází tzv. **osní rovina**.

Základní krystalové plochy

Podle polohy krystalových ploch vůči krystalografickým osám, můžeme vyčlenit typy ploch:

- ❖ jednoúsekových
- ❖ dvojúsekových
- ❖ trojúsekových

Úseky vyjadřují vždy jen relativní vzdálenosti. Každá plocha na krystalu odpovídá souboru rovin ve struktuře.



Základní krystalové plochy

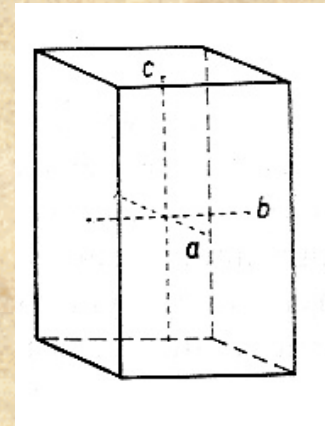
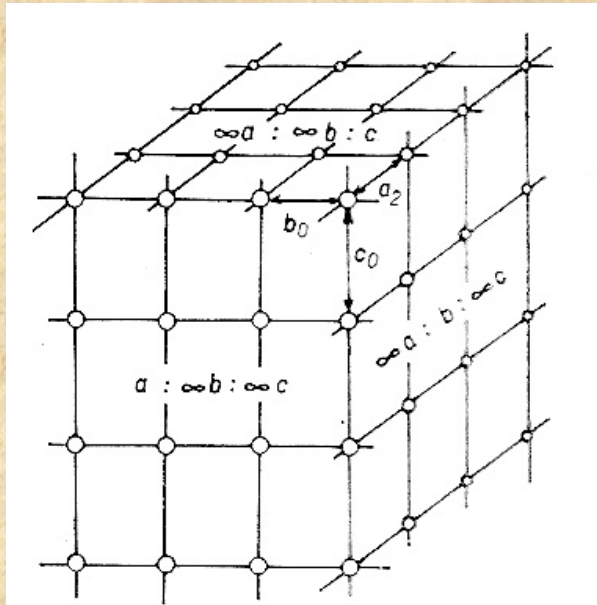
Příklad **jednoúsekových** ploch na krystalu a odpovídající situace ve struktuře krystalu.

Jednoúsekové plochy mohou vytínat na osách následující parametry:

$$a : \infty b : \infty c$$

$$\infty a : b : \infty c$$

$$\infty a : \infty b : c$$



Základní krystalové plochy

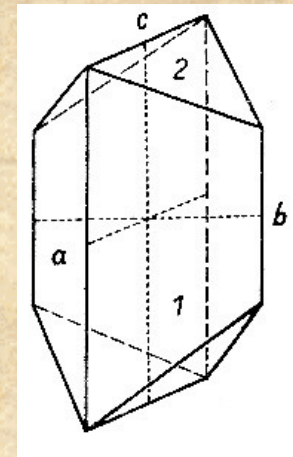
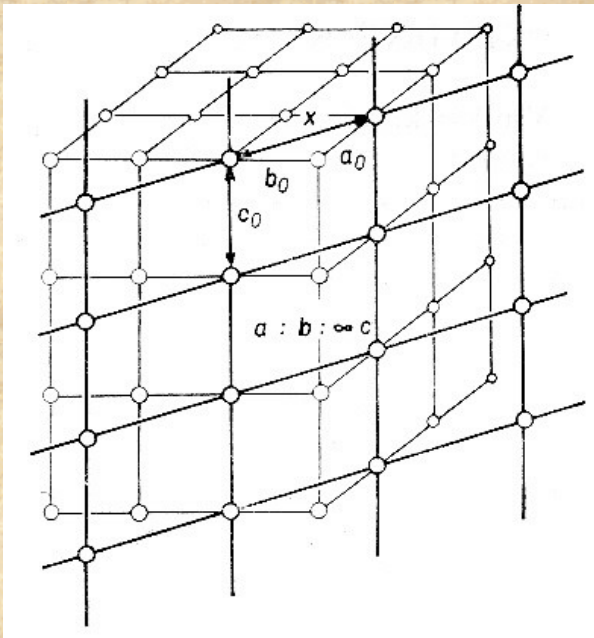
Příklad **dvojúsekových** ploch na krystalu a odpovídající situace ve struktuře krystalu.

Dvojúsekové plochy mohou vytínat na osách následující parametry:

$$a : b : \infty c$$

$$a : \infty b : c$$

$$\infty a : b : c$$

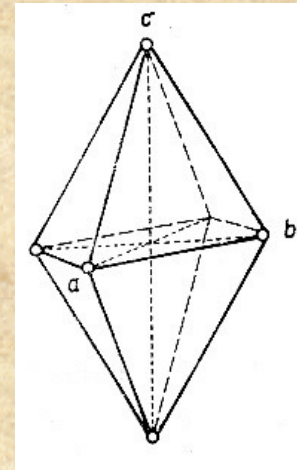
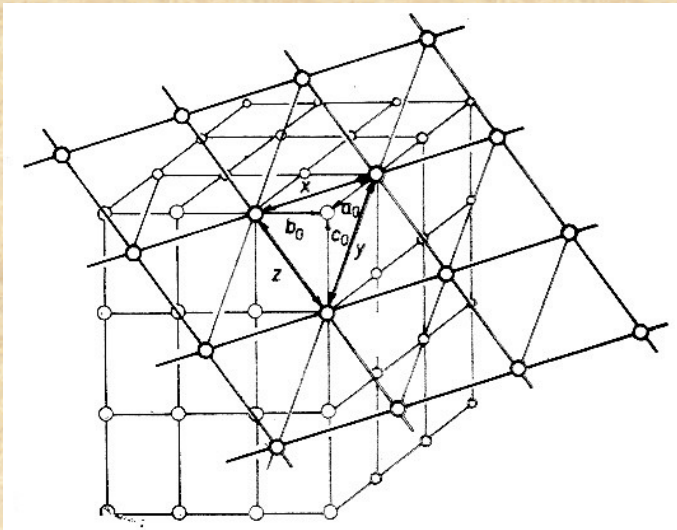


Základní krystalové plochy

Příklad **trojúsekových** ploch na krystalu a odpovídající situace ve struktuře krystalu.

Trojúsekové plochy mohou vytínat na osách následující parametry:

$$a : b : c$$



Základní poměr parametrů

Z předcházejících obrázků je zřejmé, že každou plochu na krystalu můžeme vyjádřit pomocí úseků, které plocha vytíná na jednotlivých osách. Osy krystalografického kříže krystalu jsou rovnoběžné se základními vektory základní strukturní buňky daného minerálu. Platí tedy: $x \sim a_0$; $y \sim b_0$; $z \sim c_0$.

Na jednotlivých krystalografických osách může obecná plocha vytínat násobky základních vektorů a_0 , b_0 , c_0 . Pro popis omezení krystalu je možno použít poměr $a_0 : b_0 : c_0$.

Pro porovnávání ploch na různě velkých krystalech posunujeme všechny plochy na jednotkovou vzdálenost od počátku v ose b .

Numericky:

$$a_0 : b_0 : c_0 \quad /:b_0 \rightarrow \mathbf{a_0/b_0 : 1 : c_0/b_0} = a : b : c, \quad \text{kde } b = 1.$$

Poměrný vztah vytnutých úseků $a : b : c$, kde $b = 1$ označujeme jako **základní poměr parametrů**.

Zákon o racionalitě odvozovacích parametrů

Neměníme-li poměry parametrů krystalové plochy, nemění se ani její základní charakteristiky.

Budeme-li měnit poměry úseků na jednotlivých osách, velikost základních parametrů se samozřejmě zachovává, ale změní se násobky poměrných indexů – *odvozovací parametry*.

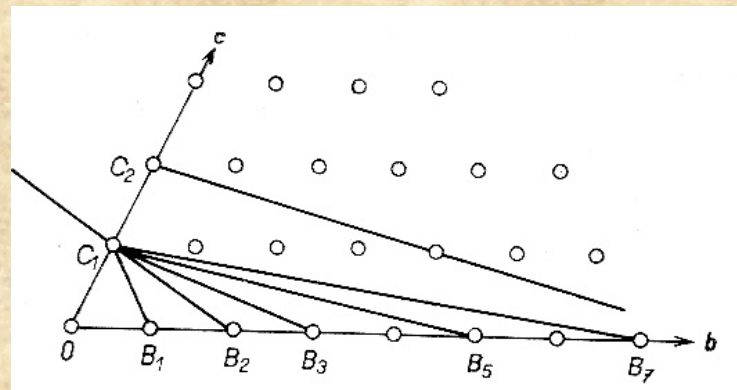
Polohu libovolné plochy můžeme vyjádřit jako základní poměr parametrů s příslušnými násobky odvozovacích indexů.

Zákon o racionalitě odvozovacích parametrů

Můžeme odvodit nekonečné množství ploch typu $\infty a_0 : nb_0 : 1c_0$. Znamená to, že budeme u parametru b_0 měnit odvozovací index n tak, že bude platit $OB_1 = b_0$; $OB_2 = 2b_0$; $OB_3 = 3b_0$ atd.

Jednotlivé roviny vytínají osu b v různých úsecích, což se odráží v délce periody identity mezi osami b a c . Platí: $C_1B_1 < C_2B_2 < C_3B_3$ atd. Tak jak se zvětšuje odvozovací parametr na ose b , snižují se retikulární hustoty odpovídajících rovin. Tyto roviny jsou pak vzájemně krystalograficky různocenné.

Platí pravidlo: **Odvozovací indexy mohou být pouze čísla racionální.**



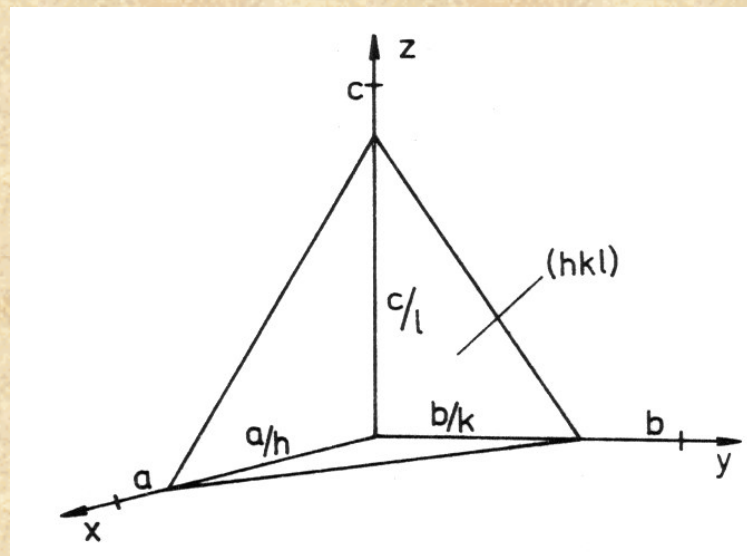
Weissovy a Millerovy symboly

Principem **Weissových symbolů** je vyjádření trojpoměru součinu odvozovacích indexů a základních parametrů **ma : nb : pc**. Plocha, které vytíná všechny tři osy v jednotkových úsecích je $1a : 1b : 1c$, se označuje jako *jednotková plocha*.

Millerovy symboly ploch zobrazují poměr odvozovacích indexů, vyjádřených reciprokými celými čísly. Millerovy symboly hkl jsou reciproké hodnoty Weissových symbolů, převedené na tři nejmenší nesoudělná čísla.

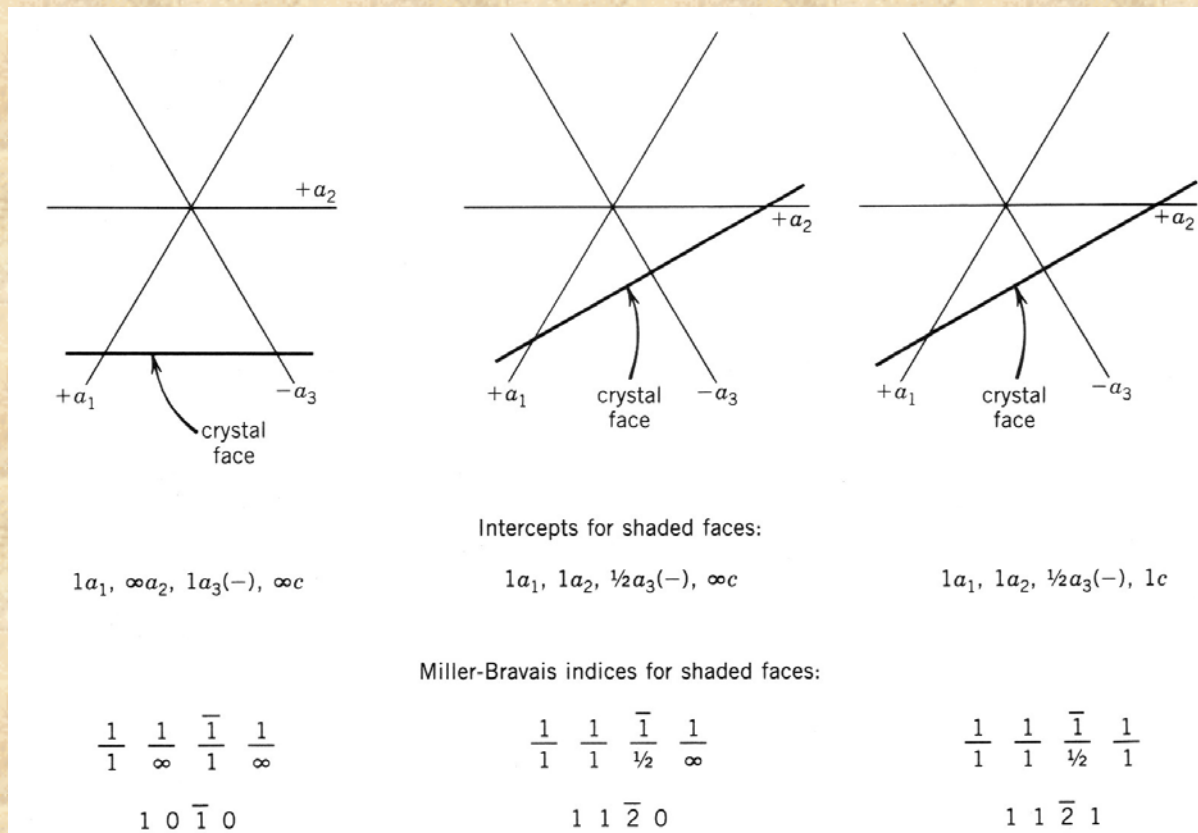
Převod Weisových na Millerovy symboly

Máme-li např. plochu vyjádřenou jako $2a : 2b : 3/2c$, vyjádříme ji Millerovými indexy jako (334) . Plocha rovnoběžná s některou z os je vyjádřena symboly $(0kl)$, $(h0l)$ nebo $(hk0)$. Jednoúsekové plochy jsou značeny symboly (100) , (010) a (001) .



Indexování v hexagonální soustavě

U soustav s jednou trojčetnou nebo šestičetnou osou obsahuje rovina kolmá k takové ose tři pasné osy a_1 , a_2 , a_3 . Zde se používá systém indexování pomocí čtyř symbolů, tzv. *Bravaisovy symboly*. Vytínané úseky na jednotlivých osách se značí (hk-il). Platí pravidlo, že $h + k + i = 0$.



Závorky v Millerově symbolice

V Millerově symbolice se používá několik typů závorek, které mají tyto významy:

- (hkl) - značí rovinu (plochu)
- $[hkl]$ - značí přímku (hranu)
- $\{hkl\}$ - značí soubor symetricky rovnocenných rovin, patřící k témuž jednoduchému tvaru
- $\langle hkl \rangle$ - soubor symetricky rovnocenných přímek, patřících k témuž jednoduchému tvaru

Krystalové pásmo (zóna)

Na některých krystalech lze najít soubor krystalových ploch, které se protínají v rovnoběžných krystalových hranách. Soubor takových ploch se označuje jako *krystalové pásmo* nebo *zóna*. Krystalové plochy, které patří jednomu pásmu označujeme jako tautozonální. Směr rovnoběžných hran ploch pásma posunutý do středu krystalu se označuje jako *osa pásma*.

Zákon pásma definuje: Všechny krystalové plochy na krystalech určitého minerálu lze vyjádřit souborem krystalových pásem.

Pásmová rovnice

Obecně se osa pásma označuje jako $[uvw]$, což může být symbol libovolného bodu, který leží na ose pásma jinde než v počátku.

Libovolná plocha patřící do pásma bude značena (hkl) . Posunutím plochy do počátku souřadnic, bude osa pásma ležet v rovině (hkl) a libovolný bod $[uvw]$ bude ležet v této rovině. Potom bude platit rovnice:

$$hu + kv + lw = 0 \text{ (pásmová rovnice)}$$

Komplikační pravidlo

Při dodržení zákona o racionalitě odvozovacích parametrů můžeme na krystalu teoreticky odvodit všechny možné krystalové plochy pomocí komplikačního pravidla:

Součet reciprokových symbolů nerovnoběžných krystalových ploch dává symbol nové krystalové plochy. Tato plocha na krystalu rovnoměrně otupuje hranu obou výchozích ploch a její retikulární hustota je úměrně nižší.

Obecně $(h_1k_1l_1) + (h_2k_2l_2) = (hkl)$, na příkladu $(100) + (010) = (110)$

Dále platí: *Známe-li na krystalu čtyři plochy, z nich tři neleží v jedné zóně, můžeme jejich vzájemnou komplikací vyjádřit všechny možné plochy na krystalu.*

Na krystalech se nejčastěji vyskytují plochy, jejichž symboly jsou výsledkem nižšího stupně komplikace.

Krystalové tvary (formy)

V krystalografii je pro vnější tvar krystalu používáno označení habitus, zatímco výraz tvar se používá ve speciálním významu.

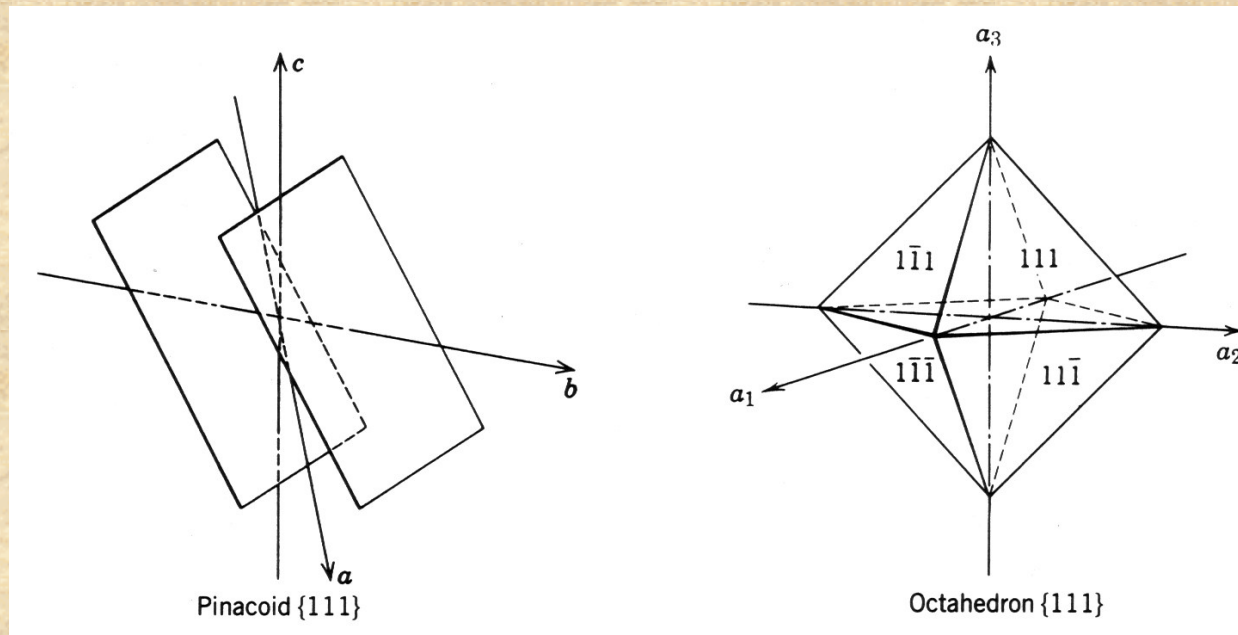
Krystalový tvar se skládá ze skupiny krystalových ploch, které mají stejný vztah k prvkům symetrie a stejné chemické a fyzikální vlastnosti.

Soubor ekvivalentních krystalových ploch se nazývá krystalový tvar. Krystalový tvar je definován indexem jedné z ploch krystalového tvaru $\{hkl\}$.

Krystalový tvar a symetrie

Vztah mezi krystalovým tvarem a prvky symetrie je významný z hlediska četnosti tvaru. *Počet ploch krystalového tvaru je určen symetrií krystalového oddělení.*

Plochy jednoho tvaru se mohou lišit velikostí i tvarem díky deformacím krystalu, které vznikají v přírodních podmínkách.



Pojmenování krystalových tvarů

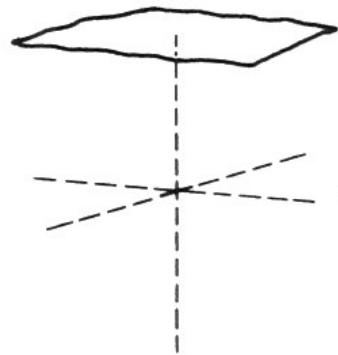
Používaná nomenklatura krystalových tvarů je podle Grotha (1895) modifikovaná Reogersem (1935). Toto schéma vyčleňuje 48 různých krystalových tvarů, z nich:

- 32 jsou obecné tvary nacházející se ve 32 bodových grupách,
- 10 z nich jsou speciální uzavřené tvary kubické soustavy a
- 6 jsou speciální otevřené tvary hexagonální a tetragonální soustavy.

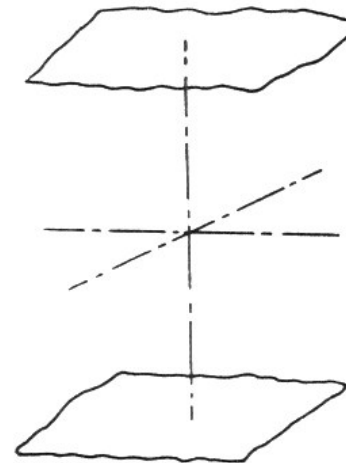
Pojmenování krystalových tvarů

pedion – otevřený tvar
obsahující jednu plochu

pinakoid - otevřený tvar
tvořený dvěma paralelními
plochami



(1) Pedion
(Monohedron)

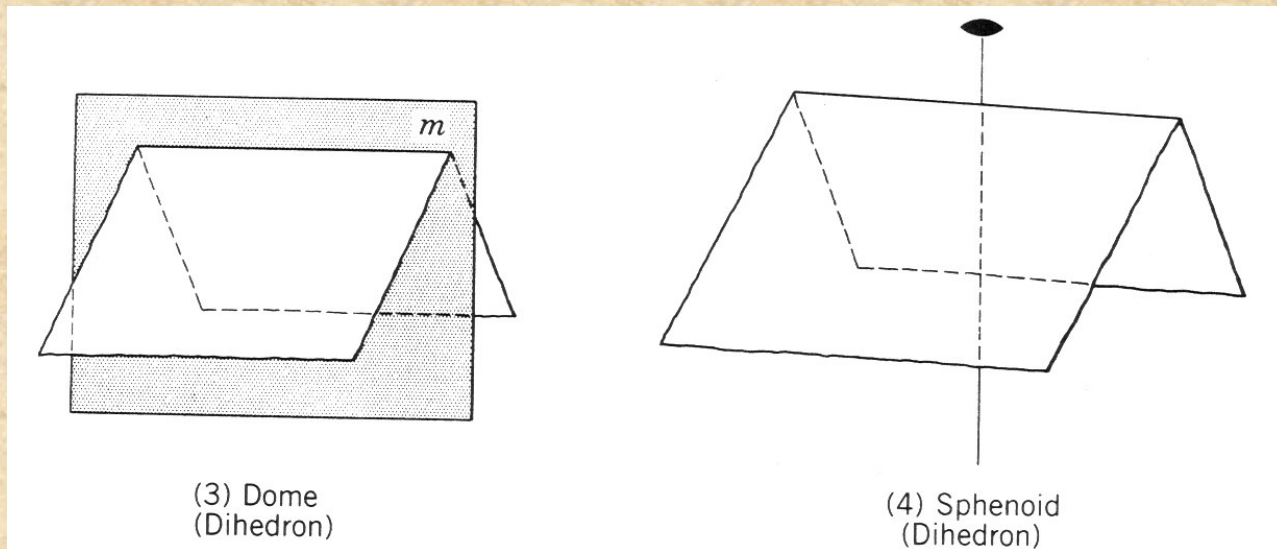


(2) Pinacoid
(Parallelohedron)

Pojmenování krystalových tvarů

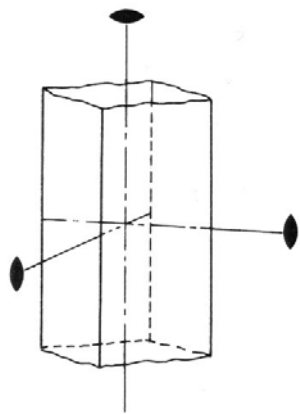
dóma - otevřený tvar dvou různoběžných ploch symetrických podle roviny zrcadlení

sfenoid - otevřený tvar dvou různoběžných ploch, souměrných podle 2-četné rotační osy.

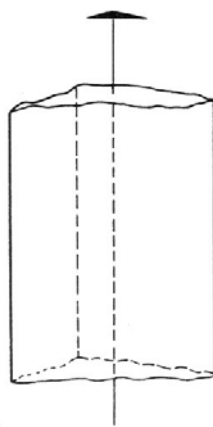


Pojmenování krystalových tvarů

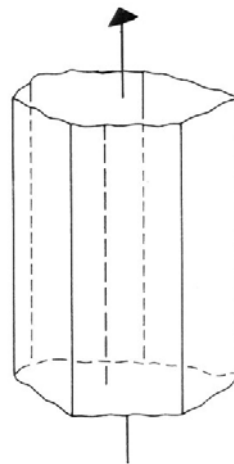
prizma - otevřený tvar, skládající se z 3, 4, 6, 8 nebo 12 ploch, které jsou rovnoběžné se stejnou osou.



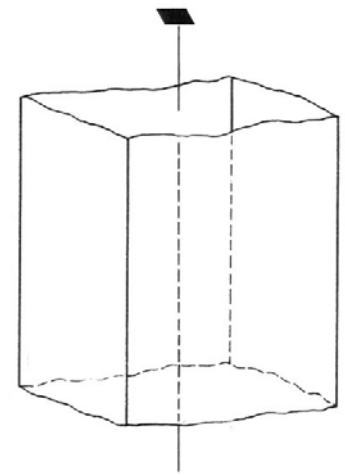
(5) Rhombic prism



(6) Trigonal prism



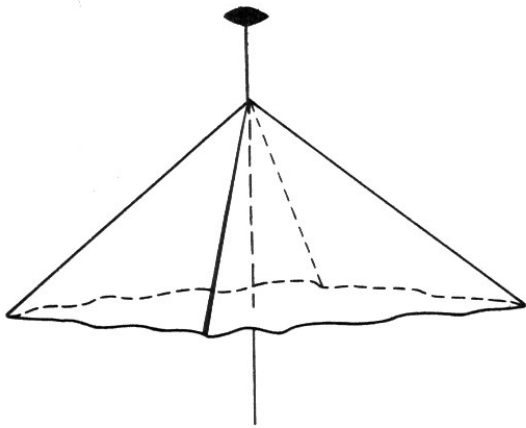
(7) Ditrigonal prism



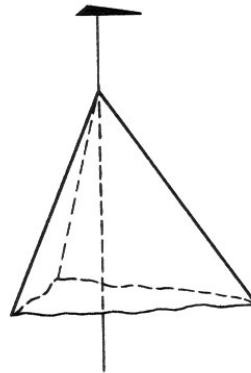
(8) Tetragonal prism

Pojmenování krystalových tvarů

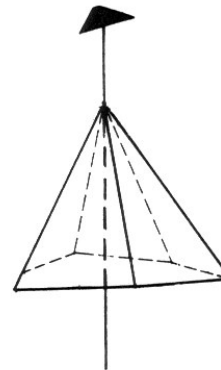
pyramida - otevřený tvar, sestávající z 3, 4, 6, 8 nebo 12 různoběžných ploch, které se sbíhají v jednom bodě



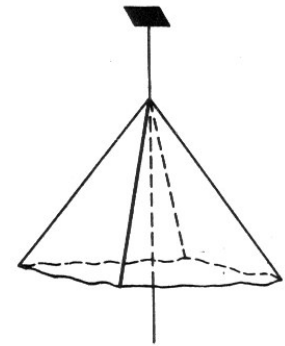
(12) Rhombic pyramid



(13) Trigonal pyramid



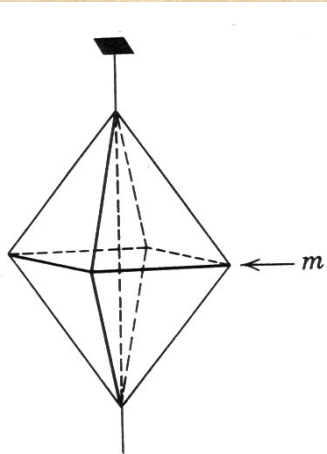
(14) Ditrigonal pyramid



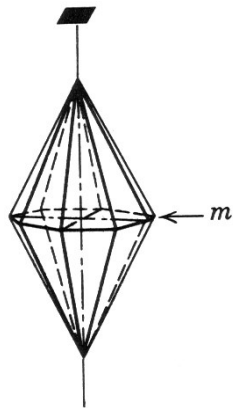
(15) Tetragonal pyramid

Pojmenování krystalových tvarů

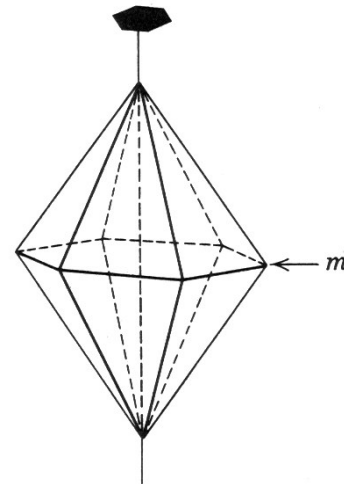
dipyramida - je uzavřený tvar s 6, 8, 12, 16 nebo 24 plochami. Lze si ji představit jako dvě pyramidy navzájem souměrné podle horizontální roviny zrcadlení.



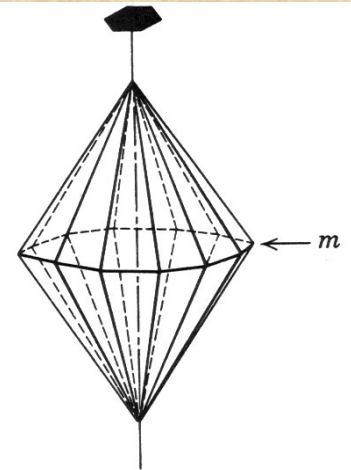
(22) Tetragonal dipyramid



(23) Ditetragonal dipyramid



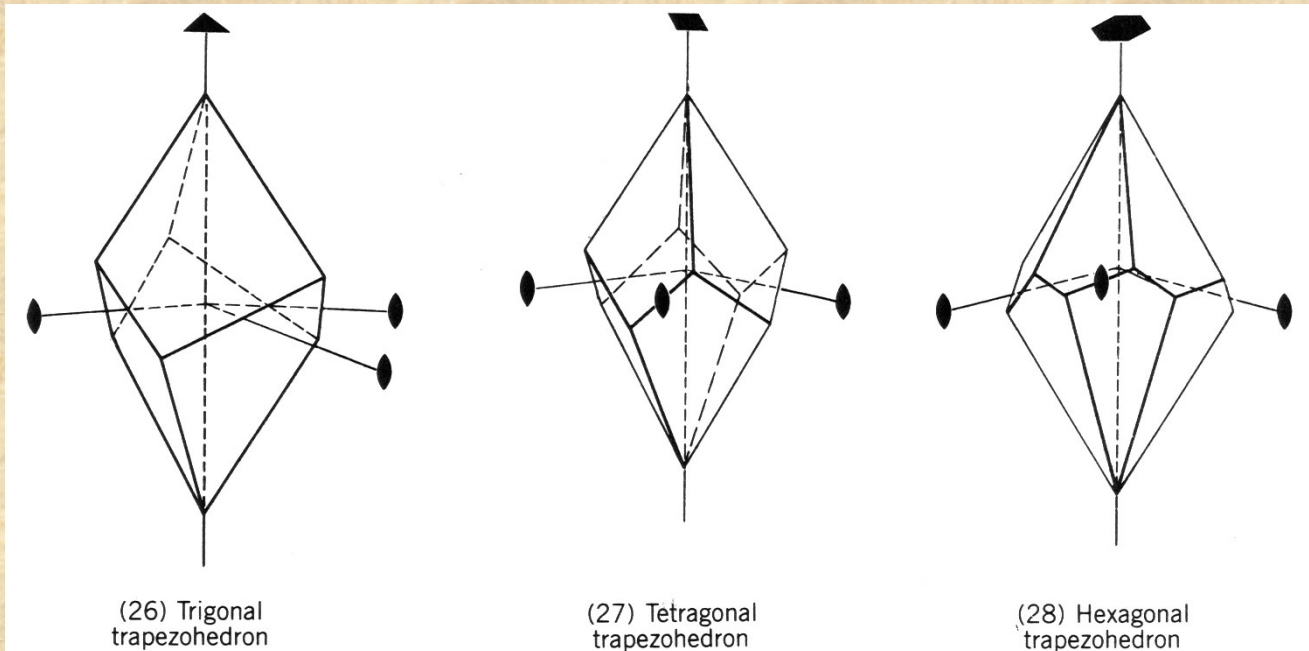
(24) Hexagonal dipyramid



(25) Dihexagonal dipyramid

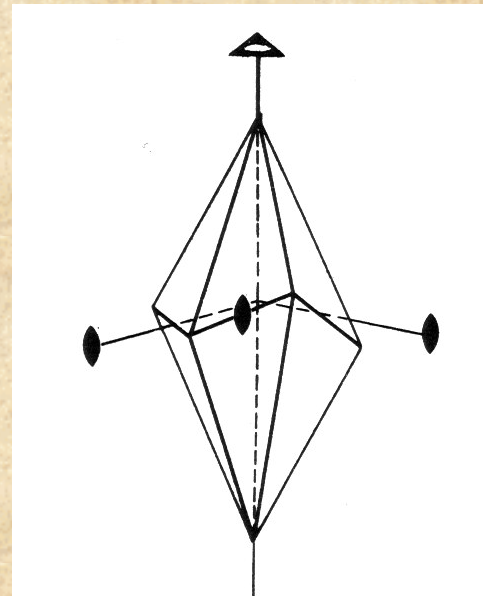
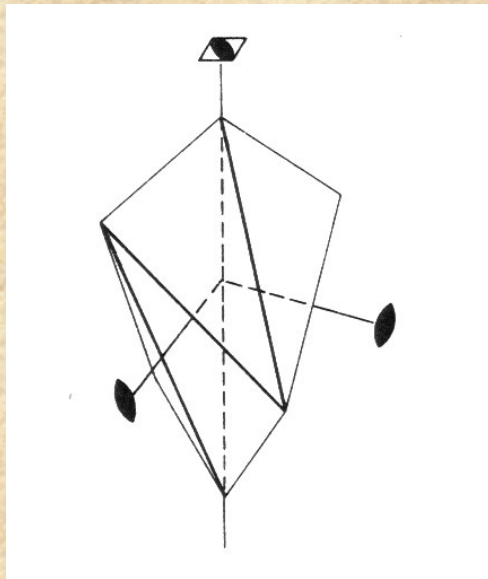
Pojmenování krystalových tvarů

trapezoedr - uzavřený tvar s 6, 8 nebo 12 plochami. Plochy mají tvar asymetrických různoběžníků, které se stýkají v klikatě běžících pasných hranách. Horní plochy jsou vůči spodním mírně pootočený kolem vertikály. Tvar vzniká kombinací troj-, čtyř- nebo šestičetné osy s kolmými dvojčetnými osami.



Pojmenování krystalových tvarů

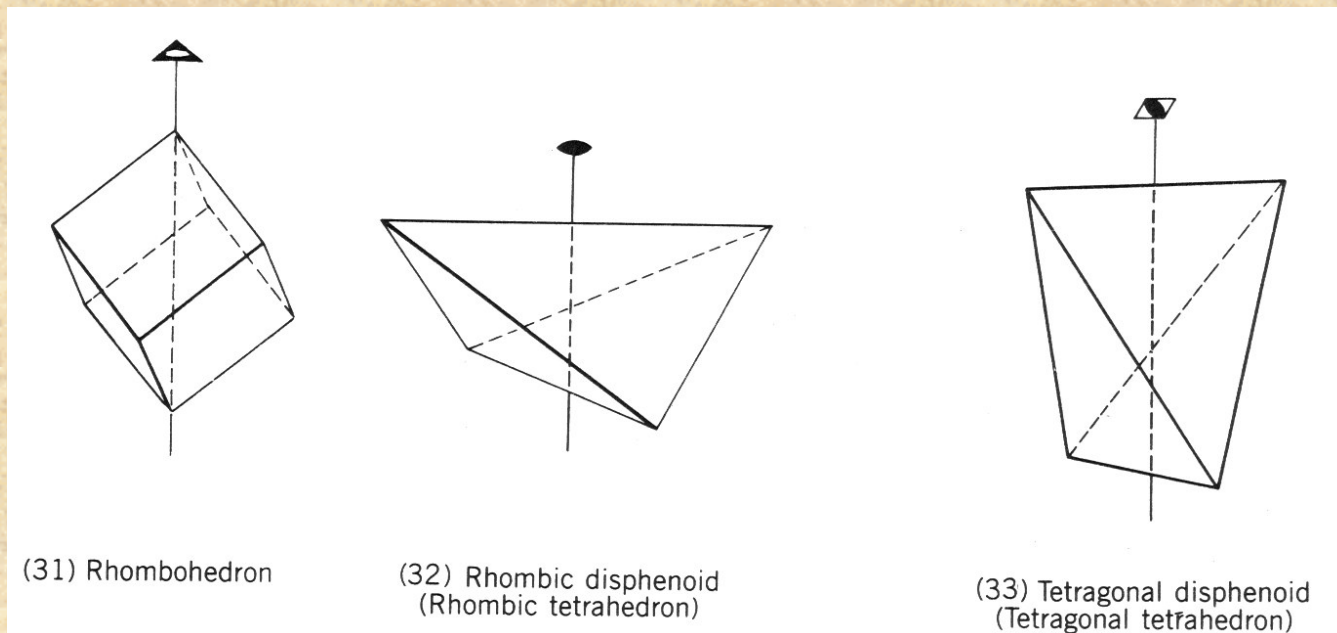
skalenoedr - uzavřený tvar s 8 nebo 12 plochami. V *tetragonálním skalenoedru* se párují horní plochy s dolními podle 4-četné rotačně inverzní osy. V *hexagonálním skalenoedru* se střídají polární hrany delší tupější s kratšími ostřejšími. Pásné hrany mají klikatý průběh a plochy stýkající se v těchto hranách neleží nad sebou, ale jsou vůči horizontální rovině střídavě otočeny okolo dvojčetné osy střídavě vpravo a vlevo.



Pojmenování krystalových tvarů

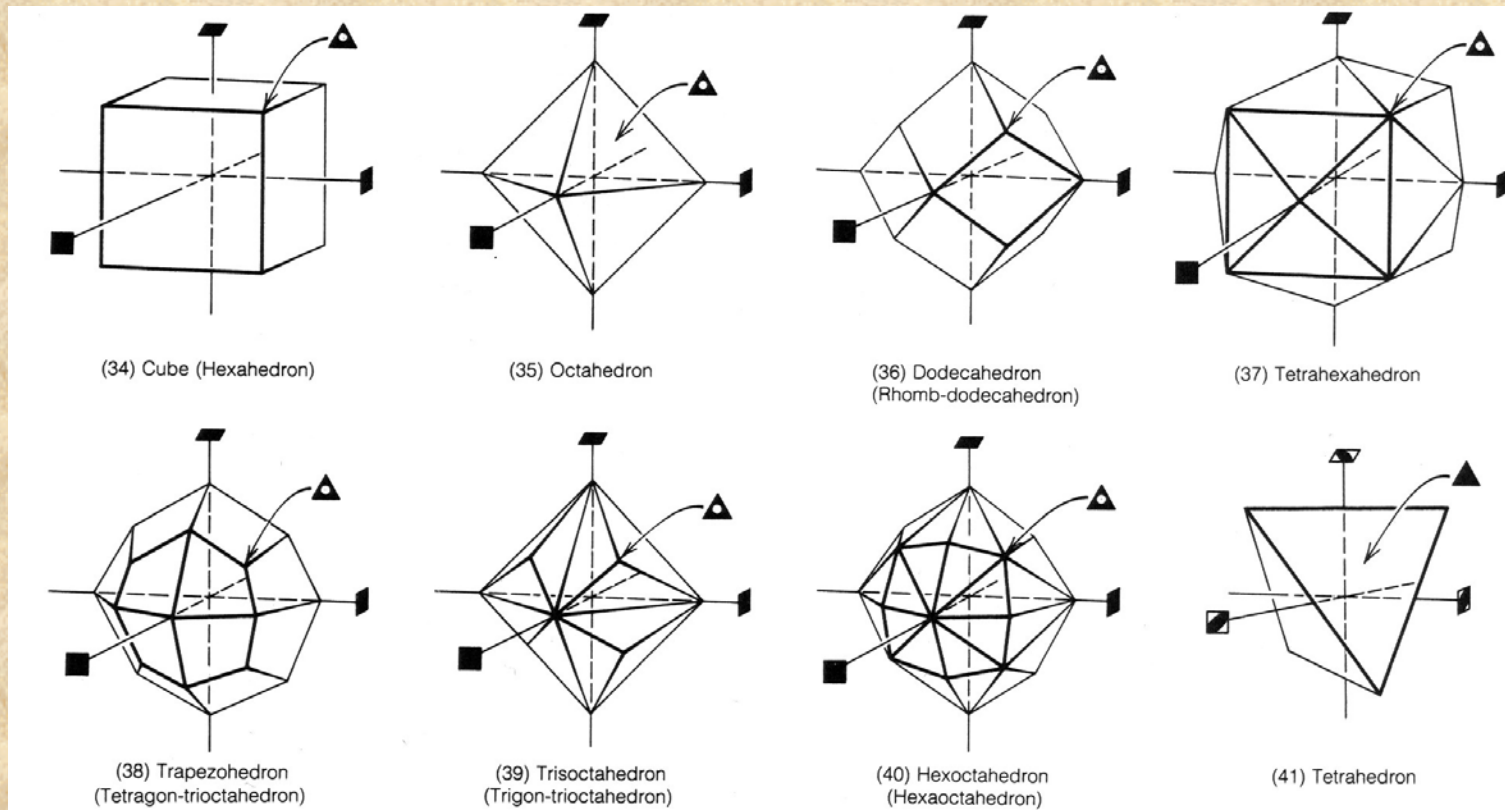
romboedr (klenec) - uzavřený tvar, na kterém se střídají 3 plochy v horní a 3 plochy ve dolní části po 60°

disfenoid - uzavřený tvar, ve kterém se střídají 2 horní a 2 dolní plochy po 90°



Tvary kubické soustavy

Speciální tvary kubické soustavy jsou vždy uzavřené a mezi prvky symetrie jsou vždy přítomny trojčetné nebo trojčetné inverzní osy.



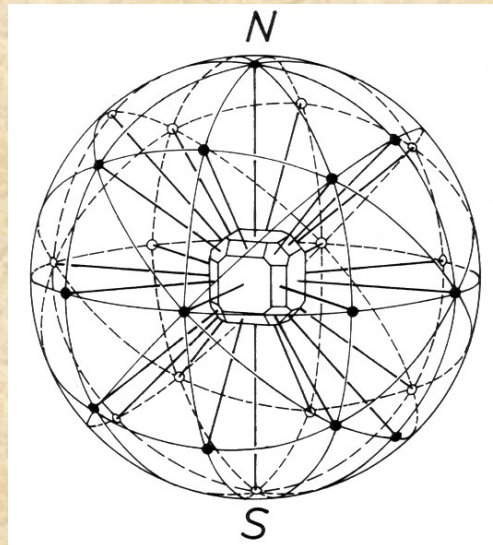
Krystalografické projekce

Jedná se o prostorové nebo rovinné projekce krystalů, které nám umožňují zjednodušeně zobrazit krystalové plochy a zkoumat tak jejich geometrické vztahy. Výchozími údaji jsou goniometrická měření úhlů krystalových ploch.

Základní prostorovou projekcí je **kulová (sférická) projekce**, ze které se vychází při konstrukci rovinných projekcí (stereografická, gnómonická).

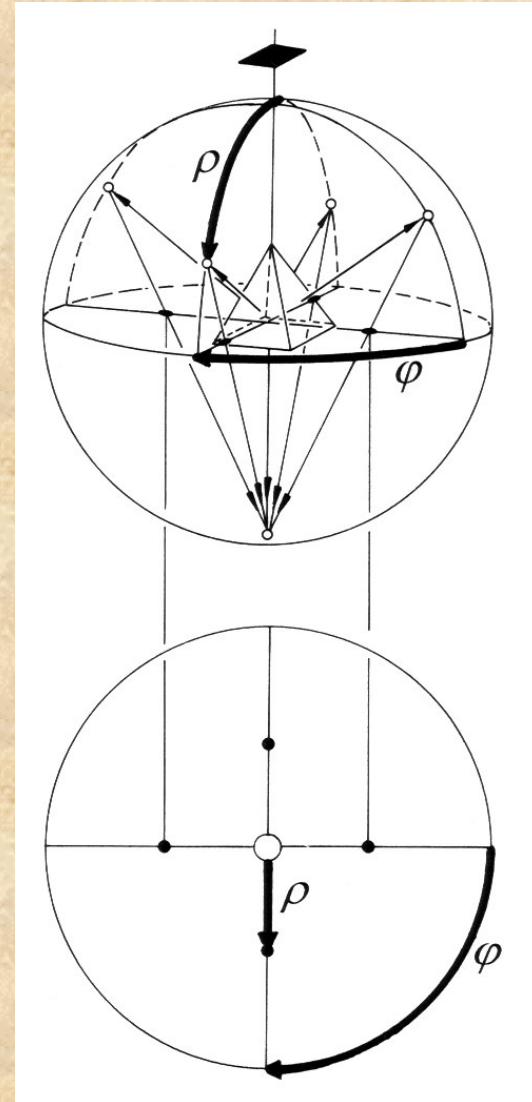
Sférická projekce

Nahradíme-li krystalové plochy kolmicemi ze středu krystalu na tyto plochy a následně vyneseme průměty těchto kolmic na povrch projekční koule opsané krystalu z jeho středu (tzv. *póly krystalových ploch*) zdůrazníme důležité znaky jako úhlové vzdálenosti a symetrii. Poziční body ploch tvořících pásmo leží na obvodu hlavní kružnice – pásmové kružnici. Oblouky pásmových kružnic mezi póly ploch přímo udávají úhel kolmic, spuštěných na tyto plochy.



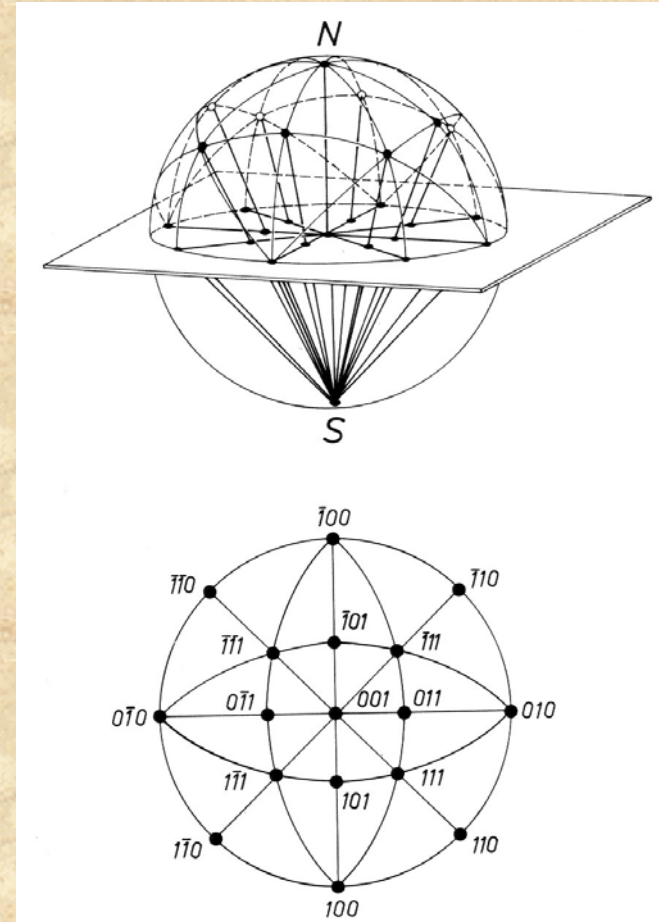
Sférická projekce

Pozici každého pozičního bodu krystalové plochy lze popsat pomocí úhlových souřadnic - tzv. *pozičních úhlů*. Na rozdíl od geografických měření, v této projekci udává úhel ρ úhlovou vzdálenost od severního pólu, takže rovník má $\rho = 90^\circ$. Druhý úhel φ se měří od hlavního poledníku.



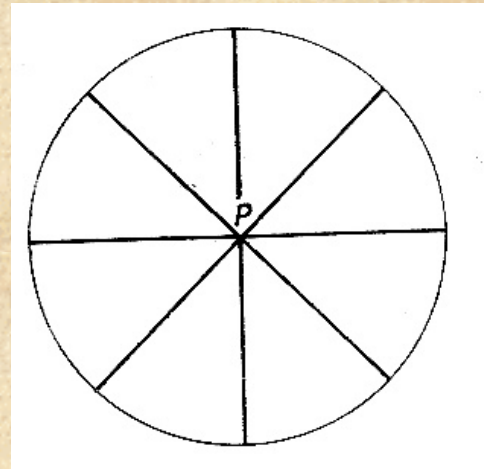
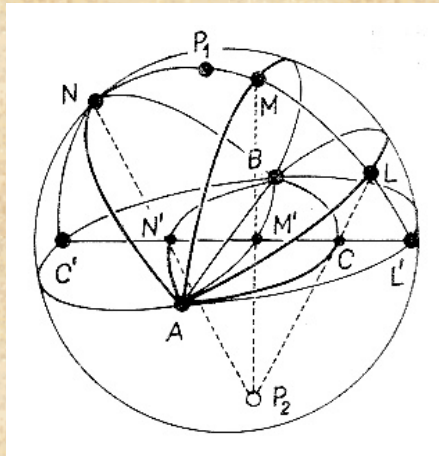
Stereografická projekce

Princip stereografické projekce je založen na promítání pozičních bodů kulové projekce do roviny, která prochází středem projekční koule. Projekčním bodem je jeden z pólů, v závislosti na kterou polokouli promítáme. Při převodu do stereografické projekce spojujeme přímkami poziční body s protilehlým pólem. V průsečíku přímky s projekční rovinou leží poziční body stereografické projekce.



Stereografická projekce

Leží-li projekční rovina v rovníkové zóně, poledníkové zóny jsou na ni kolmé. Projekce poledníkových zón je tvořena radiálními přímkami, které procházejí středem projekční roviny. Rovníková zóna a poziční body na ní ležící odpovídají obvodu projekční roviny. Všechna ostatní pásma odkloněná od osy projekce v otevřeném intervalu $(0^\circ, 90^\circ)$ se promítají jako oblouky kružnic.



Další krystalografické projekce

V *gnomonické projekci* je zorný bod umístěn ve středu projekční koule a projekční rovina je tečnou k severnímu pólu projekční koule. Body se v projekční rovině zobrazují až do nekonečna (průměty pólů vertikálních rovin).

V *ortogonální projekci* je rovina projekce umístěna jako u gnomonické, tj. tečna k pólu kulové projekční plochy, ale zorný bod je umístěn v nekonečnu.

Popis krystalových oddělení

Zastoupení minerálů v jednotlivých soustavách je přibližně následující:

| | |
|---------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> triklinická | 2% |
| <input type="checkbox"/> monoklinická | 21% |
| <input type="checkbox"/> rombická | 20% |
| <input type="checkbox"/> tetragonální | 12% |
| <input type="checkbox"/> hexagonální | 19% |
| <input type="checkbox"/> kubická | 26% |

Největší počet minerálních druhů je zastoupen v holodrickém oddělení každé soustavy.

Soustava triklinická

V této soustavě se krystalové tvary vztahují ke třem nestejnocenným krystalografickým osám, které svírají zcela obecné úhly.

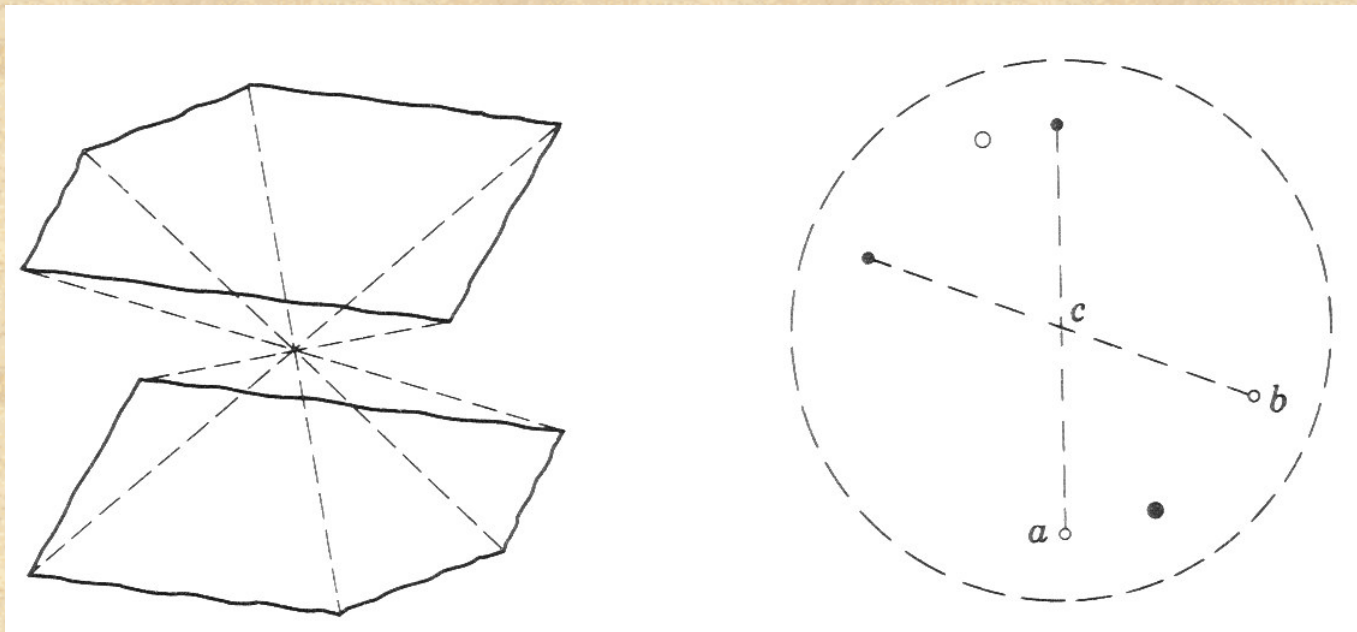
Pro orientaci triklinických krystalů platí tři základní pravidla:

- I. nejvýraznější zóna je vertikální;
- II. tvar $\{001\}$ se svažuje dopředu doprava
- III. ve vertikální zóně mohou být vybrány dva tvary - jeden jako $\{100\}$ a druhý jako $\{010\}$. Směr os a a b je pak určen protnutím těchto tvarů. Osa b by měla být delší než osa a .

Oddělení triklinicky pinakoidální $\bar{1}$

Prvkem symetrie tohoto oddělení je pouze střed symetrie. Obecným tvarem je pinakoid.

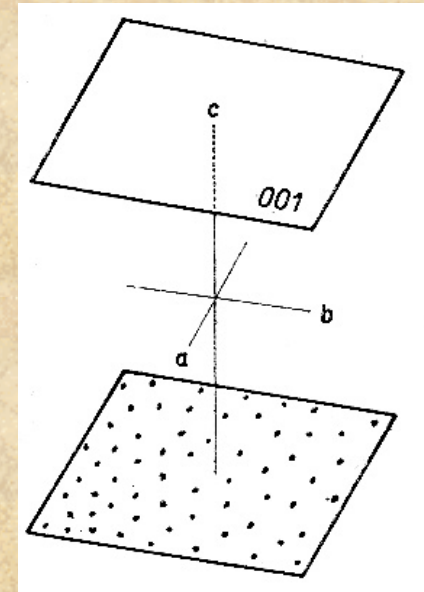
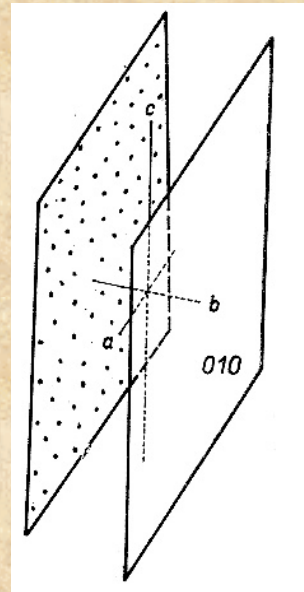
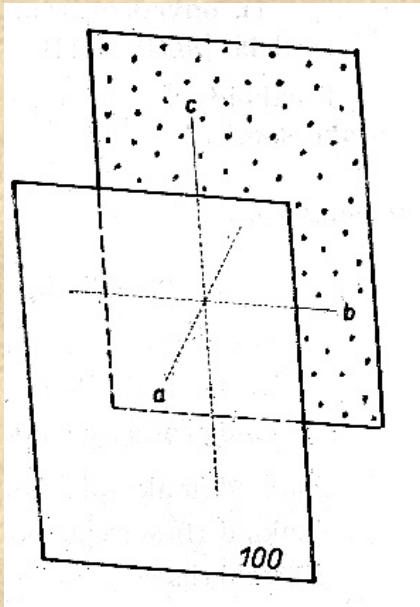
Příklady minerálů, krystalizujících v tomto oddělení jsou chalkantit (modrá skalice), mikroclin, plagioklasy, rodonit, wollastonit.



Oddělení triklinicky pinakoidální $\bar{1}$

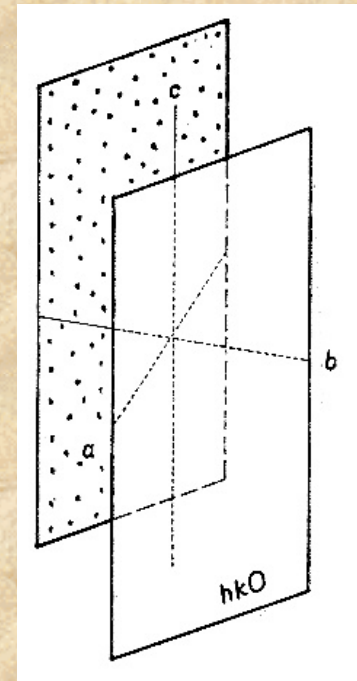
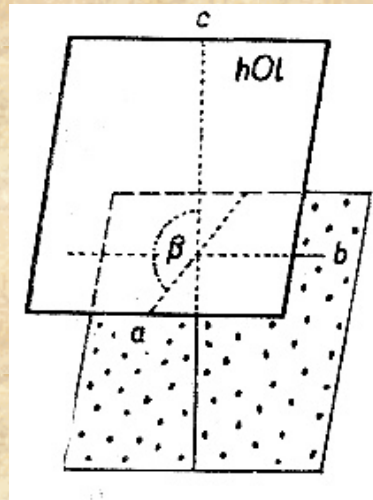
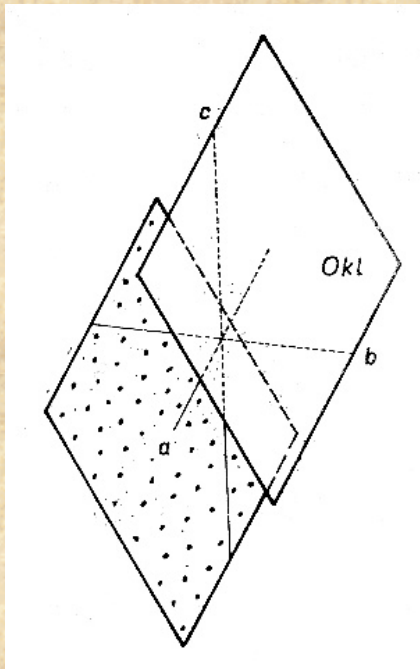
Podle orientace rozlišujeme tři druhy pinakoidů.

Jednoúsekové pinakoidy $\{100\}$, $\{010\}$ a $\{001\}$. Každý z těchto pinakoidů protíná jednu krystalografickou osu a s ostatními je rovnoběžný. **Pinakoid a** (přední, makropinakoid) protíná osu x ; **pinakoid b** (boční, brachypinakoid) protíná osu y ; **pinakoid c** (bazální) protíná osu z .



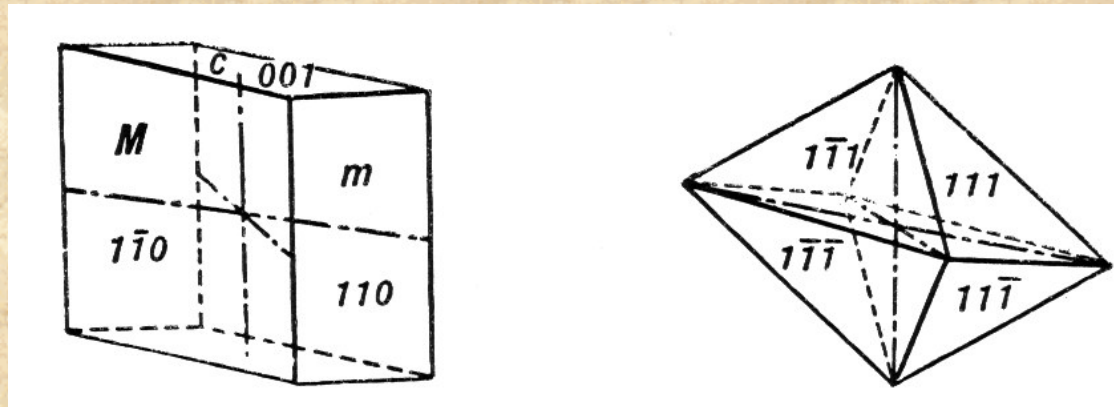
Oddělení triklinicky pinakoidální $\bar{1}$

Dvojúsekové pinakoidy. Tvary $\{0kl\}$ a $\{0-kl\}$ jsou rovnoběžné s osou x , tvary $\{h0l\}$ a $\{h0-l\}$ jsou rovnoběžné s osou y a tvary $\{hk0\}$ a $\{h-k0\}$ jsou rovnoběžné s osou z .



Oddělení triklinicky pinakoidální $\bar{1}$

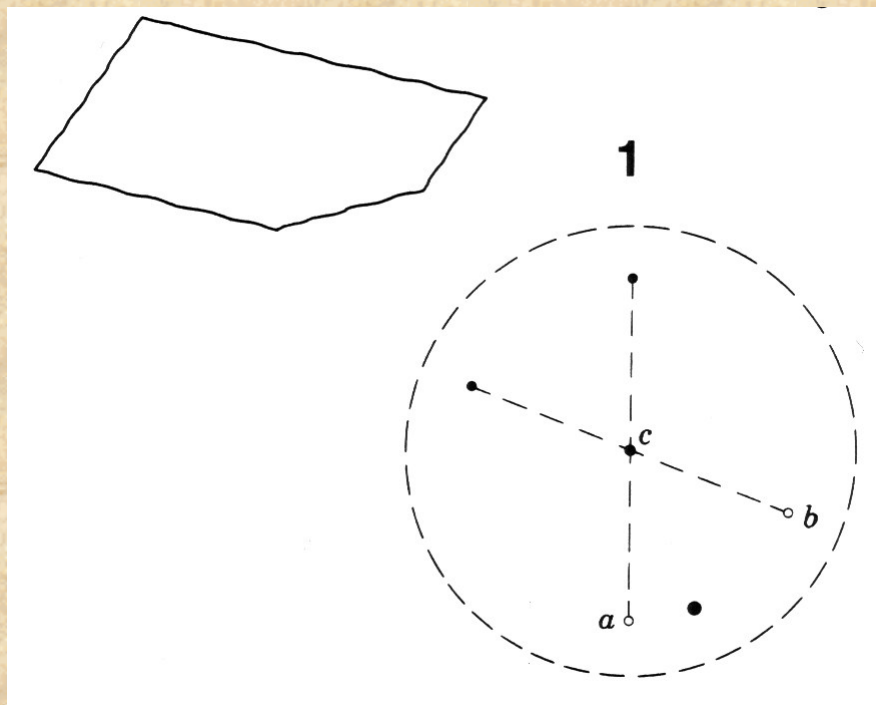
Trojúsekový pinakoid $\{hkl\}$. Tvar $\{hkl\}$ je pozitivní pravý, $\{h-kl\}$ je pozitivní levý, $\{hk-l\}$ je negativní pravý a $\{h-k-l\}$ je negativní levý.



Oddělení triklinicky pediální 1

Přítomna je pouze jednočetná rotační osa, což odpovídá úplné asymetrii. Všechny směry jsou polární. Obecným a zároveň jediným tvarem je pedion.

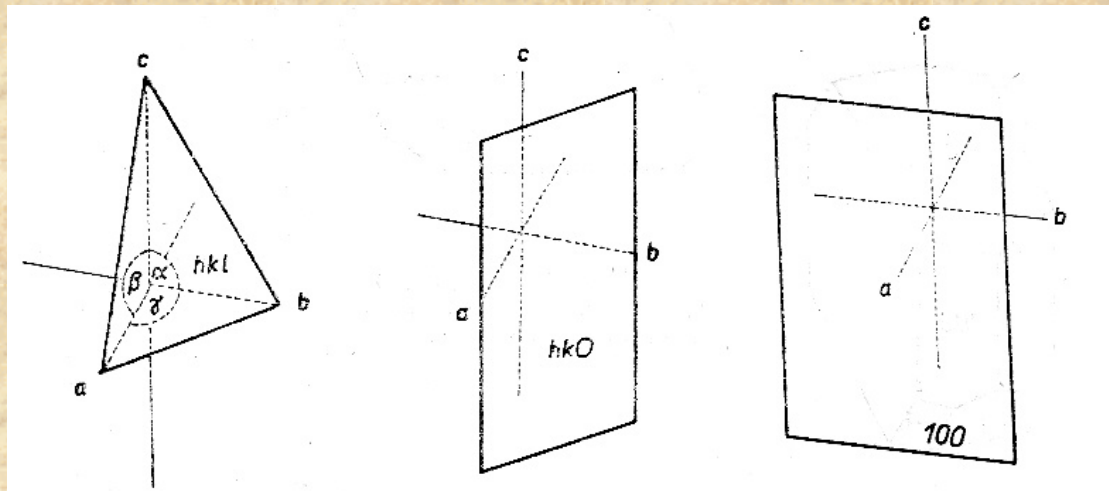
Příkladem minerálu krystalizujícího v tomto oddělení je axinit.



Oddělení triklinicky pediální 1

Pedióny můžeme rozlišit:

- ❑ Trojúsekové $\{hkl\}$ – celkem osm
- ❑ Dvojúsekové $\{hk0\}$, $\{h0l\}$, $\{0kl\}$ – celkem dvanáct
- ❑ Jednoúsekové $\{100\}$ – celkem šest



Soustava monoklinická

Monoklinické krystaly se vztahují ke třem nestejnocenným osám x , y , z a úhly α a γ jsou 90° . Úhel β je (mezi osami x , z) větší než 90° .

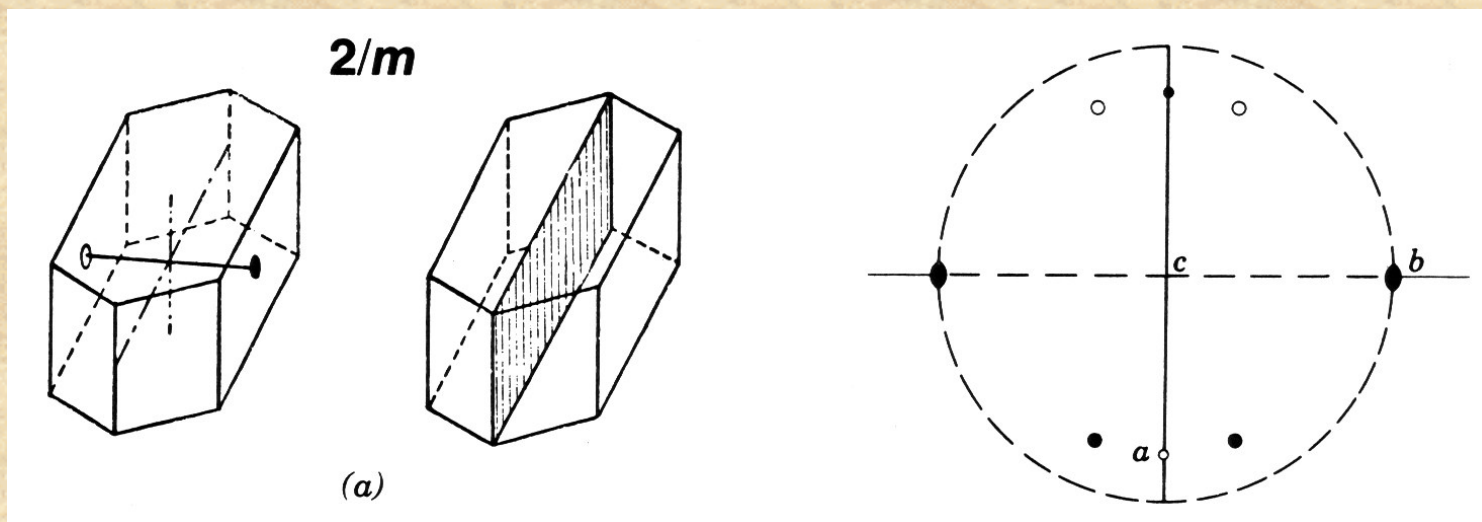
Osa dvojitá nebo směr kolmý k rovině symetrie jsou totožné s krystalografickou osou y , osa x se sklání vpřed a osa z je vertikální. Tato orientace se označuje jako „druhé postavení“, které je běžnější pro mineralogii.

Při orientaci krystalu je osa y dána jednoznačně, ze zbývajících dvou směrů volíme za vertikálu směr růstový (nejhustěji obsazené uzlové přímky) - pro volbu parametrů základní buňky platí $c_0 < a_0$.

Oddělení monoklinicky prizmatické $2/m$

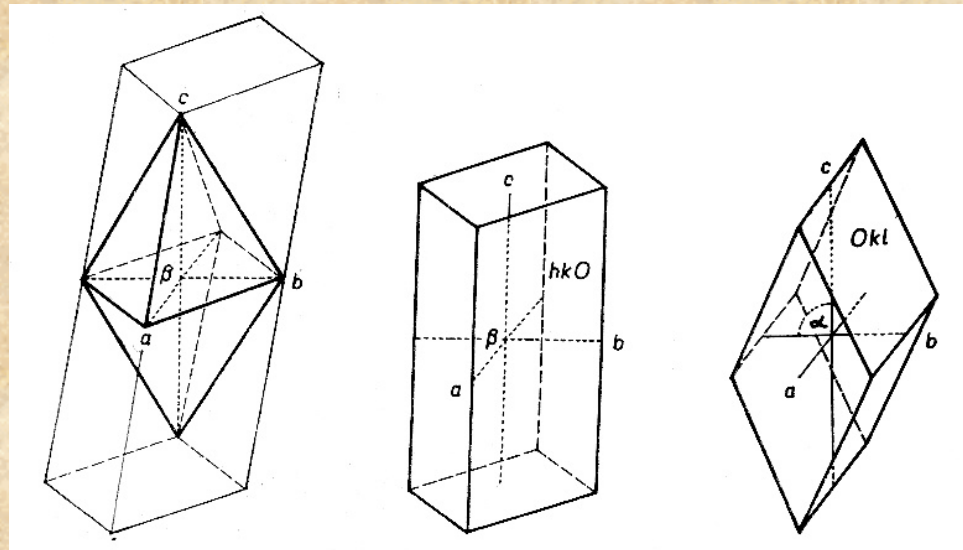
Oddělení má v soustavě maximální symetrii a to rovinu symetrie v orientaci (010) a na ni kolmou dvojčetnou osu (směr osy y).

V tomto oddělení krystalizují např. minerály: amfiboly, pyroxeny, ortoklas, slídy, sádrovec, titanit, epidot, malachit a další.



Oddělení monoklinicky prizmatické $2/m$

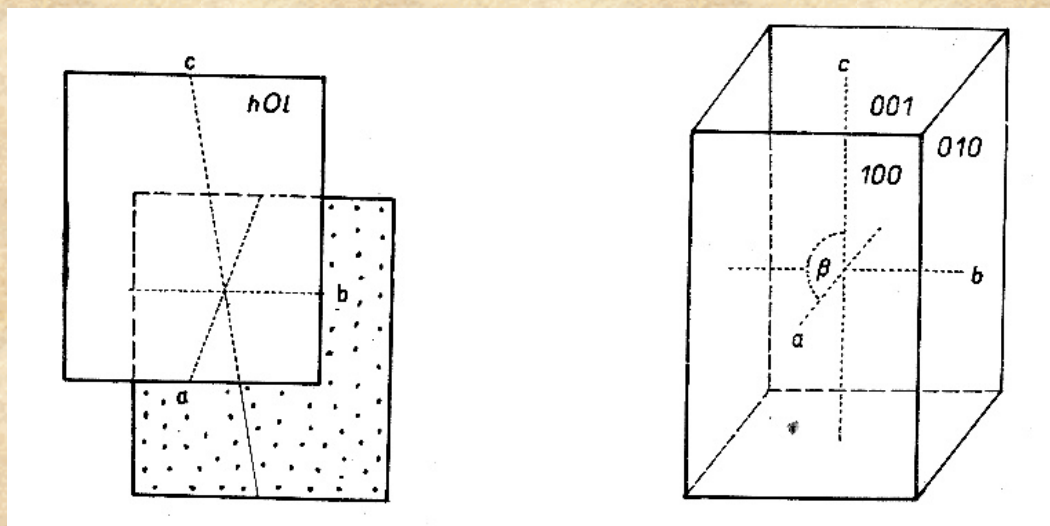
Monoklinické prizma je obecný čtyřplochý otevřený tvar *trojúsekových* ploch $\{hkl\}$ nebo nad ostrými úhly $\{hk-1\}$. Z *dvojúsekových* ploch se operacemi symetrie zobrazí prizmata $\{0kl\}$ a $\{hk0\}$.



Oddělení monoklinicky prizmatické $2/m$

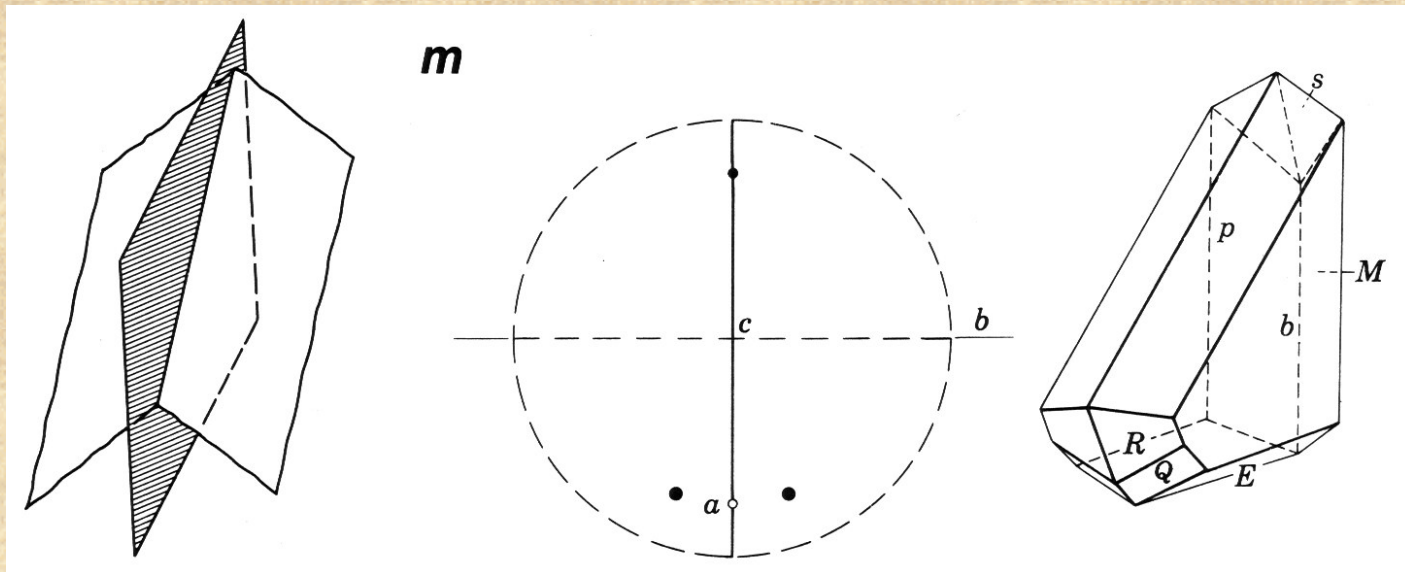
Třetí typ *dvojúsekových* ploch $\{h0l\}$ se rozpadá na dva páry nezávislých **pinakoidů** $\{h0l\}$ a $\{h0-l\}$.

Jednoúsekové plochy tvoří tři druhy nezávislých **pinakoidů**. Pinakoid přední (pinakoid *a*, ortopinakoid) je $\{100\}$, boční (pinakoid *b*, klinopinakoid) je $\{010\}$ a bazální (pinakoid *c*) je $\{001\}$.



Oddělení monoklinicky domatické m

Přítomna je pouze vertikální rovina symetrie (010) , ve které leží krystalografické osy x , z . Obecný tvar $\{hkl\}$ je dóma, hemiedr od monoklinického prizmatu.



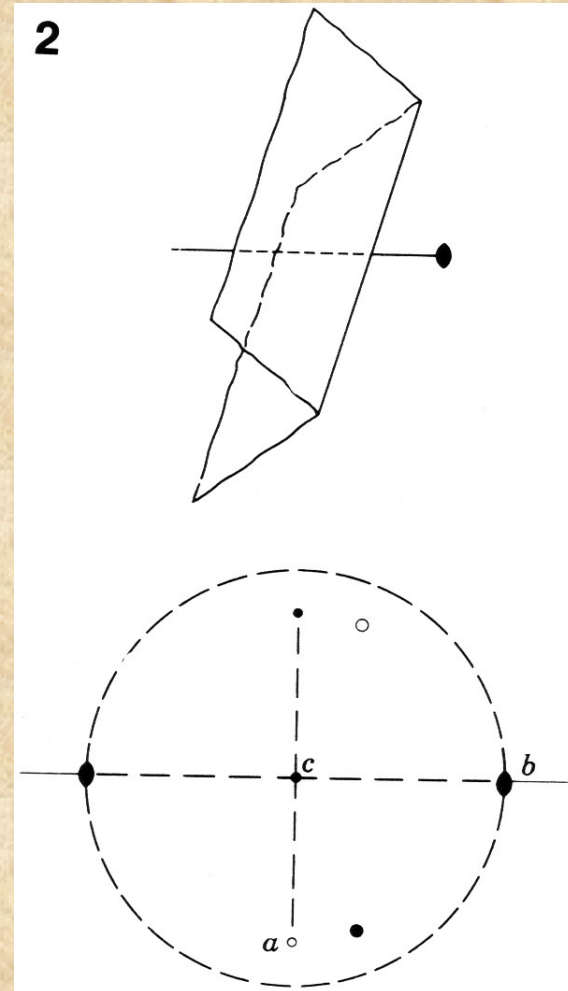
Oddělení monoklinicky domatické m

Pouze plochy, které vytínají osu y mají možnost vytvořit dvojplochý tvar. Možné jsou čtyři druhy *trojúsekových dómát* $\{hkl\}$, $\{-hkl\}$, $\{hk-l\}$ a $\{-hk-l\}$ dále čtyři druhy *dvojúsekových dómát* $\{0kl\}$, $\{0k-l\}$, $\{hk0\}$ a $\{-hk0\}$. Plocha kolmá na osu y se zobrazí jako **pinakoid** $\{010\}$.

Všechny ploch, které jsou rovnoběžné s osou y , tvoří **pediony** typu $\{h0l\}$, $\{100\}$ a $\{001\}$.

Oddělení monoklinicky sfenoidické 2

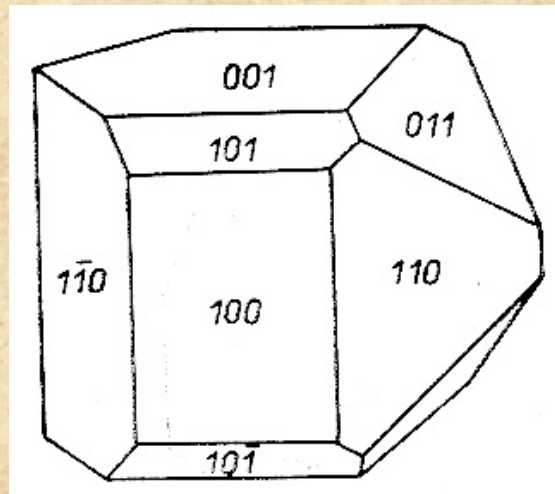
Krystalografické osa y odpovídá dvojčetné rotační ose. Obecným tvarem $\{hkl\}$ tohoto oddělení je **sfenoid**.



Oddělení monoklinicky sfenoidické 2

Krystalové plochy vytínající osu y tvoří různopolární hemiedry. Jedná se o *trojúsekové sfenoidy* pravé $\{hkl\}$, $\{hk-1\}$ a levé $\{h-kl\}$, $\{h-k-1\}$ a *dvojúsekové sfenoidy* pravé $\{hk0\}$, $\{0kl\}$ a levé $\{h-k0\}$, $\{0-k1\}$. *Jednoúseková* plocha kolmá na osu y se zobrazí jako pravý a levý **pedion** $\{010\}$ a $\{0-10\}$.

Plochy, které vytínají osy x a z , se zobrazují jako **pinakoidy** $\{h0l\}$, $\{h0-1\}$, $\{100\}$ a $\{001\}$.



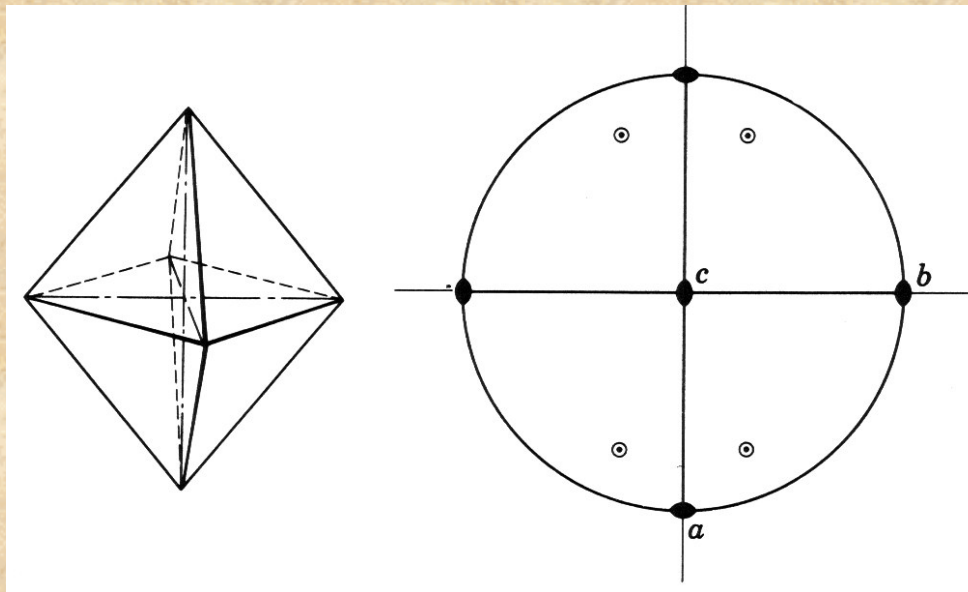
Soustava rombická

Krystalové tvary se vztahují ke třem různocenným krystalografickým osám, které svírají navzájem úhel 90° . Nejdelší růstový směr je zpravidla vertikála, z pasných os je delší osa y . Pokud je na krystalu vyvinut výrazně pinakoid tak, že je krystal tabulkovitý, je tento pinakoid obvykle orientován jako $\{001\}$.

Oddělení rombicky dipyramidální $2/m 2/m 2/m$

Obsahuje tři různocenné roviny symetrie, rovnoběžné s osními rovinami. V jejich průsečnicích vznikají tři různocenné dvojčetné osy, které jsou totožné s krystalografickými osami. Společný průsečík všech prvků symetrie je střed symetrie. Obecným tvarem $\{hkl\}$ je **rombická dipyramida**.

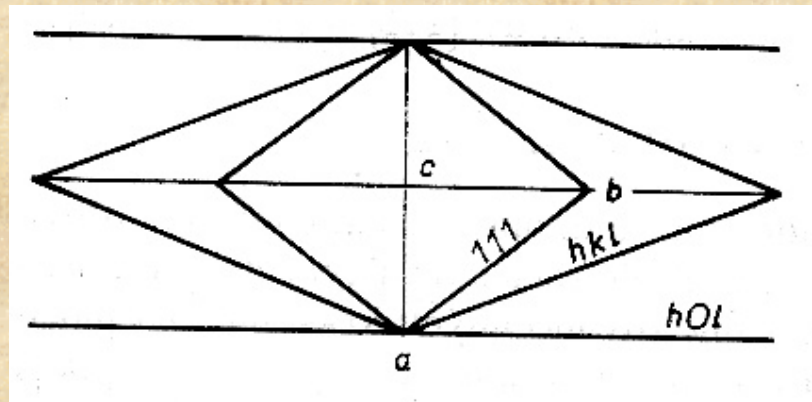
V tomto oddělení krystaluje řada důležitých minerálů: amfiboly, pyroxeny, andalusit, baryt, topaz, síra, aragonit, antimonit, olivín a další.



Oddělení rombicky dipyramidální $2/m \ 2/m \ 2/m$

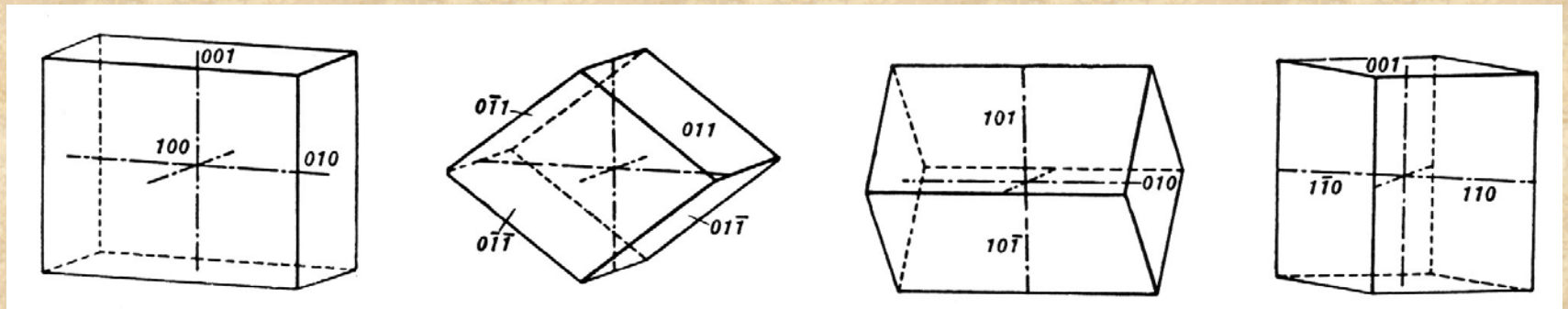
Rombická dipyramida $\{hkl\}$ je složena z osmi trojúsekových ploch ve tvaru nerovnostranného trojúhelníku.

Pokud se některý odvozovací index rombické dipyramidy zvětšuje až do nekonečna, vzniká jedno ze tří dvojúsekových **prizmat**.



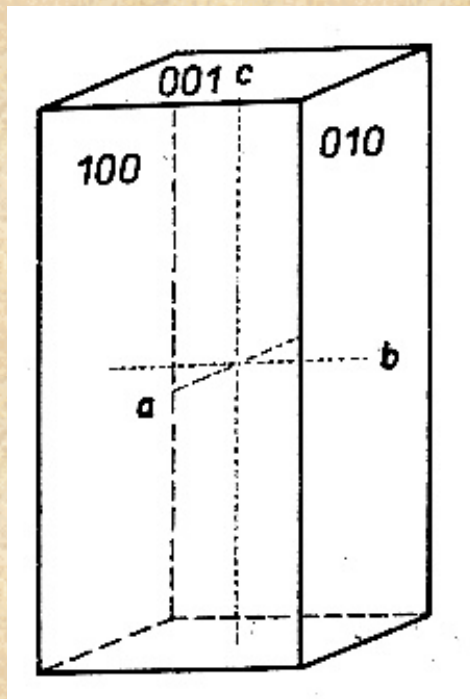
Oddělení rombicky dipyramidální $2/m\ 2/m\ 2/m$

Odvozením z rombické dipyramidy mohou vzniknout dvojúseková **prizmata** $\{hk0\}$, $\{h0l\}$ a $\{0kl\}$.



Oddělení rombicky dipyramidální $2/m\ 2/m\ 2/m$

Jednoúsekové plochy se v tomto oddělení zobrazují jako **pinakoidy** $\{100\}$, $\{010\}$ a $\{001\}$.



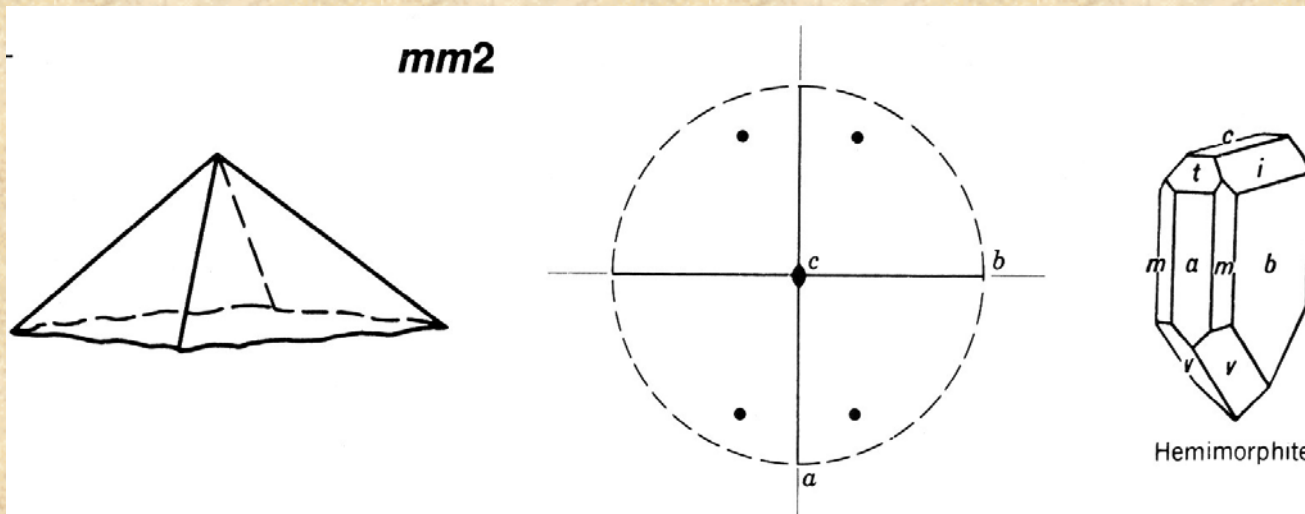
Oddělení rombicky pyramidální $mm2$

Hemiedrie oddělení je dána osou dvojitou, která je průnikem dvou navzájem kolmých rovin symetrie, protínajících se v ose z .

Horizontální rovina symetrie chybí a z ploch, které vytínají osu z , vznikají rombické hemiedry - **pyramidy** horní $\{hkl\}$ a dolní $\{hk-1\}$.

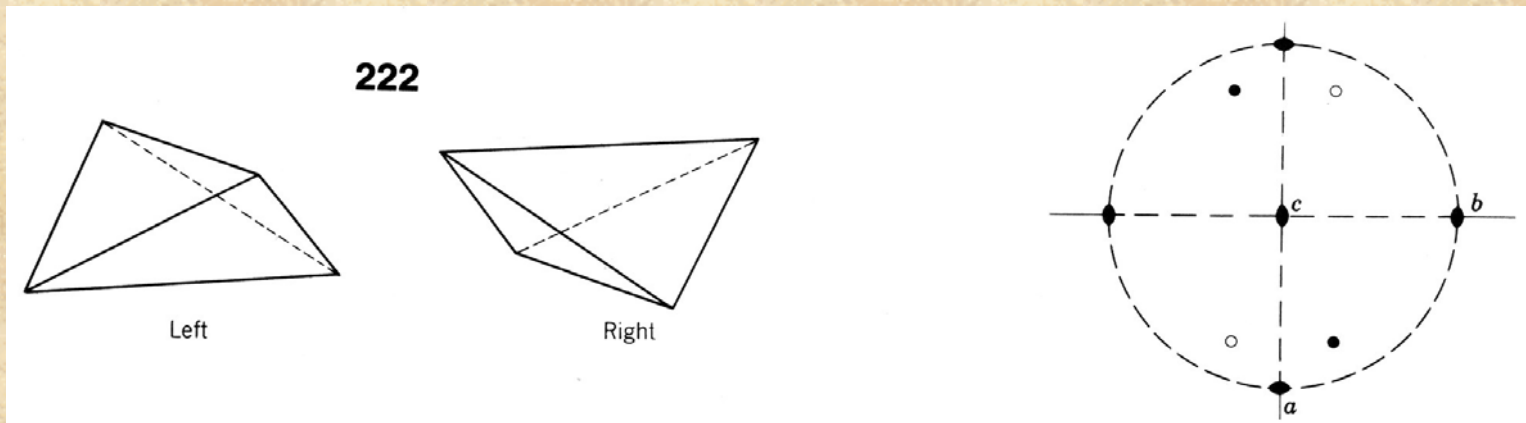
Prizmata $\{0kl\}$ a $\{h0l\}$ přecházejí na **dómata** $\{0kl\}$, $\{0k-1\}$ a $\{h0l\}$, $\{h0-1\}$. Pinakoid $\{001\}$ se mění ve dvě různocenná **pedia** $\{001\}$ a $\{00-1\}$.

Nezměněny zůstávají tvary rovnoběžné s osou z , **prizma** $\{hk0\}$ a **pinakoidy** $\{100\}$ a $\{010\}$.



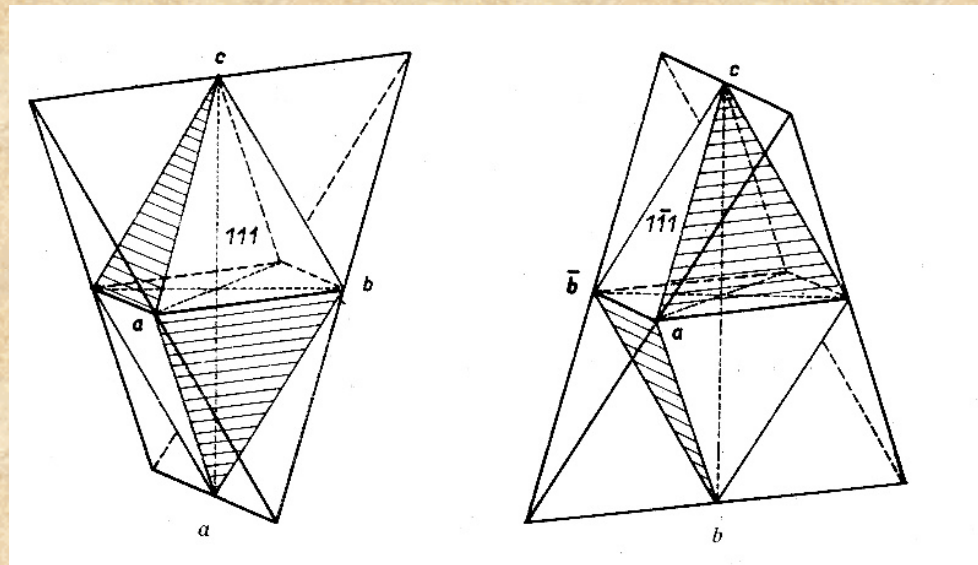
Oddělení rombicky disfenoidické 222

Tři dvojčetné rotační osy jsou totožné se třemi krystalografickými osami. Roviny symetrie zde chybí. Obecná plocha $\{hkl\}$ se prvky symetrie zobrazí do čtyřplochého tvaru bez středu symetrie - **rombického disfenoidu**.



Oddělení rombicky disfenoidické 222

Chybějící roviny symetrie podmiňují redukci ploch rombické dipyramidy v horní i spodní části. Při odvození hemiedru můžeme vyjít z plochy v pravém předním horním oktantu a vznikne **disfenoid pravý** $\{hkl\}$, nebo vyjdeme z levého předního horního oktantu a dostaneme **disfenoid levý** $\{h\bar{k}l\}$. Oba tvary jsou vzájemně enantiomorfní.

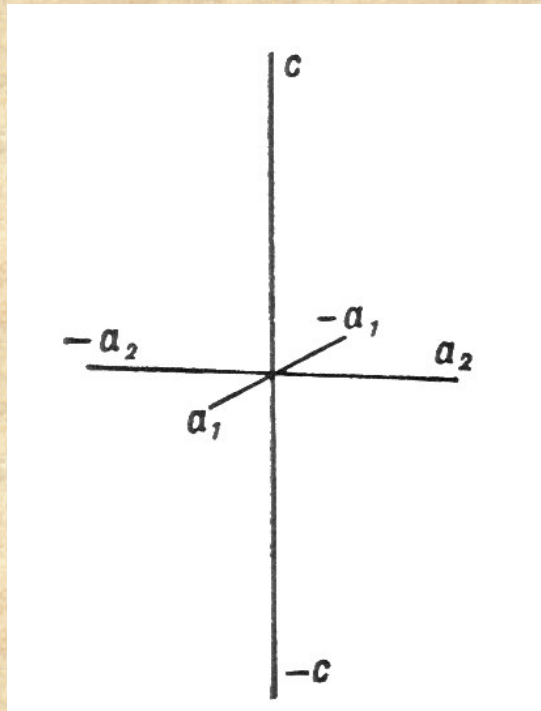


Oddělení rombicky disfenoidické 222

Další krystalové tvary odpovídají holodrickému oddělení. Jsou to dvojúseková **prizmata** $\{hk0\}$, $\{h0l\}$ a $\{0kl\}$ a jednoúsekové **pinakoidy** $\{100\}$, $\{010\}$ a $\{001\}$.

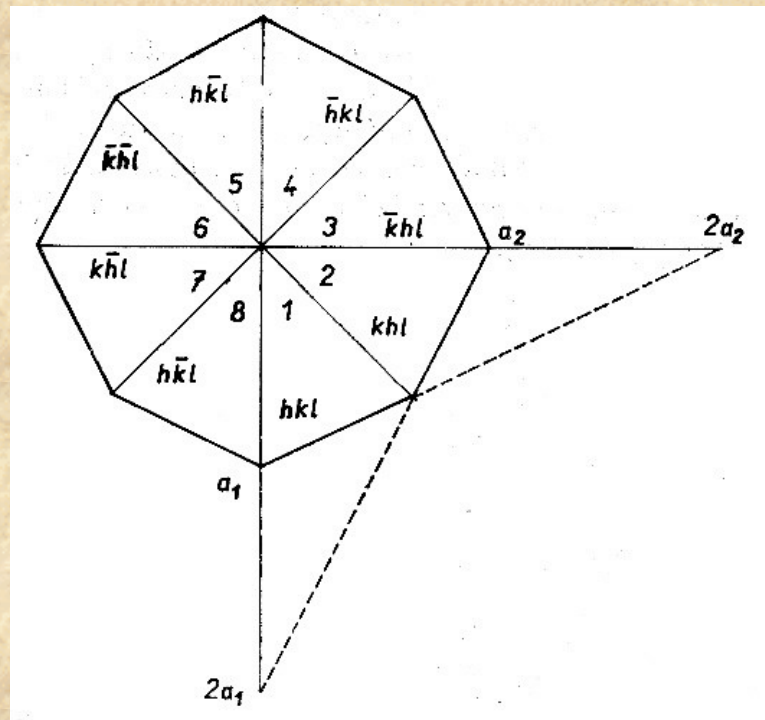
Tetragonální soustava

Tvary tetragonální soustavy jsou vztahovány ke třem krystalografickým osám, které navzájem svírají pravé úhly. Horizontální osy jsou stejně dlouhé a zaměnitelné ($x, y = a_1, a_2$), vertikální osa z se liší délkou. Základní poměr parametrů se udává jako $c : a$ (totéž $z : x$). Vertikální osu z vždy ztotožňujeme s osou čtyřčetnou nebo čtyřčetnou inverzní.



Tetragonální soustava

Pasné osy v tetragonální soustavě jsou rovnocenné a Millerovy indexy h a k se vztahují k osám a_1 a a_2 podle zásady $h > k$. Plochu 1 můžeme označit Millerovým symbolem (211) nebo obecně (hkl). Plocha 2 má Millerův symbol (121) nebo obecně (khl).

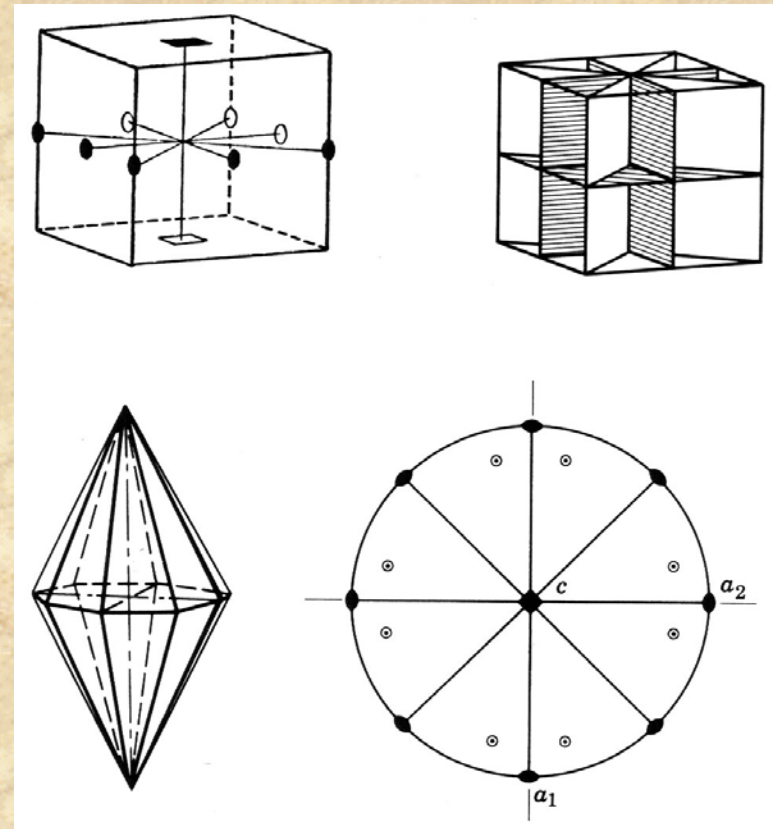


Oddělení ditetragonálně dipyramidální

$4/m \ 2/m \ 2/m$

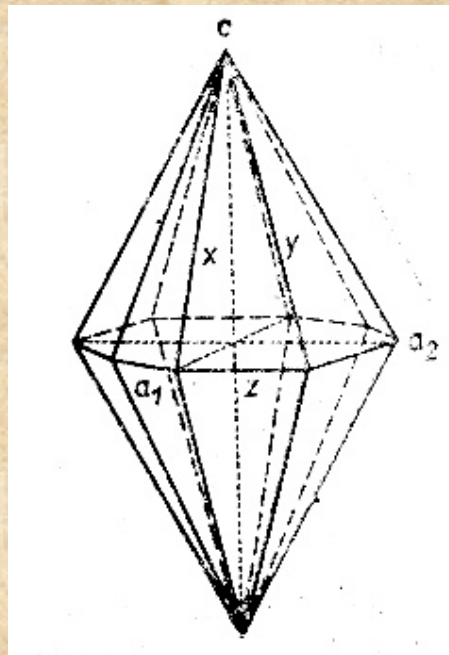
Vertikální krystalografická osa z je totožná se čtyřčetnou rotační osou, na kterou je kolmá horizontální rovina symetrie. Kombinace těchto prvků symetrie vyvozuje existenci $2 + 2$ vertikálních rovin symetrie, jejichž průnik s horizontální rovinou dává vzniknout $2 + 2$ dvojčetným rotačním osám.

V oddělení krystalují např. kasiterit, zirkon, rutil nebo vesuvián.



Oddělení ditetragonálně dipyramidální $4/m \ 2/m \ 2/m$

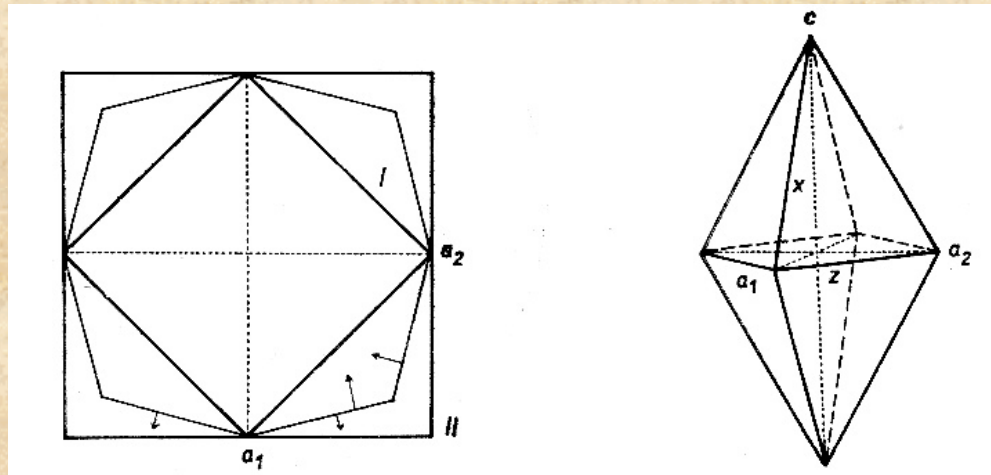
Ditetragonální dipyramida $\{hkl\}$ je tvar složený z 16 trojúhelníkových ploch a v pasném řezu je omezena rovnostranným osmiúhelníkem. Odvozovací indexy mohou být v intervalu $(n > 1, n < \infty)$.



Oddělení ditetragonálně dipyramidální $4/m\ 2/m\ 2/m$

Pokud odvozovací indexy na obou pasných osách budou právě 1, páry ploch nad oktanty splynou v jedinou plochu a osmiúhelníkový pasný řez se změní na prvořadý čtyřúhelníkový a vznikne **prvořadá tetragonální dipyramida** $\{hhl\}$.

Pokud odvozovací index na jedné z pasných os bude právě ∞ , splývají páry ploch ležících ve dvou sousedních oktantech a výsledkem je tvar **druhořadá tetragonální dipyramidy** $\{h0l\}$.

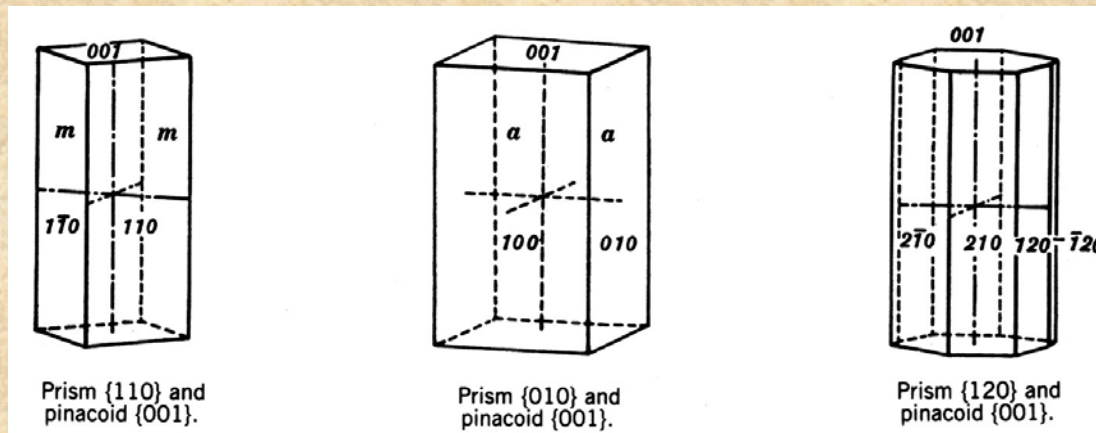


Oddělení ditetragonálně dipyramidální $4/m\ 2/m\ 2/m$

Vyjdeme-li z ditetragonální dipyramidy a odvozací parametr c bude ∞ , dostaneme tvar **ditetragonálního prizmatu** $\{hk0\}$.

Podobně odvodíme z tetragonální protodipyramidy a deuterodipyramidy **tetragonální prvořadé prizma** (protoprizma) $\{110\}$ a **tetragonální druhořadé prizma** (deuteroprizma) $\{100\}$.

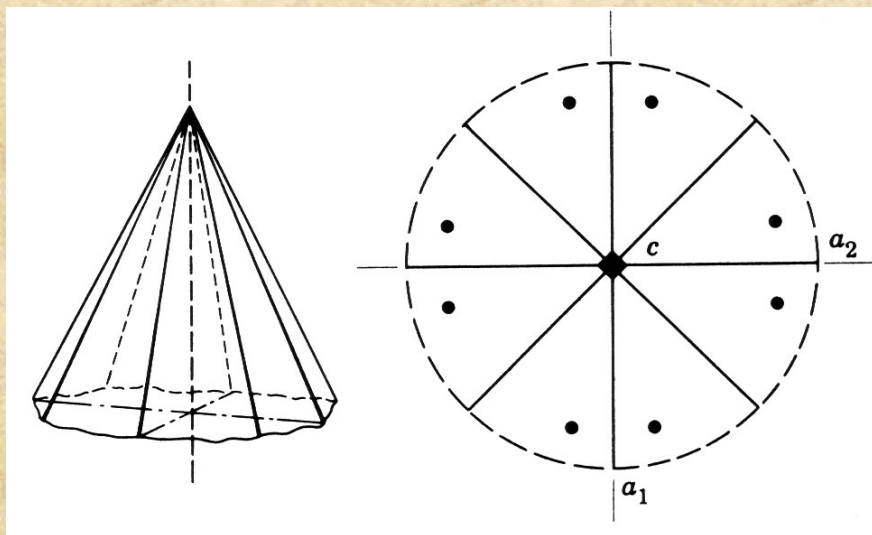
Bazální pinakoid $\{001\}$ je složen ze dvou paralelních ploch, kolmých k 4-četné ose. Pinakoid vzniká, když odvozací indexy na pasných osách dosáhnou hodnoty ∞ .



Oddělení ditetragonálně pyramidální (4mm)

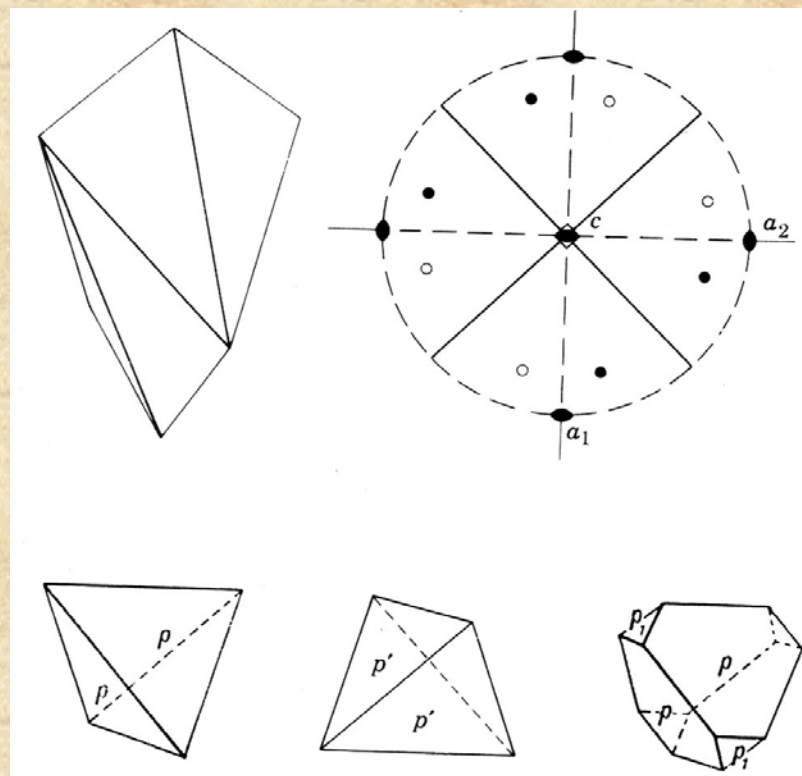
Vertikále odpovídá 4-četná rotační polární osa, ve které se protínají čtyři roviny symetrie.

Chybějící horizontální rovina symetrie způsobuje hemimorfní vývoj. Obecným tvarem je **ditetragonální pyramida** horní $\{hkl\}$ a dolní $\{hk-1\}$. Jako v předcházejícím oddělení můžeme odvodit **tetragonální protopyramidu** horní $\{hhl\}$ a dolní $\{hh-1\}$ a **tetragonální deuteropyramidu** horní $\{h0l\}$ a dolní $\{h0-1\}$. **Ditetragonální prizma** je $\{hk0\}$, **tetragonální protoprizma** $\{110\}$ a **tetragonální deuteroprizma** $\{100\}$. Přítomny mohou být **pedia** horní $\{001\}$ nebo dolní $\{00-1\}$.



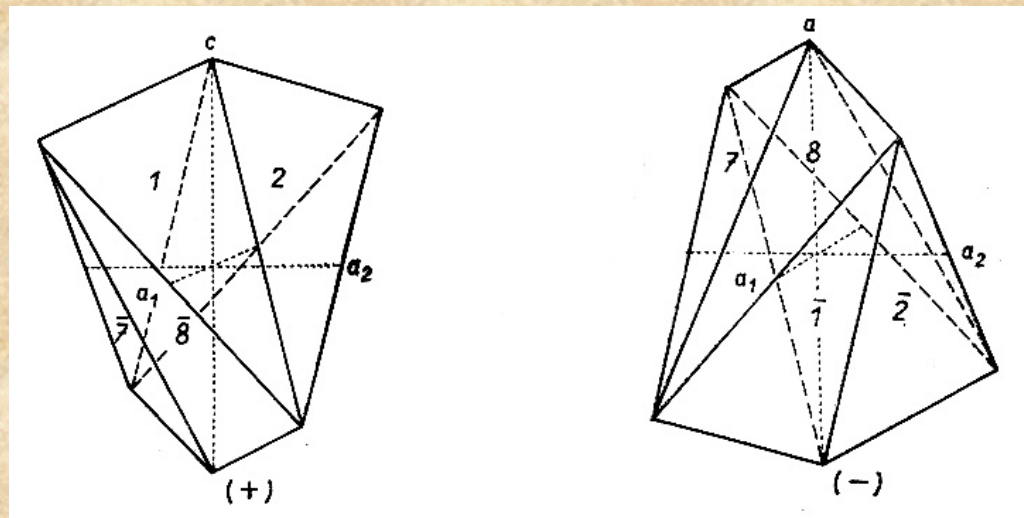
Oddělení tetragonálně skalenoedrické $\bar{4}2m$

Osa čtyřčetná inverzní odpovídá ose z , a dvojčetné osy odpovídají pasným osám. Roviny symetrie svírají s pasnými osami úhel 45° a protínají se ve vertikále. Obecným hemiedrickým tvarem je **tetragonální skalenoedr.**



Oddělení tetragonálně skalenoedrické $\bar{4}2m$

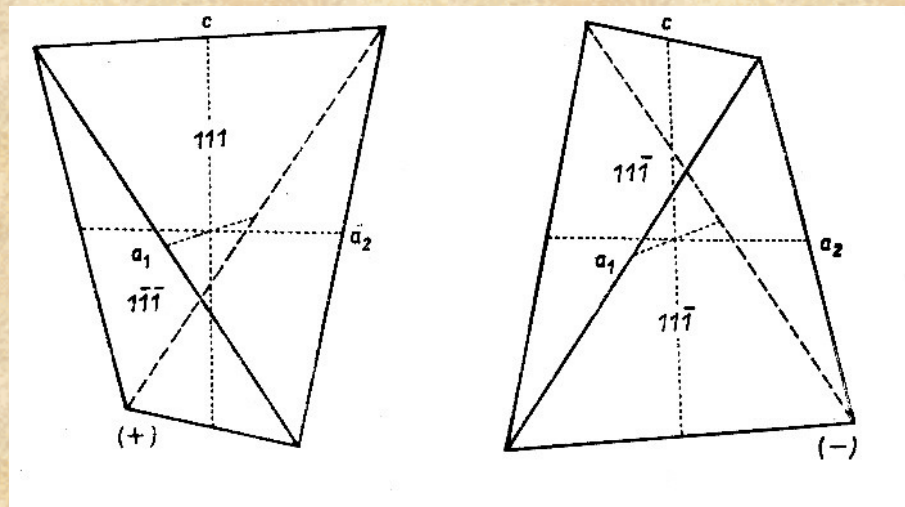
Vynecháme-li střídavě dvě horní a spodní plochy na ditetragonální dipyramidě (hemiedrie skalenoedrického typu) dostaneme **tetragonální skalenoedr**. Vyjdeme-li z pravého horního oktantu dostaneme pozitivní tvar $\{hkl\}$, pokud z levého horního dostaneme negativní tvar $\{h\bar{k}l\}$. Tvar se skládá z osmi ploch ve tvaru skalenických trojúhelníků.



Oddělení tetragonálně skalenoedrické $\bar{4}2m$

Předpokládáme-li odvozoací indexy na pasných osách rovny $m = 1$, spojí se dvojice ploch střídavě v horní a dolní polovině krystalu a vznikne **tetragonální disfenoid** pozitivní $\{hhl\}$ a negativní $\{h-hl\}$.

Tetragonální disfenoid je hemiedr tetragonální protodipyramidy.



Oddělení tetragonálně skalenoedrické $\bar{4}2m$

Pokud budou mít plochy tetragonálního skalenoedru na jedné pasné ose odvozovací index ∞ , vznikne **tetragonální deuterodipyramida** $\{h0l\}$.

Prodlužováním odvozovacího indexu na ose z na ∞ , vznikne ze skalenoedru **ditetragonální prizma** $\{hk0\}$, z disfenoidu **tetragonální protoprizma** $\{110\}$ a z tetragonální deuterodipyramidy vznikne **tetragonální deuteroprizma** $\{100\}$.

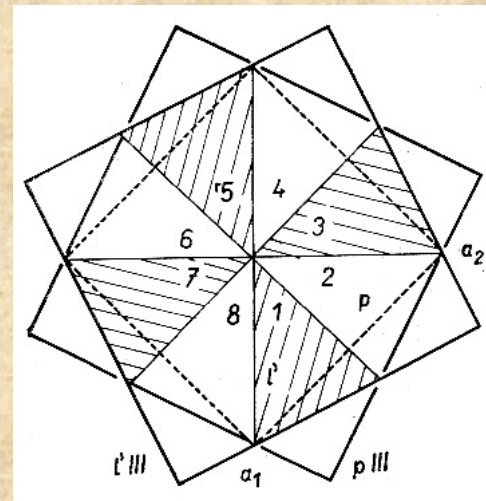
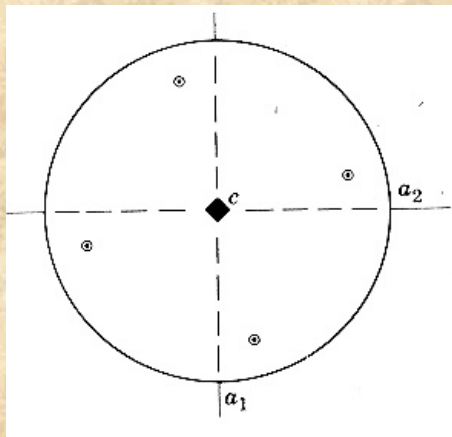
Pokud mají pasné osy oba odvozovací index rovny ∞ , vznikne bazální **pinakoid** $\{001\}$.

Oddělení tetragonálně dipyramidální $4/m$

Přítomné prvky symetrie jsou čtyřčetná rotační osa a na ni kolmá rovina symetrie.

Operacemi souměrnosti se obecná plocha $\{hkl\}$ zobrazí jako **tetragonální dipyramida** třetího řádu (tritodipyramida) levá $\{hkl\}$ nebo pravá $\{khl\}$. Odvození je možné provést z ditetragonální dipyramidy hemiedrickou redukcí dipyramidálního typu.

Na krystalech mohou být přítomny i **protodipyramida** $\{hhl\}$ a **deuterodipyramida** $\{h0l\}$.



Oddělení tetragonálně dipyramidální $4/m$

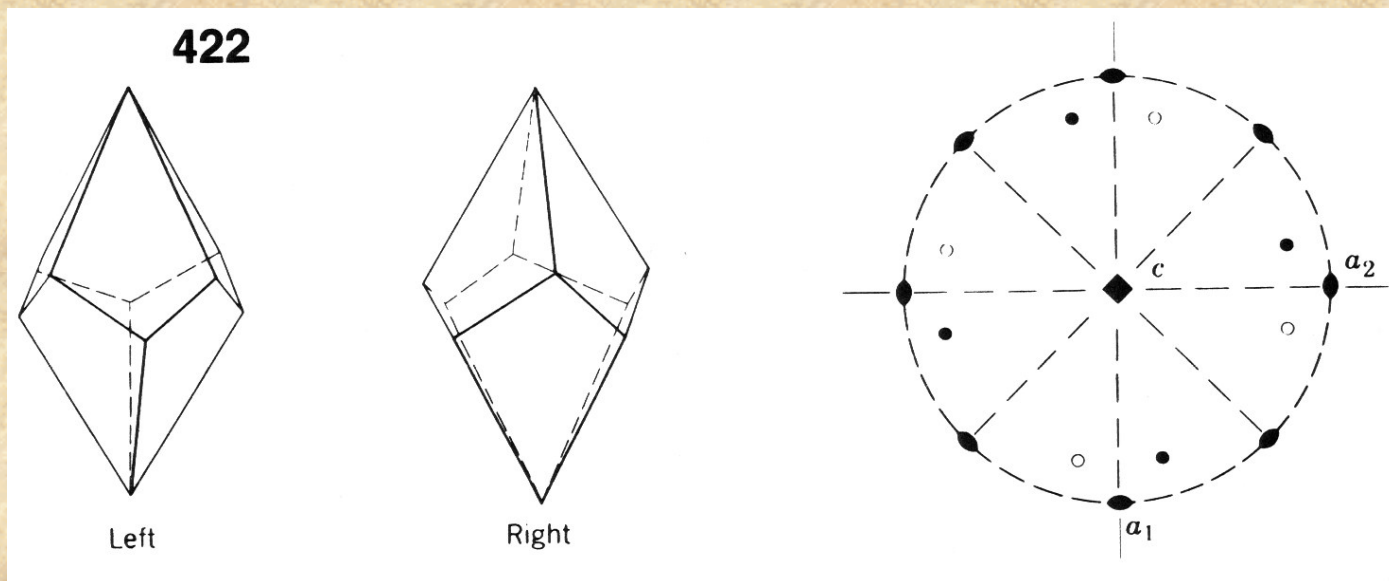
Obdobně se z ditetragonálního prizmatu odvodí **tritoprizma** levé $\{hk0\}$ a pravé $\{kh0\}$. Přítomno může být i protoprizma $\{110\}$ a deuteroprizma $\{100\}$ a bazální pinakoid $\{001\}$,

Rozlišení tvarů třetího řádu (tritotvarů) pravých od levých a od tvarů prvořadých a druhořadých je možné pouze na vhodné spojce.

Oddělení tetragonálně trapezoedrické 422

Vertikální osa odpovídá ose čtyřčetné a na ni jsou kolmé čtyři dvojčetné osy. *Roviny symetrie a střed symetrie chybí.*

Trapezoedrickou hemiedrickou redukcí získáme obecný tvar **tetragonálního trapezoedru**. Jedná se o enantiomorfní tvar – levý $\{hkl\}$ a pravý $\{khl\}$. Kratší hrana levého trapezoedru směřuje zprava vlevo dolů.



Oddělení tetragonálně trapezodrické 422

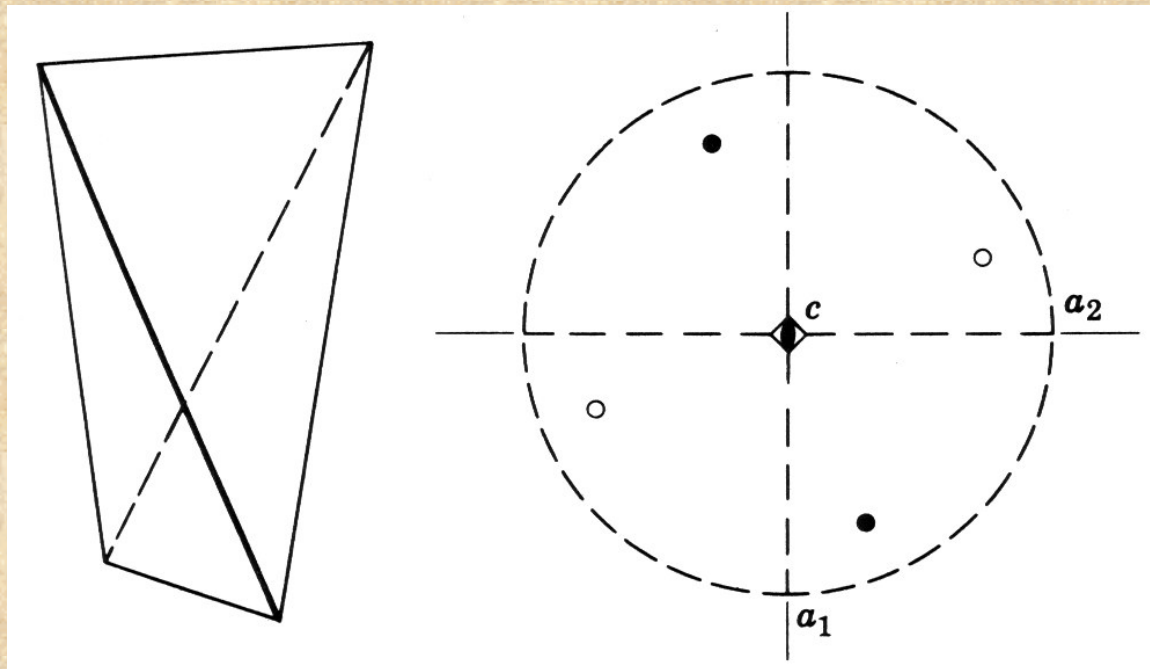
Ostatní tvary se morfologicky shodují s ditetragonálně dipyramidálním oddělením:

- Tetragonální protodipyramida $\{hhl\}$
- Tetragonální deuterodipyramida $\{h0l\}$
- Ditetragonální prizma $\{hk0\}$
- Tetragonální protoprizma $\{110\}$
- Tetragonální deuteroprizma $\{100\}$
- Bazální pinakoid $\{001\}$

Oddělení tetragonálně disfenoidické $\bar{4}$

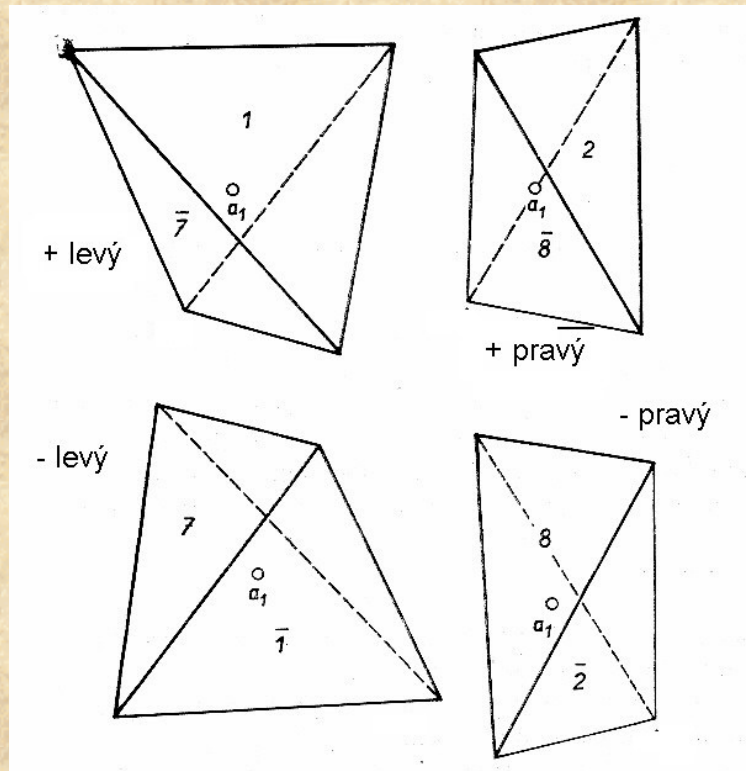
Vertikála je totožná s čtyřčetnou inverzní osou. Další prvky symetrie nejsou přítomny.

Obecný tvar lze odvodit z holodrického oddělení dvěma hemiedrickými operacemi zároveň – pyramidální a skalenodrickou meroedrií. Dostaneme tak tetartoedr označovaný jako **tetragonální disfenoid**.



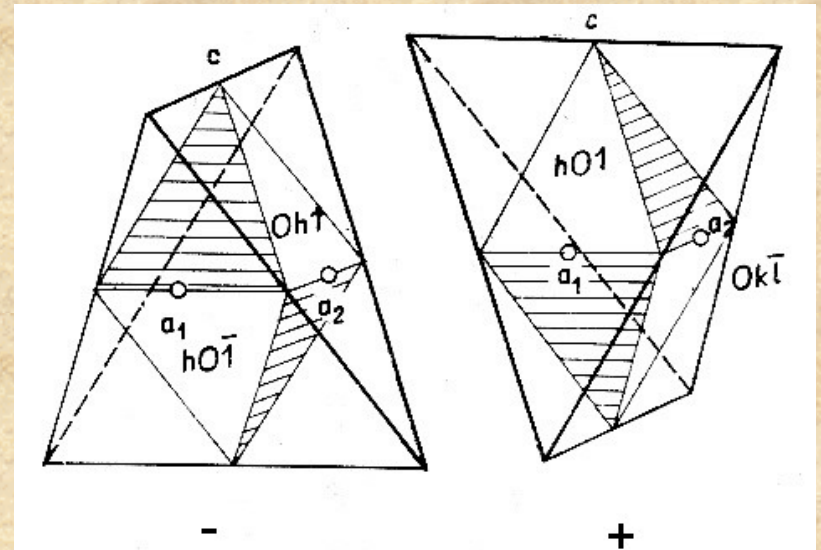
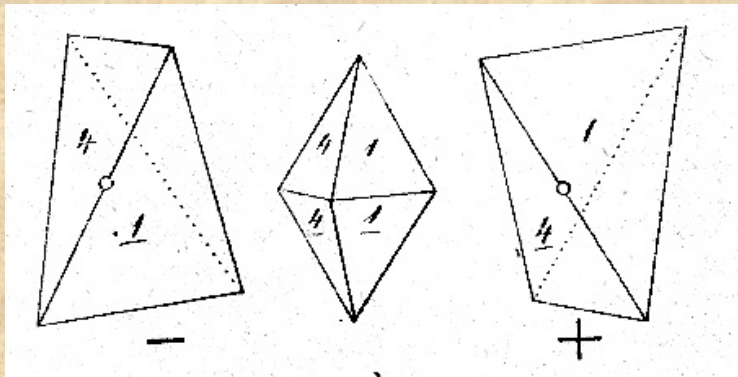
Oddělení tetragonálně disfenoidické $\bar{4}$

Tetragonální (trito)disfenoid je uzavřený tvar, který jako tetartoeдр má čtyři možná postavení: *levý* tvar může mít polohu pozitivní {hkl} a negativní {k-hl}, *pravý* tvar může být pozitivní {khl} a negativní {h-kl}.



Oddělení tetragonálně disfenoidické $\bar{4}$

Pokud budou odvozovací indexy na pasných osách rovny $m = 1$, vznikne **tetragonální protodisfenoid** pozitivní $\{hhl\}$ a negativní $\{h-hl\}$. Druhým krajním případem je jeden pasný odvozovací index $m = \infty$ za vzniku **tetragonálního deuterodisfenoidu** pozitivního $\{h0l\}$ a negativního $\{0kl\}$.



Oddělení tetragonálně disfenoidické $\bar{4}$

Prodloužením úseků na vertikále na odvozovací index ∞ u tritodisfenoidu dostaneme **tetragonální tritoprizma** levé $\{hk0\}$ a pravé $\{kh0\}$.

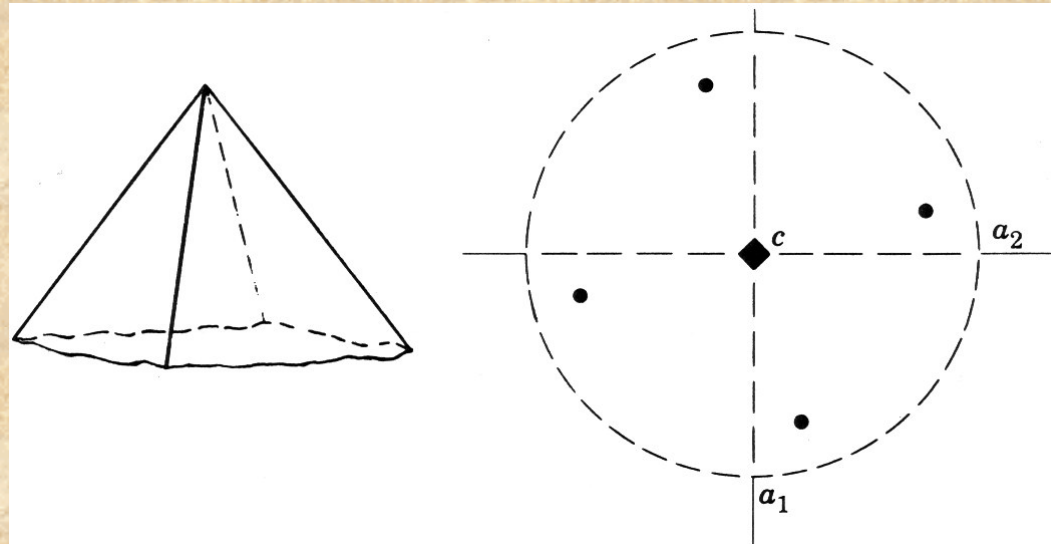
Podobnou operací u proto- a deuterodisfenoidu získáme **tetragonální protoprizma** $\{110\}$ a **deuteroprizma** $\{100\}$.

Přítomen může být i **bazální pinakoid** $\{001\}$.

Oddělení tetragonálně pyramidální 4

Vertikální osa odpovídá čtyřčetné rotační ose. Oddělení je hemimorfní.

Obecným tvarem $\{hkl\}$ je **tetragonální tritopyramida** levá $\{hkl\}$ a pravá $\{khl\}$ horní a levá $\{hk-1\}$ a pravá $\{kh-1\}$ spodní.



Oddělení tetragonálně pyramidální 4

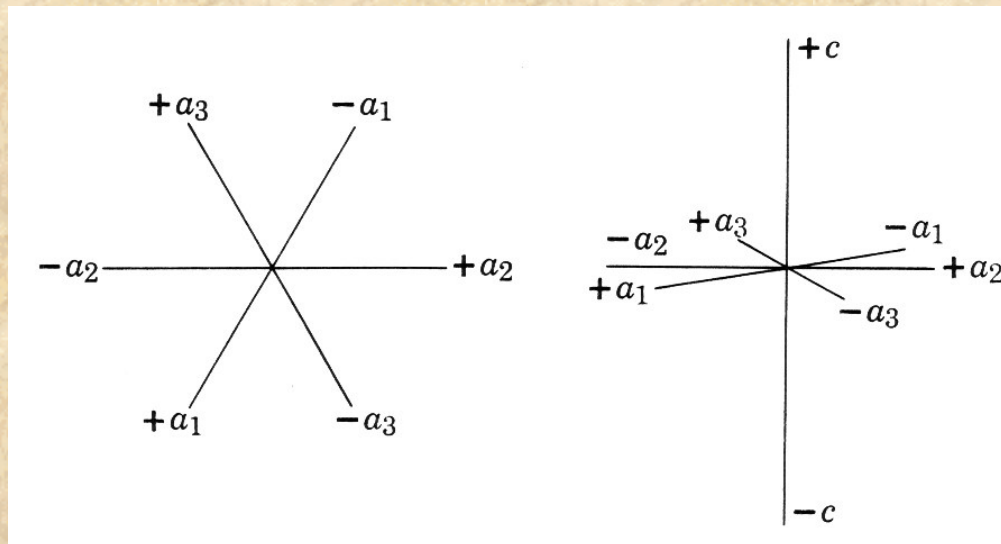
Všechny další tvary vytínající vertikálu rozlišujeme na horní a dolní, tvary rovnoběžné s vertikálou odpovídají tetragonálně dipyramidálnímu oddělení.

- ❑ Tetragonální protopyramida horní $\{hhl\}$ a dolní $\{hh-1\}$
- ❑ Tetragonální deuteropyramida horní $\{h0l\}$ a dolní $\{h0-1\}$
- ❑ Tetragonální tritoprizma levé $\{hk0\}$ a pravé $\{kh0\}$
- ❑ Tetragonální protoprizma $\{110\}$
- ❑ Tetragonální deuteroprizma $\{100\}$
- ❑ Pedión horní $\{001\}$ a spodní $\{00-1\}$

Hexagonální a trigonální soustava

Krystalová oddělení v hexagonální soustavě mají za základ hexagonální mřížku, trigonální oddělení začínají symboly 3 nebo -3 a vycházejí z mřížky romboedrické.

V obou soustavách je vyhovující čtyřosý krystalografický osní kříž. Tři osy, označované jako a_1 , a_2 , a_3 , leží v horizontální (pasné) rovině, mají stejnou délku a svírají úhel 120° mezi svými pozitivními konci. Čtvrtá je vertikální osa z . Osní roviny rozdělují prostor osního kříže na dvanáct dodekantů.



Hexagonální a trigonální soustava

Indexování ploch pomocí Millerových symbolů je v tomto osním systému z řady důvodů nevýhodné.

Mnohem lépe se osvědčily čtyřčíselné indexy ploch označované jako **Bravaisovy symboly** (hk-il).

V symbolech krystalových ploch se hodnoty uvádějí vždy v pořadí $a_1 : a_2 : a_3 : c$.

V dalším textu bude značení ploch prováděno systémem $i > h > k$ ve shodě s učebnicí Slavík (1974).

i – zastupuje úsek na té ose, který odpovídá nejvyšší reciproké hodnotě

h – odpovídá ose jejíž hodnota reciprokého odvozovacího indexu je střední

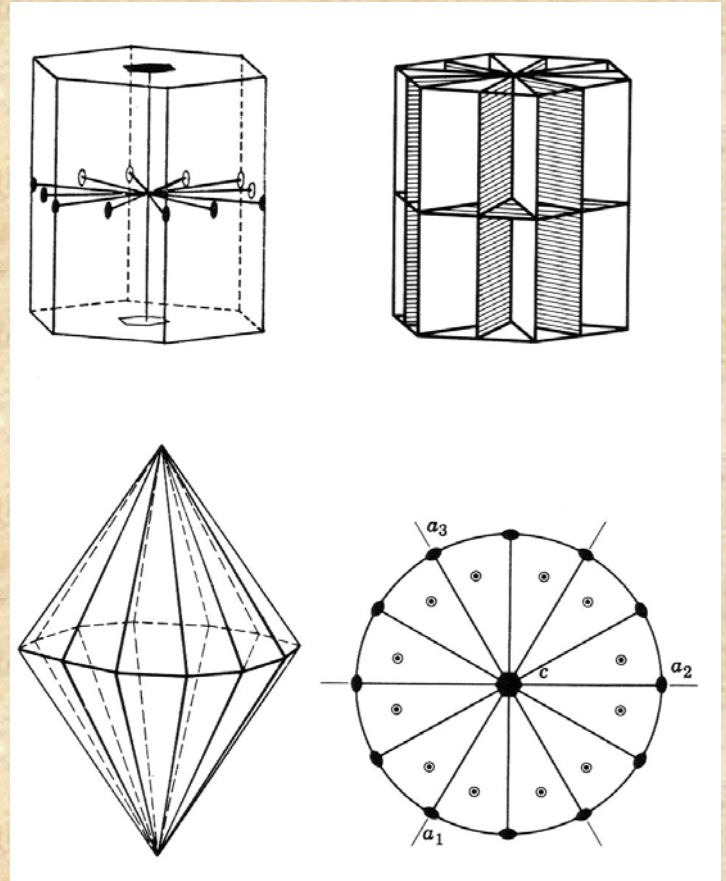
k – vyjadřuje nejmenší reciproký odvozovací úsek.

Plocha (21-31) odpovídá obecnému symbolu (hk-il) nebo plocha (12-31)

odpovídá obecně (kh-il).

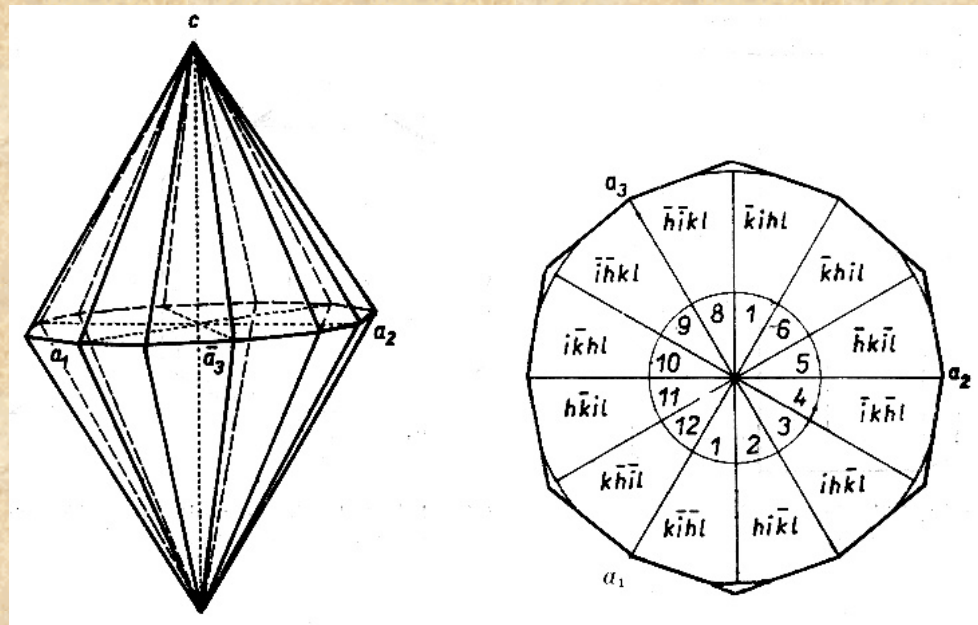
Oddělení dihexagonálně dipyramidální $6/m\ 2/m\ 2/m$

Vertikální osa je totožná s rotační šestičetnou osou, v pasné rovině leží šest dvojčetných os - tři souhlasí s krystalografickými osami a tři půlí úhel mezi nimi. Dále je přítomna jedna pasná rovina symetrie a šest rovin vertikálních.



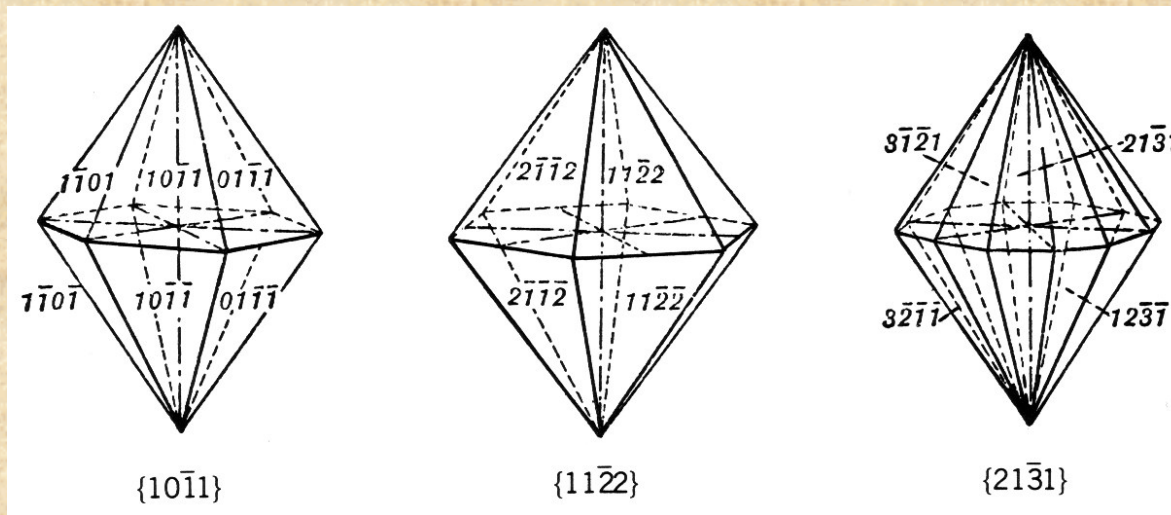
Oddělení dihexagonálně dipyramidální $6/m\ 2/m\ 2/m$

Obecným tvarem je **dihexagonální dipyramida** $\{hk-il\}$ složená z 24 ploch ve tvaru rovnoramenných trojúhelníků. Odvozovací indexy na pasných osách jsou v intervalu (1, 2). Pasný řez odpovídá pravidelnému dihexagonu – dvanáctiúhelník se střídajícími se ostřejšími a tupějšími úhly.



Oddělení dihexagonálně dipyramidální 6/m 2/m 2/m

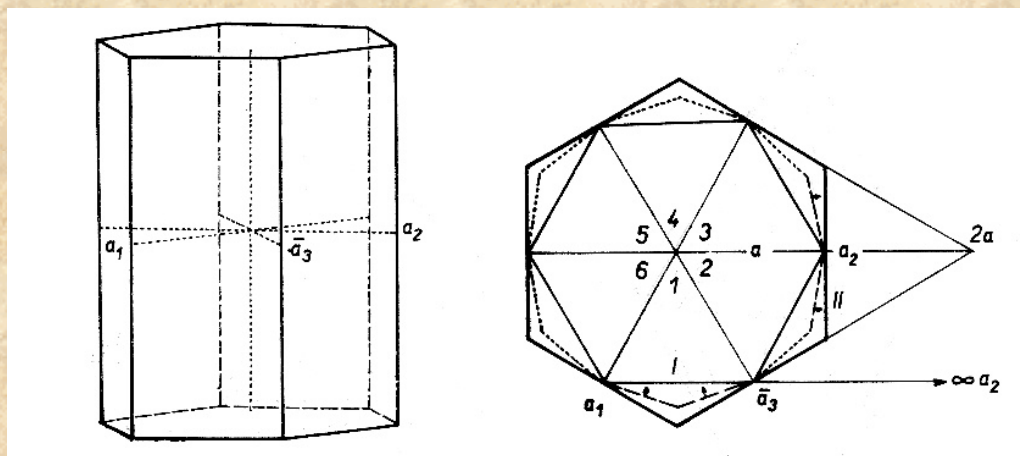
Dosáhne-li odvozovací index v pasné rovině $n = 1$, spojí se plochy v dodekantech a vznikne **hexagonální dipyramida prvořadá** (protodipyramida) $\{h0-hl\}$. Dosáhne-li odvozovací index obecného tvaru na jedné z os $n = 2$, vznikne **hexagonální dipyramida druhořadá** (deuterodipyramida) $\{hh-2hl\}$.



Oddělení dihexagonálně dipyramidální $6/m \ 2/m \ 2/m$

Dosáhne-li odvozovací parametr na ose z $p = \infty$, vznikne z dihexagonální dipyramidy **dihexagonální prizma** $\{hk-i0\}$, z hexagonální protodipyramidy **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$ a z hexagonální deuterodipyramidy **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.

Bazální pinakoid $\{0001\}$ je složen ze dvou rovnoběžných ploch, které jsou kolmé k šestičetné ose a paralelní s horizontální rovinou symetrie. Odvozovací indexy v pasné rovině jsou $n = \infty$.

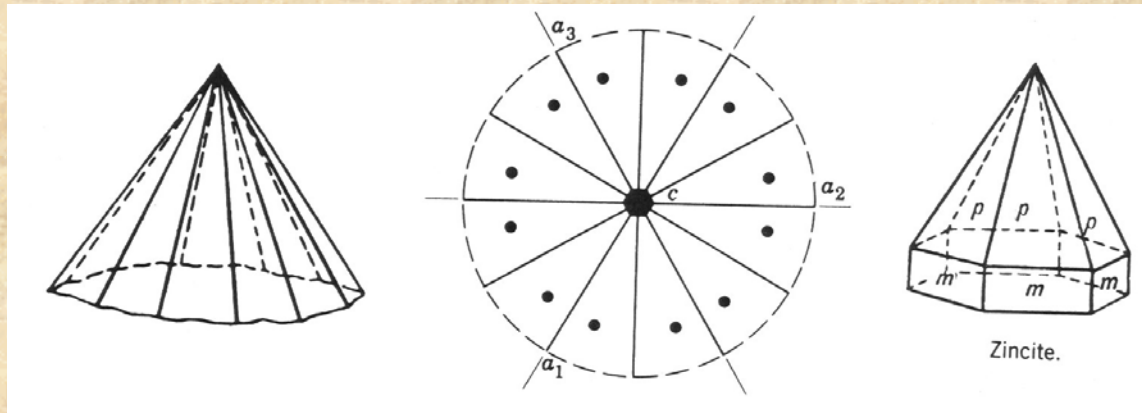


Oddělení dihexagonálně pyramidální 6mm

Osa z odpovídá šestičetné polární rotační ose, kterou protíná 6 vertikálních rovin symetrie.

Obecným tvarem je **dihexagonální pyramida** horní $\{hk-il\}$ a dolní $\{hk-i-l\}$. Další možné tvary jsou hemimorfní, pokud vytínají osu z , tvary vertikálního pásma si zachovávají morfologickou plnoplochost.

Hexagonální protopyramidu rozlišíme horní $\{h0-hl\}$ a dolní $\{h0-h-l\}$, podobně **hexagonální deuteropyramidu** horní $\{hh-2hl\}$ a dolní $\{hh-2h-l\}$.



Oddělení dihexagonálně pyramidální 6mm

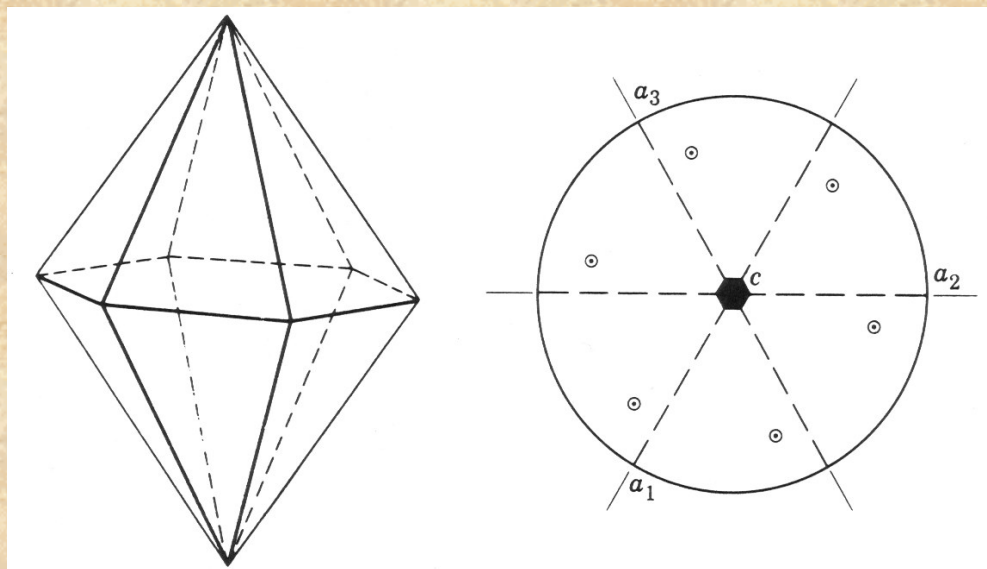
Prodloužením odvozovacího indexu na ose z na $p = \infty$ dostaneme z dihexagonální pyramidy **dihexagonální prizma** $\{hk-i0\}$, a z hexagonálních pyramid **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$ a **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.

Bazální pinakoid se mění na **pedia** horní $\{0001\}$ a dolní $\{000-1\}$.

Oddělení hexagonálně dipyramidální $6/m$

Z prvků symetrie je přítomna pouze šestičetná rotační osa a na ni kolmá rovina symetrie.

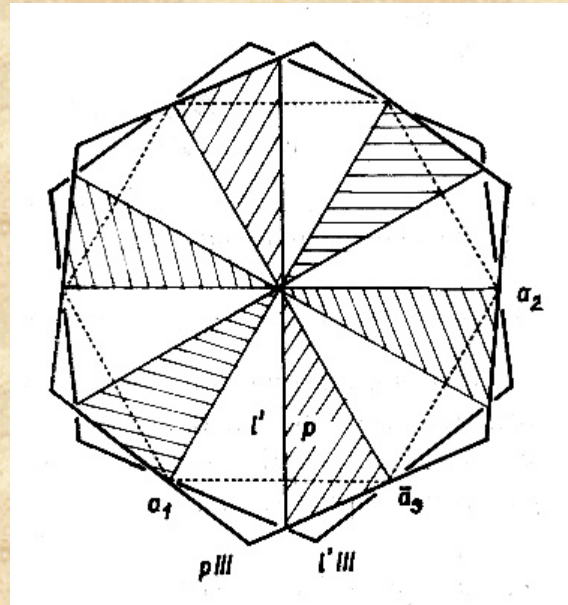
Obecným tvarem tohoto oddělení je **hexagonální dipyramida**, kterou lze odvodit z dihexagonální dipyramidy vynecháním poloviny horních a poloviny spodních ploch (hemiedrie dipyramidálního typu).



Oddělení hexagonálně dipyramidální 6/m

Redukcí podle hemiedrie dypiramidálního typu dostaneme **třetířadou hexagonální dipyramidu** (tritodipyramidu) ve dvou postaveních. Pravý tvar je $\{hk-il\}$ a levý $\{i-k-hl\}$. Odvozovací indexy v pasné rovině jsou $n > 1$ a $n < 2$.

Je-li odvozovací index na pasných osách $n = 1$, dostaneme **hexagonální protodipyramidu** $\{h0-hl\}$, je-li $n = 2$ dostáváme **hexagonální deuterodipyramidu** $\{hh-2hl\}$.



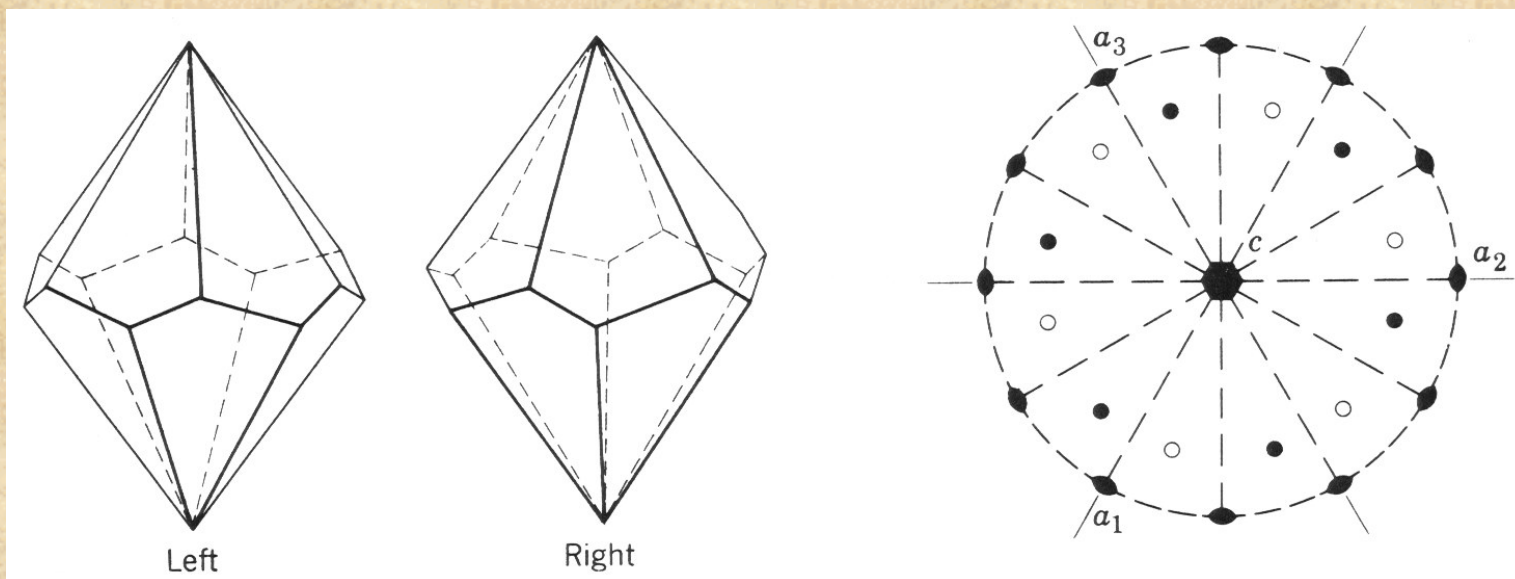
Oddělení hexagonálně dipyramidální 6/m

Zvětšováním odvozovacího indexu na ose z na $p = \infty$ dostaneme tvary vertikálního pásma. Z hexagonální tritodipyramidy odvodíme hexagonální **tritoprizma** pravé $\{hk-i0\}$ a levé $\{i-k-h0\}$. Z protodipyramidy a deuteropdipyramidy odvodíme hexagonální **protoprizma** $\{10-10\}$ a hexagonální **deuteroprizma** $\{11-20\}$. Prodlužováním odvozovacího indexu v pasné rovině na $n = \infty$ dostaneme **bazální pinakoid** $\{0001\}$.

Oddělení hexagonálně trapezodrické 622

Jedná se o kompletní osovou symetrii pro hexagonální soustavu, osy symetrie jsou uspořádány jako v holodrickém oddělení, ale chybí roviny a střed symetrie.

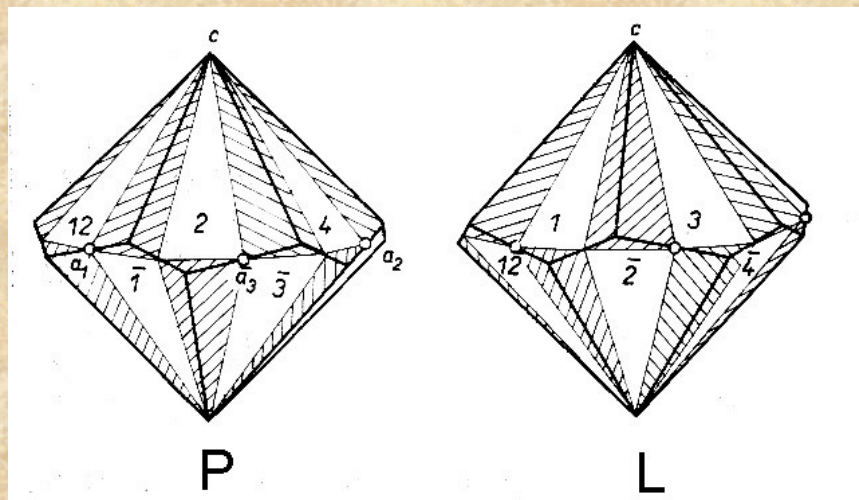
Obecným tvarem je **hexagonální trapezodr**.



Oddělení hexagonálně trapezodrické 622

Redukováním dihexagonální dipyramidy podle hemiedrie trapezodrického typu obdržíme **hexagonální trapezod** ve dvou pozicích: pravý $\{hk-il\}$ a levý $\{ik-hl\}$. Obě pozice jsou navzájem enantiomorfní.

Je-li odvozovací index trapezodru na ose z $p = \infty$, dostaneme **dihexagonální prizma** $\{hk-i0\}$.



Oddělení hexagonálně trapezodrické 622

Hexagonální trapezoedr s odvozovacím pasným indexem $n = 1$ přechází na **hexagonální protodipyramidu** $\{h0-h1\}$, s odvozovacím indexem $n = 2$ na **hexagonální deuterodipyramidu** $\{hh-2h1\}$.

Při odvozovacím indexu na ose z $p = \infty$ vznikají **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$ a **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.
Přítomen může být i bazální **pinakoid** $\{0001\}$.

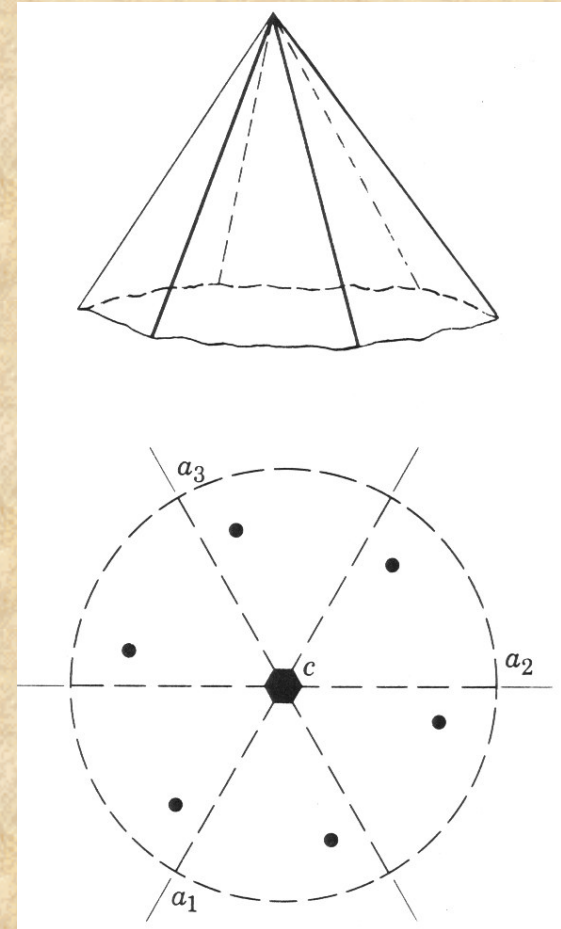
Oddělení hexagonálně pyramidální 6

Vertikální osa z odpovídá šestičetné polární rotační ose, jiné prvky symetrie nejsou přítomny.

Morfologii obecného tvaru (tetartoedr) dostaneme kombinací meroedrie dipyramidálního a trapezoedrického typu.

Výsledné **hexagonální tritopyramidy** jsou různocenné nezávislé tvary:

- pravá horní $\{hk-il\}$
- pravá dolní $\{hk-i-l\}$
- levá horní $\{i-k-hl\}$
- levá dolní $\{i-k-h-l\}$.



Oddělení hexagonálně pyramidální 6

Další tvary se shodují s hexagonálně dipyramidálním oddělením, pouze tvary vytínající z jsou hemimorfní horní a dolní.

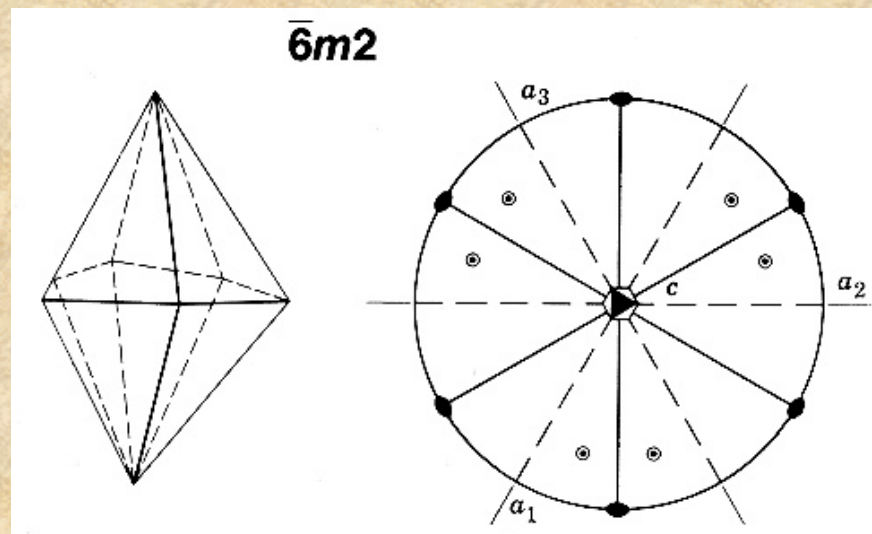
Jsou to **hexagonální protopyramida** horní $\{h0-h1\}$ a dolní $\{h0-h-1\}$, **hexagonální deuteropyramida** horní $\{hh-2h1\}$ a dolní $\{hh-2h-1\}$.

Podobně rozlišujeme horní $\{0001\}$ a dolní $\{000-1\}$ **pedion**.

Ve vertikálním pásme lze odvodit **hexagonální tritoprizma** levé $\{i-k-h0\}$ a pravé $\{hk-i0\}$, **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$ a **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.

Oddělení ditrigonálně dipyramidální $\bar{6}2m$

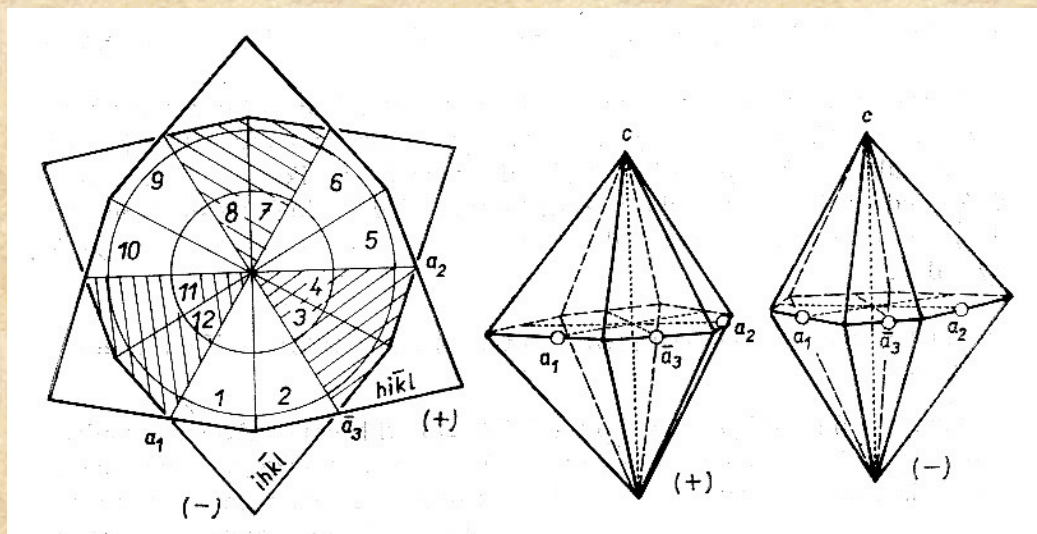
Šestičetná inverzní osa ve směru osy z může být nahrazena trojčetnou osou kolmou na pasnou rovinu symetrie. V trojčetné ose se protínají tři meziosní roviny symetrie. Průsečíky meziosních rovin s pasnou rovinou symetrie dávají vzniknout třem polárním dvojčetným osám. Obecným tvarem oddělení je **ditrigonální dipyramida** $\{hk-il\}$.



Oddělení ditrigonálně dipyramidální $\bar{6}2m$

Ditrigonální dipyramida může být považována za hemiedr dihexagonální dipyramidy. Odvození provádíme střídavým vynecháváním dvojplášť v horní a spodní polovině. Zachováním ploch 1,2 a -1,-2, dále 5, 6 a -5, -6 a nakonec 9, 10 a -9, -10 dostaneme **ditrigonální dipyramidu** pozitivní $\{hk-il\}$, vynecháním týchž ploch pak ditrigonální dipyramidu negativní $\{-ki-hl\}$.

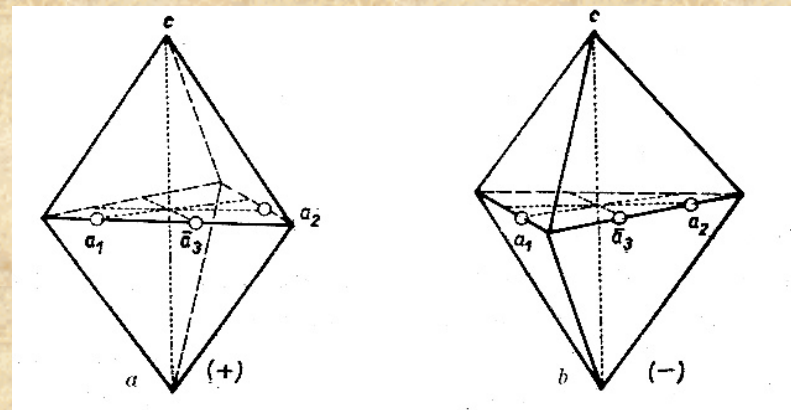
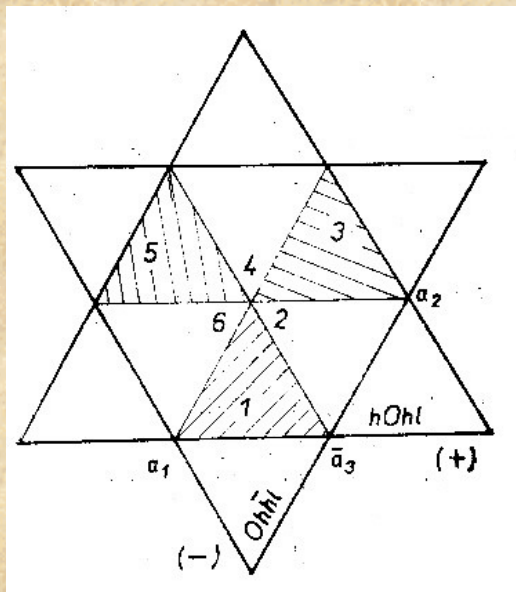
Je-li odvozovací index na z roven $p = \infty$ dostaneme tvary **ditrigonálního prizmatu** pozitivního $\{hk-i0\}$ a negativního $\{-ki-h0\}$.



Oddělení ditrigonálně dipyramidální $\bar{6}2m$

Je-li odvozovací index ditrigonální dipyramidy na vedlejších osách na limitní hodnotě $n = 1$, plochy dodekantů splynou do tvaru **trigonální protodipyramidy** pozitivní $\{h0-hl\}$ a negativní $\{0h-hl\}$.

Prodloužením odvozovacího indexu na ose z na $p = \infty$ dostaneme **trigonální protoprizma** pozitivní $\{10-10\}$ a negativní $\{01-10\}$.



Oddělení ditrigonálně dipyramidální $\bar{6}2m$

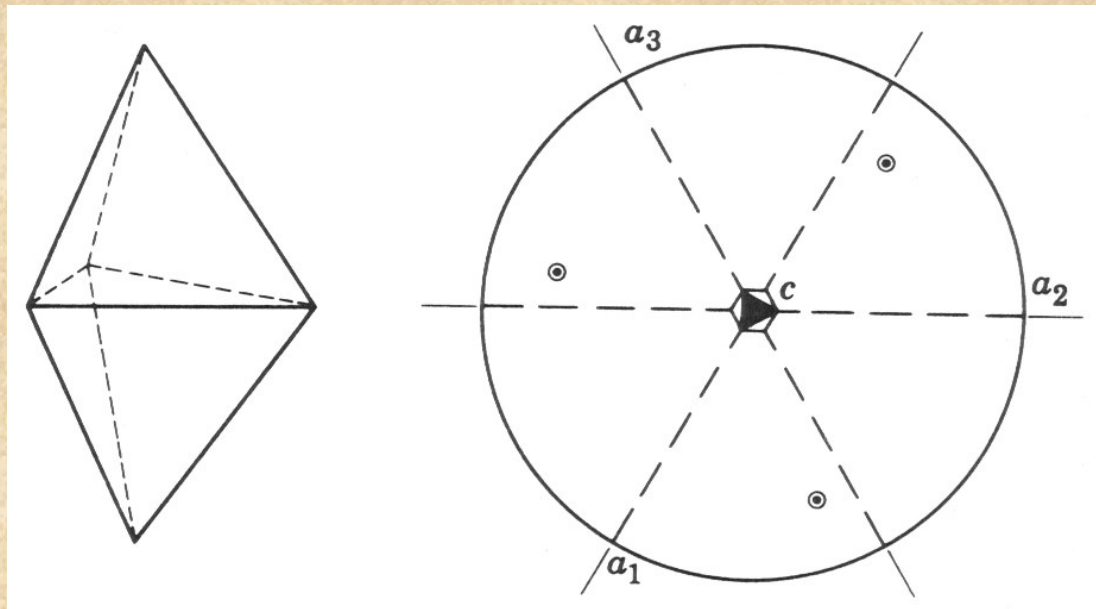
Je-li odvozovací index ditrigonální dipyramidy na vedlejších osách na limitní hodnotě $n = 2$, vyvine se každá plocha individuálně a protne se v nových hranách a vznikne tvar **hexagonální deuterodipyramidy** $\{hh-2hl\}$. Prodloužením odvozovacího indexu osy z na $p = \infty$ vznikne **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.

Přítomen může být i **bazální pinakoid** $\{0001\}$.

Oddělení trigonálně dipyramidální $\bar{6}$

Prvkem symetrie je šestičetná inverzní osa.

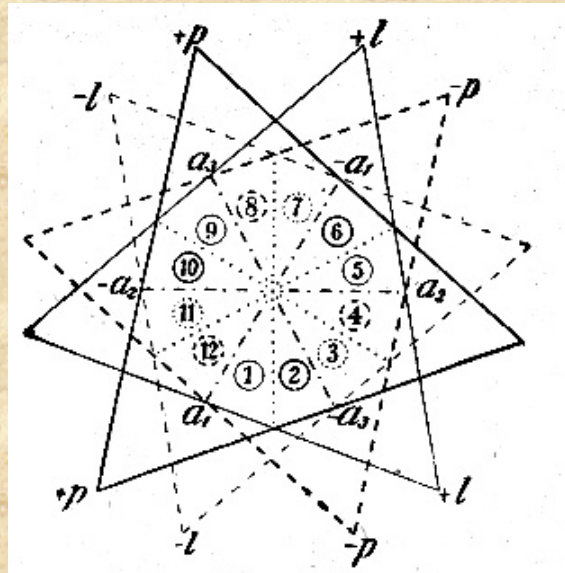
Obecným tvarem je **trigonální tritodipyramida**, která je tetartoedrií dihexagonální dipyramidy. Tvoří ji šest ploch - tři horní a tři dolní. *Symetrie tohoto oddělení nedovoluje hexagonální tvary.*



Oddělení trigonálně dipyramidální $\bar{6}$

Odvozením od dihexagonální dipyramidy použitím hemiedrie ditetragonálně dipyramidální a hexagonálně pyramidální, získáme **trigonální tritodipyramidu**. Ta může mít celkem čtyři postavení (odpovídající trigonální **tritoprizmata**):

- Pozitivní levá {i-k-hl}, tritoprizma pozitivní levé {i-k-h0}
- Pozitivní pravá {hk-il}, tritoprizma pozitivní pravé {hk-i0}
- Negativní levá {-ki-hl}, tritoprizma negativní levé {-ki-h0}
- Negativní pravá {kh-il}, tritoprizma negativní pravé {kh-i0}

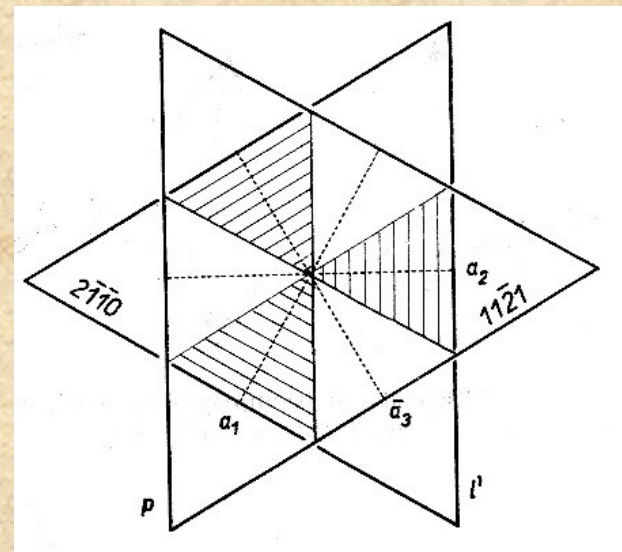
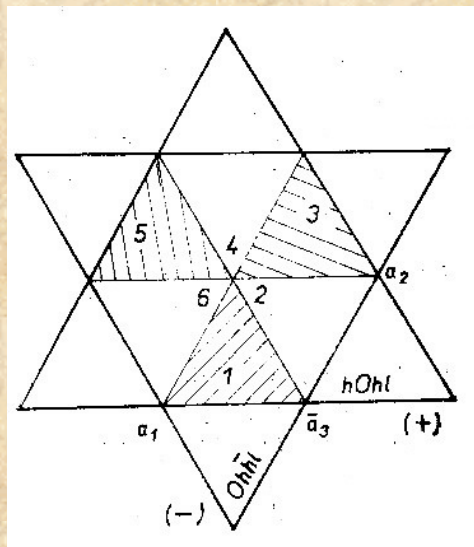


Oddělení trigonálně dipyramidální $\bar{6}$

Trigonální tritodipyramida s odvozovacím indexem $n = 1$ se stává **trigonální protodipyramidou** pozitivní $\{h0-hl\}$ a negativní $\{0h-hl\}$ a po prodloužení vertikální osy na $p = \infty$ dostáváme **trigonální protoprizma** pozitivní $\{10-10\}$ a negativní $\{01-10\}$.

Trigonální tritodipyramida s $n = 2$ přechází na **trigonální deuterodipyramidu** pravou $\{hh-2hl\}$ a levou $\{2h-h-hl\}$ a po prodloužení vertikální osy na $p = \infty$ dostáváme **trigonální deuteroprizma** pravé $\{11-20\}$ a levé $\{2-1-10\}$.

Přítomen může být i bazální **pinakoid** $\{0001\}$.

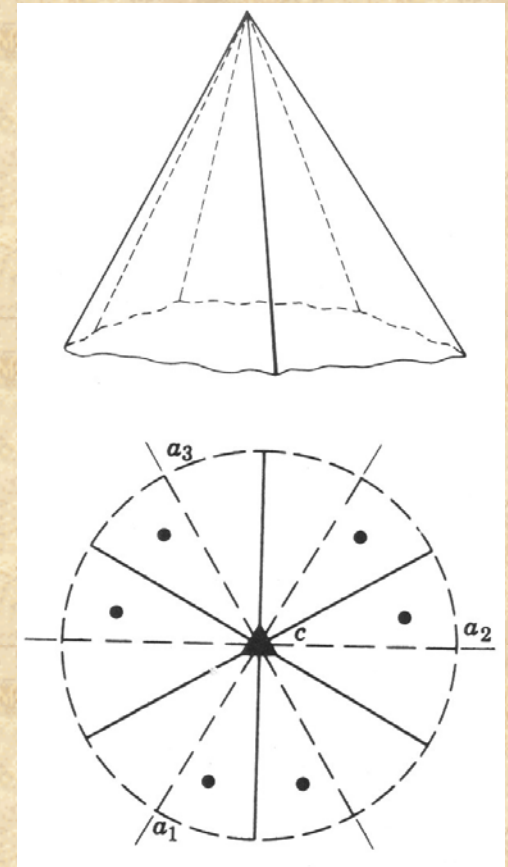


Oddělení ditrigonálně pyramidální 3m

S vertikálou souhlasí polární trojčetná rotační osa, ve které se protínají tři vertikální roviny symetrie, které jsou kolmé na krystalografické osy. Obecným tvarem je **ditrigonální pyramida**, která může být v orientaci:

- ✓ Pozitivní horní $\{hk-il\}$
- ✓ Pozitivní dolní $\{hk-i-l\}$
- ✓ Negativní horní $\{-ki-hl\}$
- ✓ Negativní dolní $\{-ki-h-l\}$

Z dalších hemimorfních tvarů (vytínají osu z) jsou přítomny **trigonální protopyramida** pozitivní horní $\{h0-hl\}$ a dolní $\{h0-h-l\}$, negativní horní $\{0h-hl\}$ a dolní $\{0h-h-l\}$ a dále **hexagonální deutero-pyramida** horní $\{hh-2hl\}$ a dolní $\{hh-2h-l\}$.

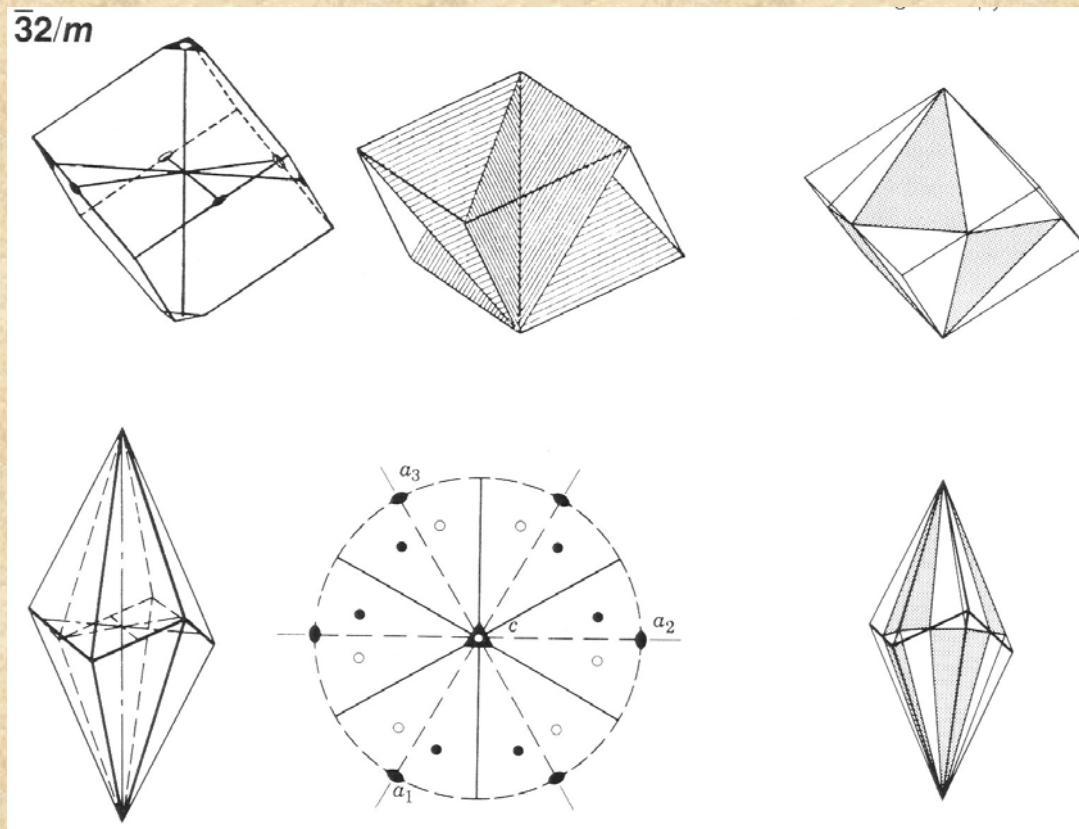


Oddělení ditrigonálně pyramidální $3m$

Z obecného tvaru ditrigonální pyramidy se odvozovacím indexem $p = \infty$ dostaneme k tvaru **ditrigonálního prizmatu** pozitivního $\{hk-i0\}$ a negativního $\{-kih0\}$. Prvořadé hexagonální prizma se zobrazí jako dvě různocenná **trigonální protoprizmata** pozitivní $\{10-10\}$ a negativní $\{01-10\}$. Zachovává se **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$. Bazální pinakoid se mění na **pedion** horní $\{0001\}$ a dolní $\{000-1\}$.

Oddělení ditrigonálně skalenoedrické $\bar{3}2/m$

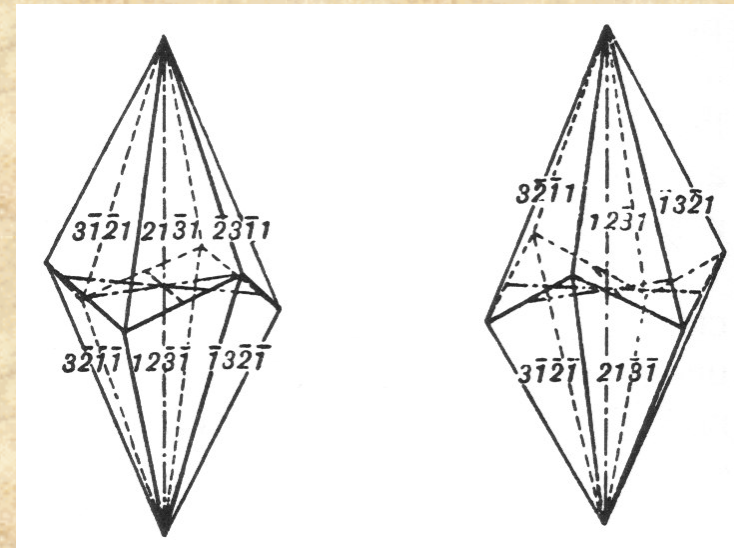
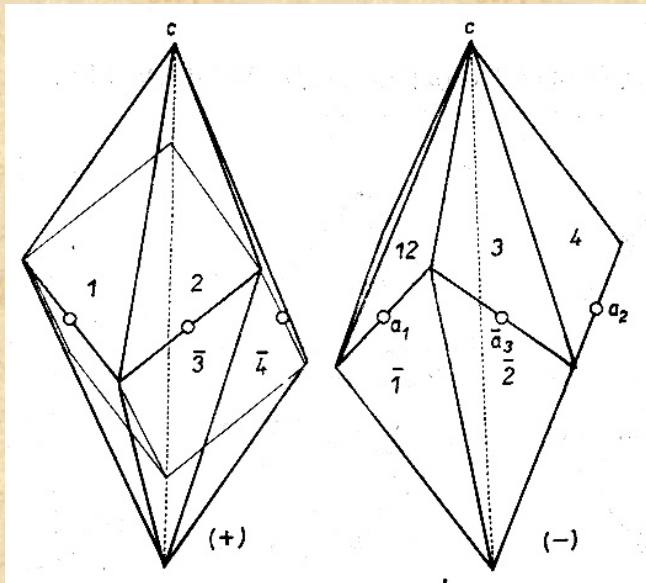
Ose z odpovídá trojčetná inverzní osa (kombinace trojčetné rotační a středu symetrie), tři dvočetné osy odpovídají třem pasným osám. Tři vertikální roviny symetrie v meziosních směrech jsou kolmé na dvočetné osy. Obecným tvarem je ditrigonální skalenoedr.



Oddělení ditrigonálně skalenoedrické $\bar{3}2/m$

Ditrigonální skalenoedr můžeme odvodit od dihexagonální dipyramidy meroedrií skalenoedrického typu, tj. střídavým vynecháváním dvou ploch v horní a dolní polovině. Rozlišujeme ditrigonální skalenoedr pozitivní $\{hk-il\}$ a negativní $\{kh-il\}$.

Má-li osa z odvozovací index $p = \infty$ vzniká **dihexagonální prizma** $\{hk-i0\}$.

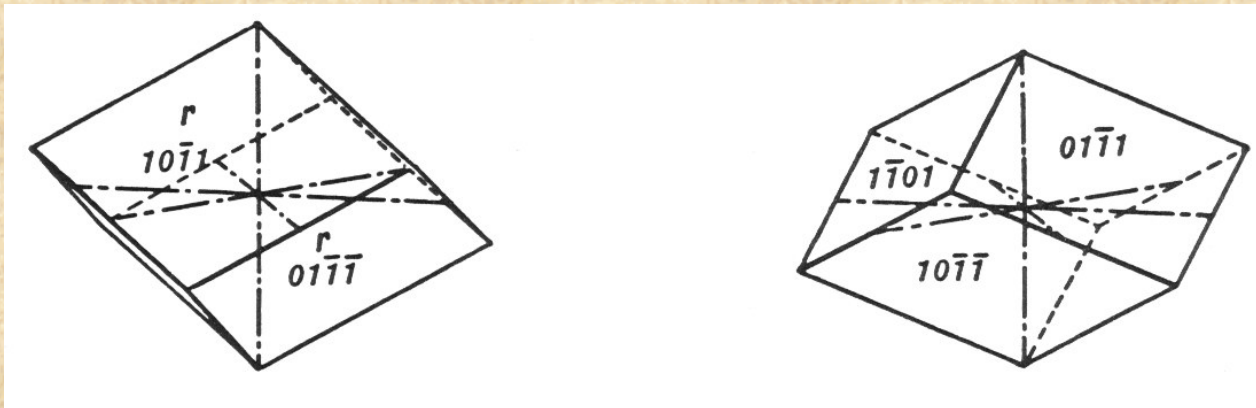


Oddělení ditrigonálně skalenoedrické $\bar{3}2/m$

Je-li odvozovací index ditrigonálního skalenoedru $n = 1$ vzniká **romboedr** (klenec) pozitivní $\{h0-hl\}$ a negativní $\{0h-hl\}$. Tvar se skládá ze šesti ploch kosočtvercového tvaru. Romboedr s $p = \infty$ na ose z přechází na **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$.

Ditrigonální skalenoedr s indexem $n = 2$ přechází na **hexagonální deuterodipyramidu** $\{hh-2hl\}$. S parametrem $p = \infty$ na vertikále odvodíme **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$.

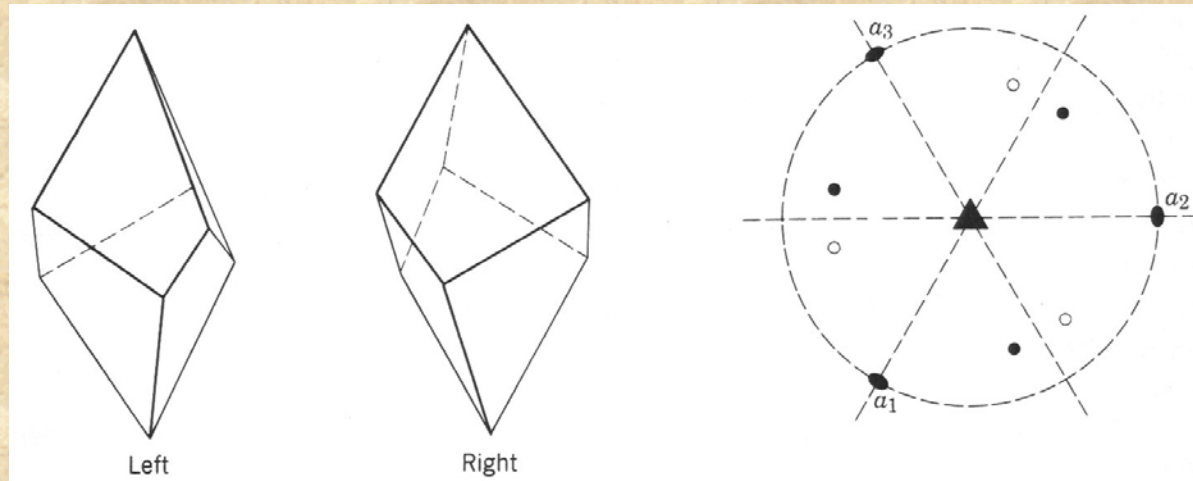
Přítomen může být i bazální **pinakoid** $\{0001\}$.



Oddělení trigonálně trapezoedrické 32

S osou z je totožná trojčetná rotační osa a na ni jsou kolmé tři dvojčetné osy ve směru krystalografických os.

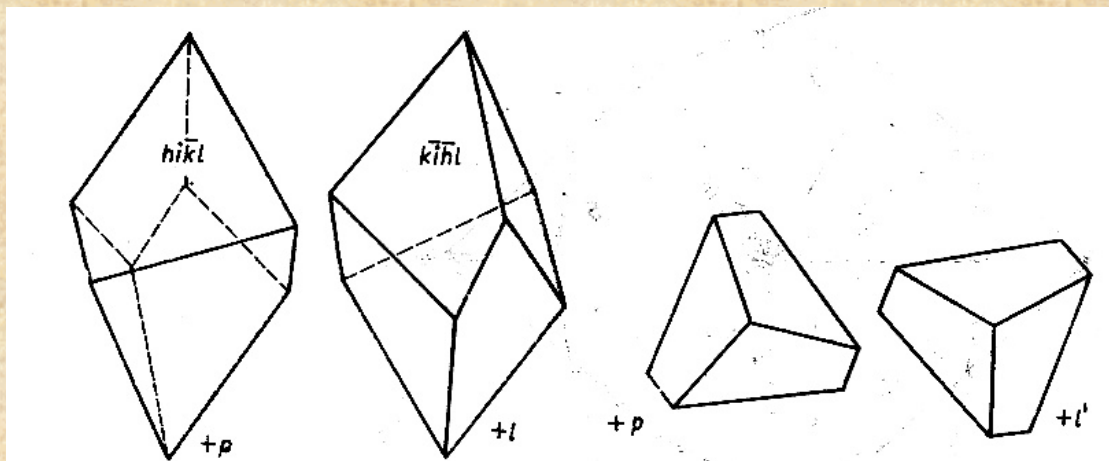
Obecným tvarem je **trigonální trapezoedr** jako hemiedr hexagonálního trapezoedru nebo ditrigonálního skalenoedru.



Oddělení trigonálně trapezoedrické 32

Existují čtyři postavení **trigonálního trapezoedru**: pravý kladný $\{hk-il\}$, levý kladný $\{i-k-hl\}$, pravý záporný $\{-ki-hl\}$ a levý záporný $\{kh-il\}$. Tvary se skládají ze šesti ploch (asymetrické různoběžníky), které se sbíhají v klikatě běžících pasných hranách.

Prodloužením odvozovacího indexu na ose z na $p = \infty$ vznikne **ditrigonální tritoprizma** v pravém $\{hk-i0\}$ a levém $\{ik-h0\}$ postavení.

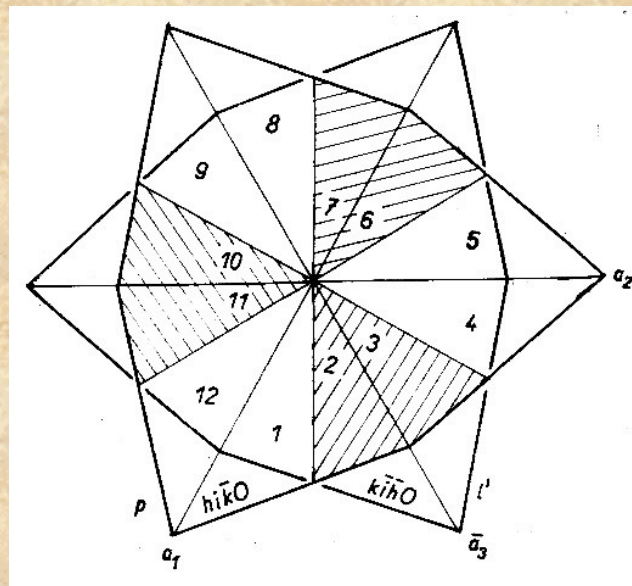


Oddělení trigonálně trapezodrické 32

Z trigonálního trapezodru odvodíme **protoromboedr** pozitivní $\{h0-hl\}$ a negativní $\{0h-hl\}$, když $n = 1$. Prodloužením $p = \infty$ na vertikále dostaneme **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$.

Dosáhne-li trigonální trapezodr $n = 2$ přechází do **trigonální deuterodipyramidu** pravou $\{hh-2hl\}$ a levou $\{2h-h-hl\}$. Jako výše odvodíme i **trigonální deuteroprizma** pravé $\{11-20\}$ a levé $\{2-1-10\}$.

Přítomen může být i bazální **pinakoid** $\{0001\}$.

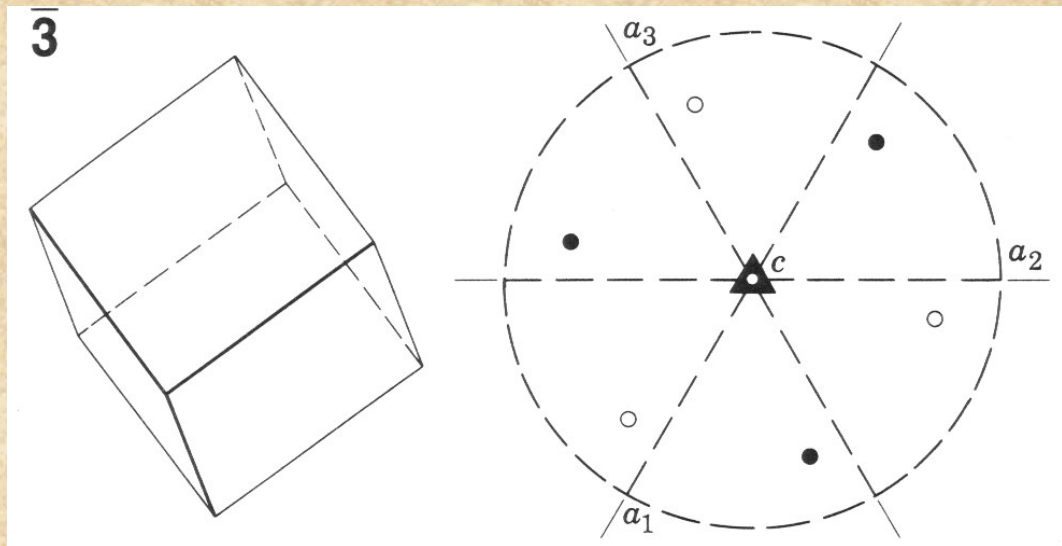


Odvození deuteroditrigonu z dihexagonu.

Oddělení trigonálně romboedrické $\bar{3}$

Vertikální osa je totožná s trojčetnou osou inverzní tj. kombinace trojčetné rotační a středu symetrie.

Obecným tvarem oddělení je **romboedr**, který můžeme považovat za tetartoedr dihexagonální dipyramidy nebo hemiedr hexagonální tritodipyramidy.

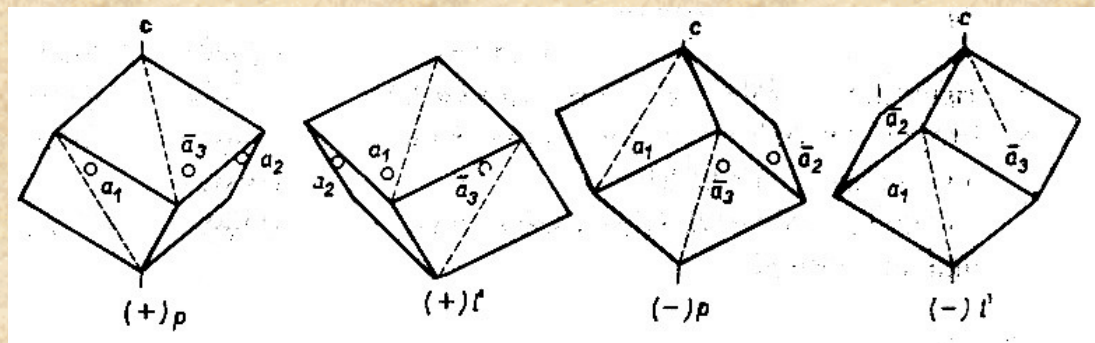


Oddělení trigonálně romboedrické $\bar{3}$

Vyjdeme-li z dihexagonální dipyramidy můžeme kombinací meroedrických operací dipyramidálního a skalenoedrického typu odvodit **trigonální tritoromboedr** ve čtyřech pozicích:

- Pravý pozitivní $\{hk-il\}$
- Levý pozitivní $\{ik-hl\}$
- Pravý negativní $\{ki-hl\}$
- Levý negativní $\{kh-il\}$

Je-li úsek na vertikále definován $p = \infty$ dostáváme **hexagonální tritoprizma** $\{hk-i0\}$.

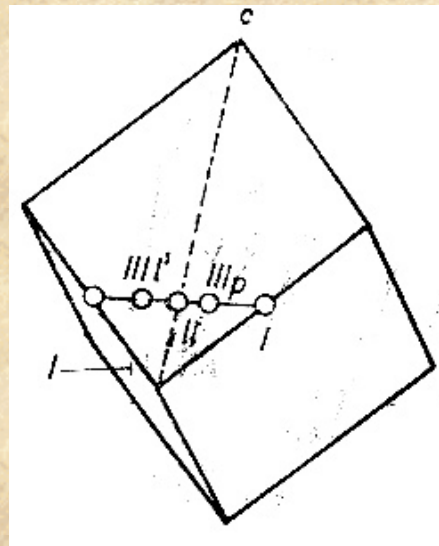


Oddělení trigonálně romboedrické $\bar{3}$

Po dosažení odvozovacího indexu pro trigonální tritoromboedr na vedlejších osách $n = 1$, vznikne **trigonální protoromboedr** pozitivní $\{h0-hl\}$ a negativní $\{0h-hl\}$. Dosáhne-li úsek na vertikále $p = \infty$, vznikne **hexagonální protoprizma** $\{10-10\}$.

Má-li trigonální tritoromboedr $n = 2$ mění se na **trigonální deuteroromboedr** pravý $\{hh-2hl\}$ a levý $\{2h-h-hl\}$. Obdobně jako v předchozím případě vznikne **hexagonální deuteroprizma** $\{11-20\}$. Přítomen může být i bazální **pinakoid** $\{0001\}$.

Výchozy os na ploše romboedru v případě proto-, deuteroromboedru.



Oddělení trigonálně pyramidální 3

Jediným prvkem symetrie je trojčetná osa ve směru vertikály.

Obečným tvarem je **trigonální tritopyramida** v osmi pozicích:

pozitivní pravá horní {hk-il}

pozitivní pravá dolní {hk-i-l}

pozitivní levá horní {ik-hl}

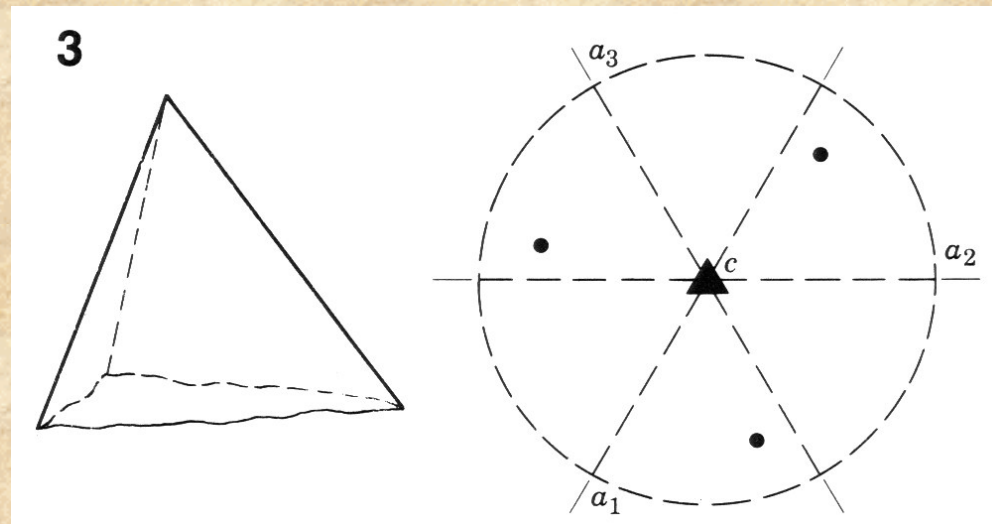
pozitivní levá dolní {ik-h-l}

pozitivní pravá horní {-ki-hl}

pozitivní pravá dolní {-ki-h-l}

negativní levá horní {kh-il}

negativní levá dolní {kh-i-l}



Oddělení trigonálně pyramidální 3

Všechny tvary protínající vertikálu budou hemimorfní, tj. pro $n = 1$ vznikne **trigonální protopyramida** pozitivní horní $\{h_0-h_1\}$, pozitivní dolní $\{h_0-h-1\}$, negativní horní $\{0h-h_1\}$ a negativní spodní $\{0h-h-1\}$.

Bude-li na vedlejších osách odvozovací index $n = 2$, vznikne **trigonální deuteropyramida** pravá horní $\{hh-2h_1\}$, pravá dolní $\{hh-2h-1\}$, levá horní $\{2h-h-h_1\}$ a levá dolní $\{2h-h-h-1\}$.

Oddělení trigonálně pyramidální 3

Všechny tvary rovnoběžné s vertikálou se budou shodovat s trigonálně dipyramidálním oddělením. Patří sem **trigonální tritoprizma** pozitivní pravé $\{hk-i0\}$, pozitivní levé $\{i-k-h0\}$, negativní pravé $\{-ki-h0\}$ a negativní levé $\{kh-i0\}$.

Trigonální protoprizma má dvě polohy – pozitivní $\{10-10\}$ a negativní $\{01-10\}$, podobně i **trigonální deuteroprizma** – pravé $\{11-20\}$ a levé $\{2-1-10\}$.

Pinakoid se rozpadá na dvě **pedia** – horní $\{0001\}$ a dolní $\{000-1\}$

Kubická soustava

Tvary kubické soustavy se vztahují ke třem navzájem kolmým osám stejné délky. Pouze formálně se tyto stejnocenné osy označují a_1 , a_2 , a_3 . V Hermann - Mauguinově značení je *první symbol* vztažen ke směru krystalografických os tzn., že jsou přítomny tři 4-četné osy rotační nebo inverzní, nebo tři 2-četné osy. *Druhý symbol* odpovídá směru čtyř diagonálních os trojčetné symetrie mezi rohy krychle (směr tělesové úhlopříčky krychle). *Třetí symbol* odpovídá prvku symetrie ve směru protilehlých hran krychle (celkem šest směrů).

Při označování tvarů se vybírá symbol, kde jsou h , k , l kladné (pokud je to možné) a $h > k > l$.

Kubická soustava

Krystalové tvary se odvozují od ploch v pozitivním oktantu. Plocha vytíná a_1 v jednotkové délce, a_2 ve stejné nebo větší délce a a_3 ve stejné nebo větší než a_2 . Celkem tedy existuje 7 typů krystalových ploch: (hkl), (hhl), (hkk), (111), (hk0), (110) a (100).

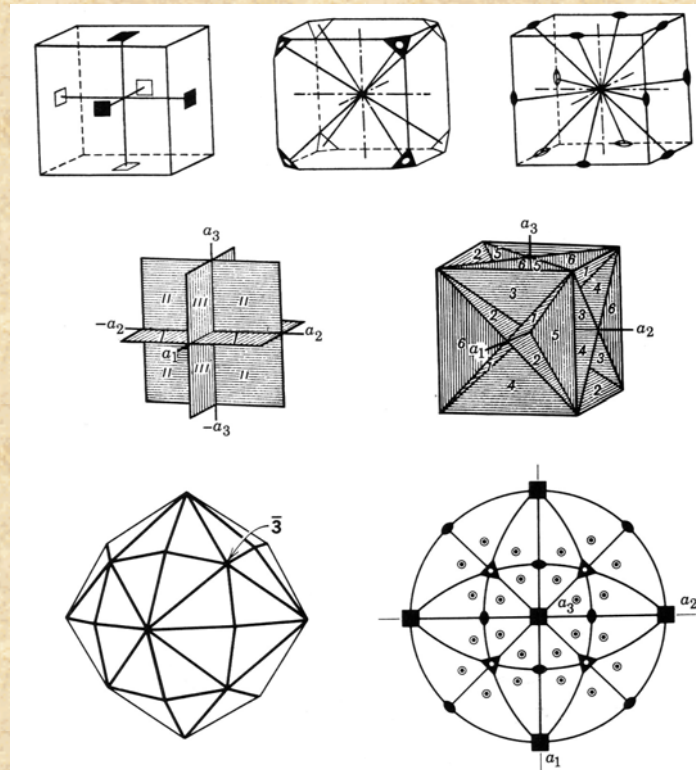
Symbole *pozitivní nebo negativních tvarů* mají základní úsek na a_1 . Pozitivní tvary leží v pozitivním oktantu {hkl}, {hhl}, {hkk} a {111}, negativní tvary v levém předním horním oktantu {h-kl}, {h-hl}, {h-kk} a {1-11}.

Tvary pozitivní levé a pravé se charakterizují plochou v pozitivním oktantu. Levé utínají základní úsek na a_1 se symboly {hkl} a {hk0}, pravé základní úsek na a_2 se symboly {khl} a {kh0}.

Negativní tvary levé a pravé odpovídají plochám v levém horním předním oktantu, kdy negativní levý má symbol {k-hl} a negativní pravý {h-kl}.

Oddělení hexaoktaedrické $4/m \bar{3} 2/m$

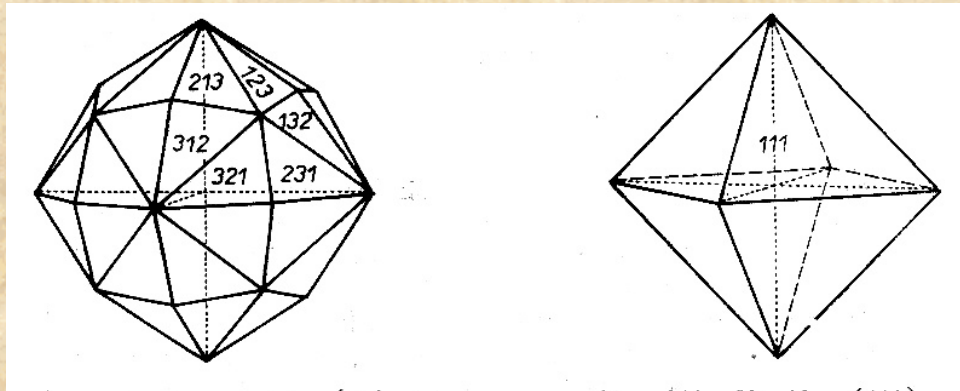
Krystalovým osám odpovídají tři čtyřčetné rotační osy na něž jsou kolmé tři osní roviny symetrie. V diagonálních směrech leží čtyři čtyřčetné inverzní osy symetrie. Šest dvojčetných rotačních os pólí úhly mezi krystalografickými osami a k nim je kolmých šest diagonálních rovin symetrie. Přítomen je i střed symetrie. Toto oddělení je nejvýše symetrické a obecným tvarem je **hexaoktaedr**.



Oddělení hexaoktaedrické $4/m \bar{3} 2/m$

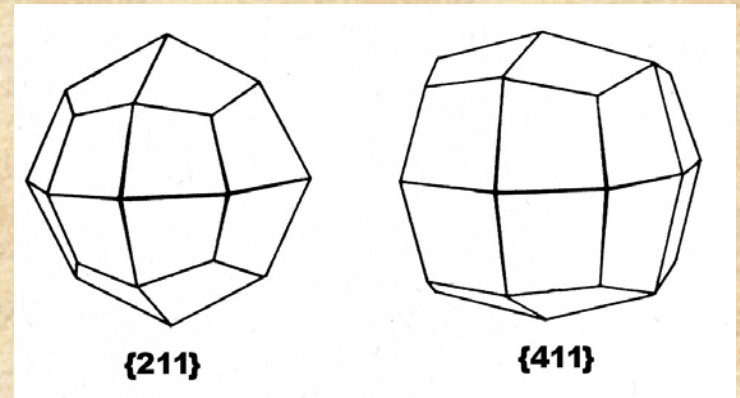
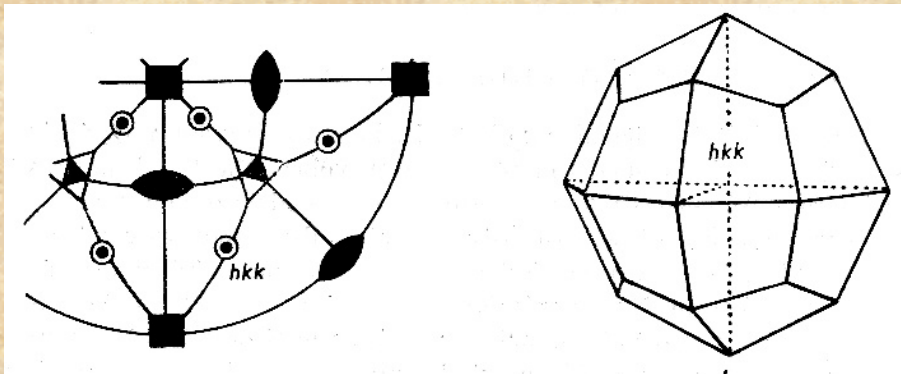
Hexaoktaedr (osmačtyřicetistěn) $\{hkl\}$ má nad každým oktantem okolo trojčetné inverzní osy šest rovnicových trojúhelníkových ploch. Tyto vytínají všechny tři osy v různých délkách. Limitní odvozovací indexy jsou $m > 1$ a $m < \infty$. Nejběžnějším tvarem je $\{321\}$.

Bude-li odvozovací index na všech osách $n = 1$, splyne šest ploch nad každým oktantem do jediné a vznikne **oktaedr** $\{111\}$.



Oddělení hexaoktaedrické $4/m \bar{3} 2/m$

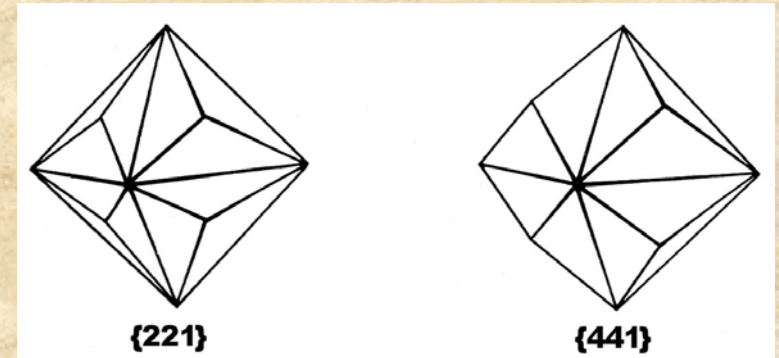
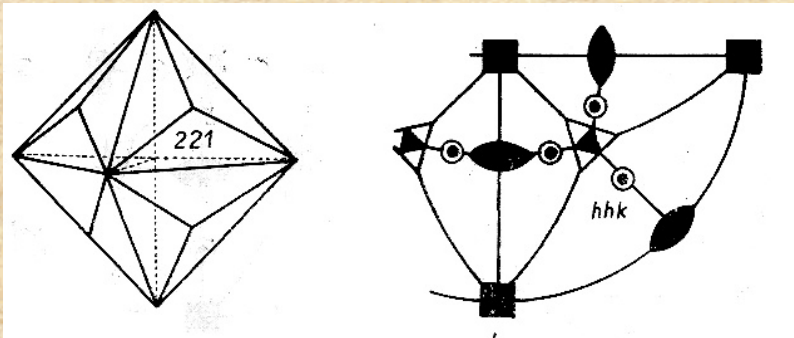
Dosáhnou-li plochy na dvou osách stejné úseky, vzniknou z hexaoktaedru dvě varianty. V prvním případě jsou na dvou osách stejné úseky $n > 1$ a $n < \infty$ a tím splývají dvojploši hexaoktaedru mezi digirami a vzniká **tetragon trioktaedr** (čtyřiadvacetistěn deltooidový) $\{hkk\}$. Nejběžnějším tvarem je $\{211\}$.



Oddělení hexaoktaedrické $4/m \bar{3} 2/m$

Druhá možnost je případ, kdy na dvou osách jsou vytínány jednotkové úseky na třetí pak úsek s $n > 1$ a $n < \infty$. Nové plochy tvaru vznikají splynutím dvojplášť hexaoktaedru mezi tetragramy a vzniká tak **trigon trioktaedr** (čtyřicetistěn trojúhelníkový) $\{h h k\}$. Nejběžnější je $\{221\}$.

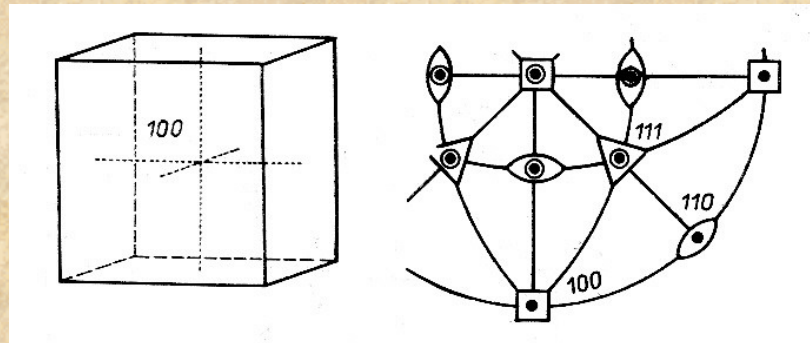
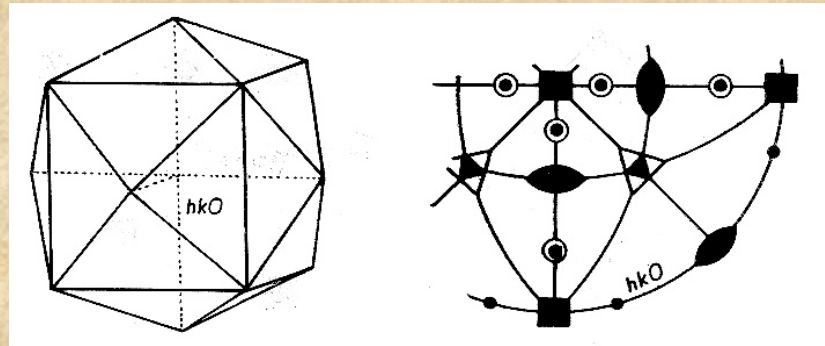
Dosáhne-li na trigon trioktaedru delší úsek $n = \infty$, splynou dvě plochy podle osových rovin symetrie a vznikne **rombický dodekaedr** (dvanáctistěn kosočtverečný) $\{110\}$.



Oddělení hexaoktaedrické $4/m \bar{3} 2/m$

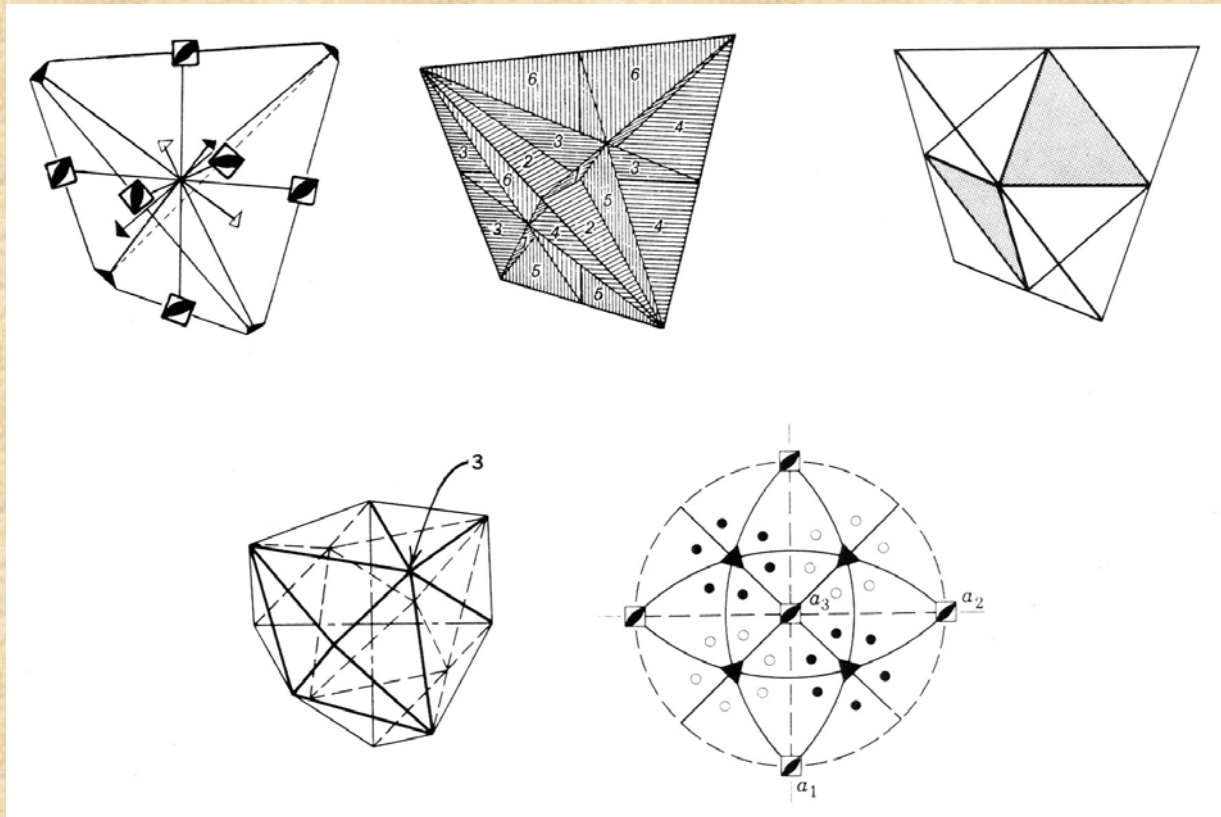
Z hexaoktaedru odvodíme další tvar prodloužením nejdelšího úseku na osách na $n = \infty$. Splynou tak do nových ploch dvojplášť podél osních rovin symetrie a vznikne **tetrahexaedr** (čtyřiadvacetistěn krychlový) $\{hk0\}$.

Pokud na dvou úsecích bude $n = \infty$ vznikne **hexaedr** (krychle) $\{100\}$.



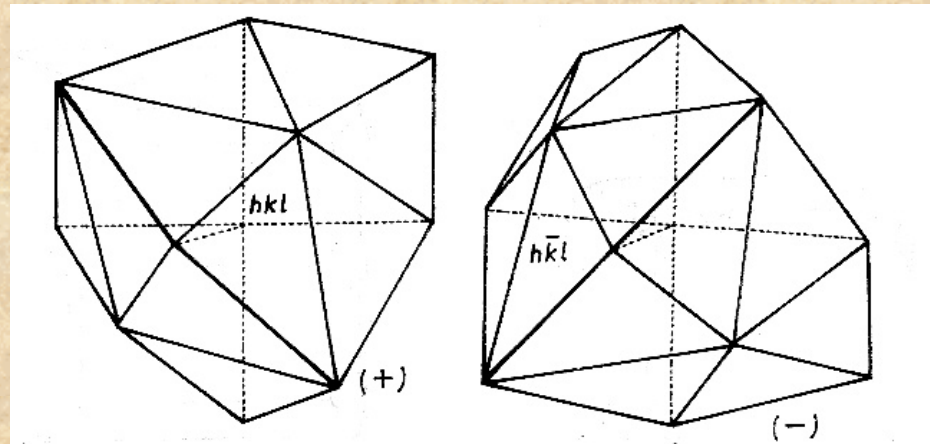
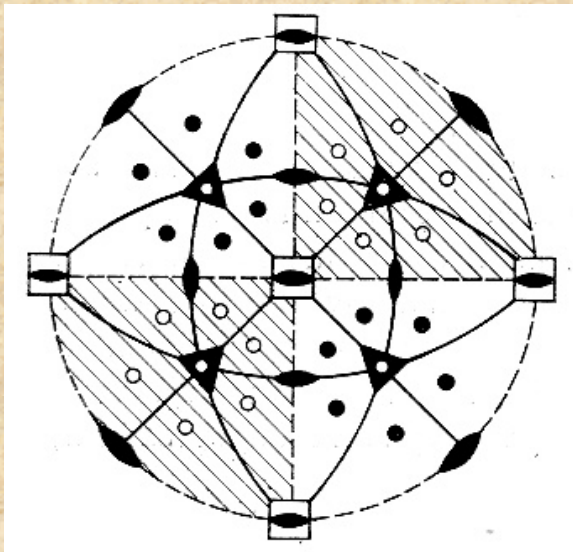
Oddělení hexatetraedrické $\bar{4}3m$

Tři krystalografické osy odpovídají třem osám čtyřčetným inverzním. Čtyři osy diagonální jsou totožné s trojčetnými osami a zároveň je přítomno šest diagonálních rovin symetrie. Při vývoji krystalových tvarů se střídavě uplatňují horní a dolní oktanty.



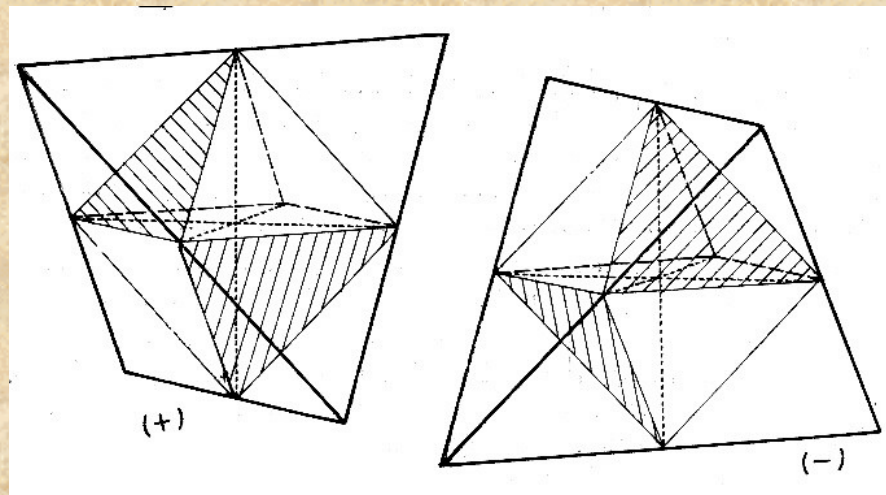
Oddělení hexatetraedrické $\bar{4}3m$

Polární trojčetné osy předpokládají tetraedrickou hemiedrii, kdy nad střídavými oktanty hexaoktaedru se zachovává plný počet ploch. Vzniká **hexatetraedr** pozitivní $\{hkl\}$, negativní $\{h\bar{k}l\}$.



Oddělení hexatetraedrické $\bar{4}3m$

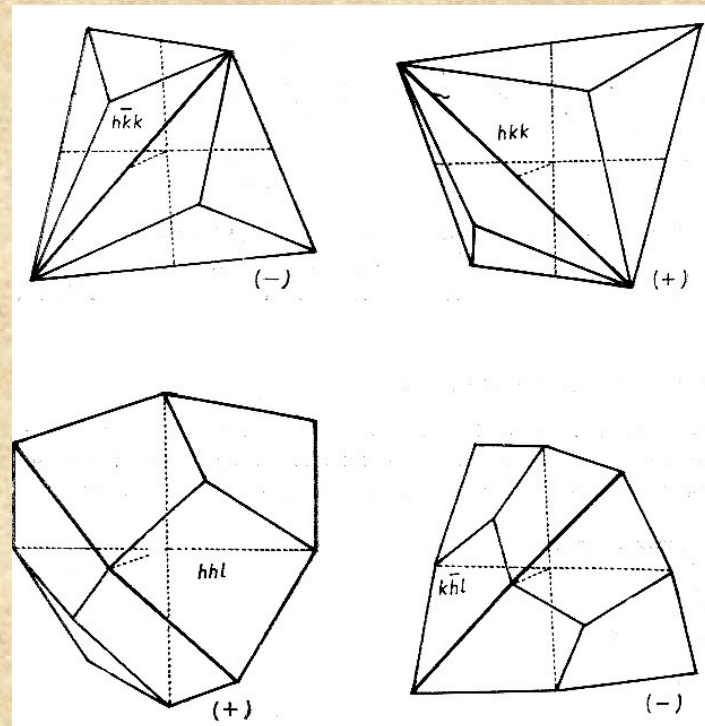
Při zmenšování odvozovacích indexů na hodnoty $n = m = 1$ se tvar mění na **tetraedr** pozitivní $\{111\}$ nebo negativní $\{1\bar{1}1\}$. Tvar lze odvodit z oktaedru střídavým vynecháváním horních a dolních ploch. Pozitivní a negativní tetraedr jsou geometricky ekvivalentní tvary a lze je rozeznat jen na spojkách.



Oddělení hexatetraedrické $\bar{4}3m$

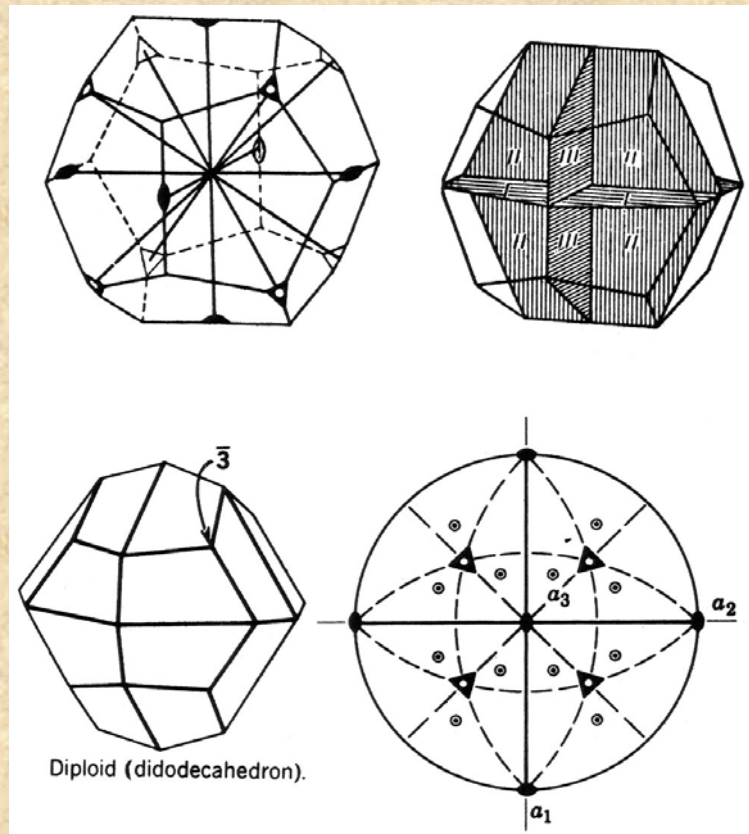
Z obecného tvaru odvodíme **trigon tritetraedr** pozitivní $\{hkk\}$ a negativní $\{h\bar{k}k\}$, když $n = m > 1$ a $p < \infty$. Pokud pro odvozovací indexy platí $n = 1$, $m > 1$ a $p < \infty$, vzniká z trigon trioktaedru hemiedr **tetragon tritetraedr** pozitivní $\{hhl\}$, negativní $\{h\bar{h}l\}$.

Morfologicky shodné s holoedrickým oddělením jsou tvary **tetrahexaedru** $\{hk0\}$, **rombického dodekaedru** $\{110\}$ a **krychle** $\{100\}$.



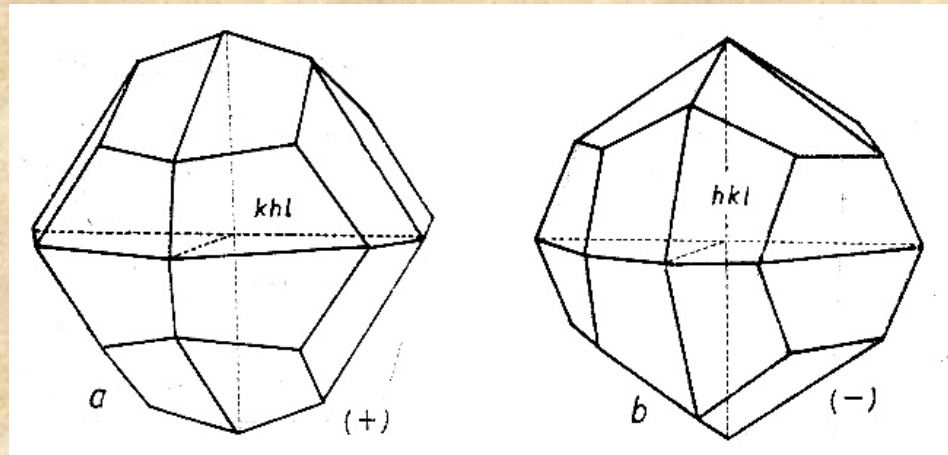
Oddělení didokaedrické $2/m \bar{3}$

Tři krystalografické osy odpovídají dvojčetným osám rotace a na ně jsou kolmé tři osní roviny symetrie. Ve směru tělesových úhlopříček krychle leží čtyři trojčetné inverzní osy.



Oddělení didokaedrické $2/m \bar{3}$

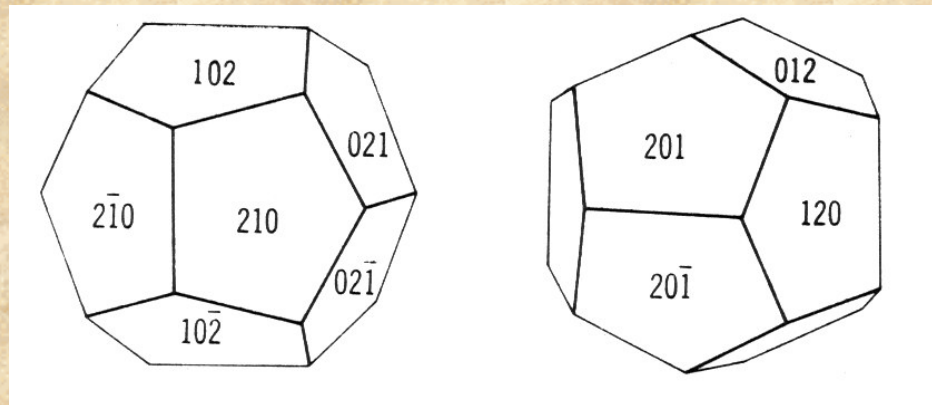
Odvozujeme-li hemiedr k hexaoktaedru tak, že střídavě zachovááme plochy sdružené mezi sousedními oktanty podle hlavních osových rovin symetrie, dostaneme **didokaedr** ve dvou možných pozicích - pozitivní $\{hkl\}$ a negativní $\{khl\}$.



Oddělení didokaedrické $2/m \bar{3}$

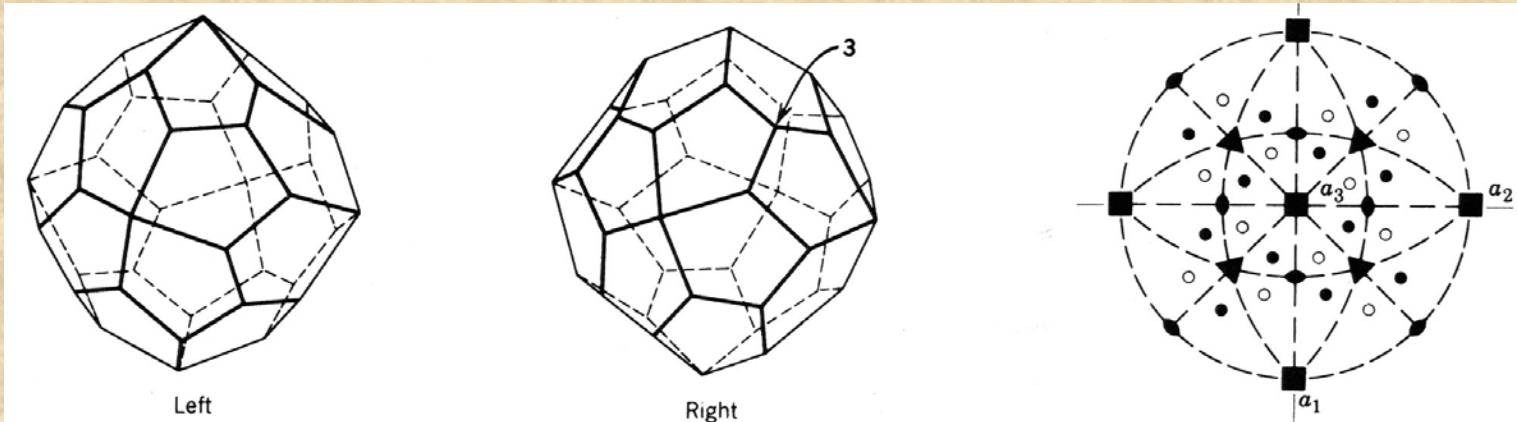
Dosáhne-li nejdelší úsek ploch $m = \infty$, splynou plochy sousedních oktantů a poziční body se v projekci posunou na roviny symetrie. Vzniká **pentagon dodekaedr** (dvanáctistěn pětiúhelníkový) pozitivní $\{hk0\}$ a negativní $\{kh0\}$. Pozitivní tvar převedeme do negativního otočením o 90° . Nejběžnějším tvarem je $\{210\}$.

Další tvary jsou shodné s hexaoktaedrickým oddělením: **tetragon trioktaedr** $\{hkk\}$, **trigon trioktaedr** $\{hhl\}$, **oktaedr** $\{111\}$, **rombický dodekaedr** $\{110\}$ a **krychle** $\{100\}$.



Oddělení pentagon - trioktaedrické 432

V tomto oddělení najdeme nejúplnější možnou kombinaci os symetrie bez přítomnosti rovin a středu symetrie. Střídavým vynecháváním ploch hexaoktaedru vzniká **pentagon trioktaedr** (čtyřiadvacetistěn pětiúhelníkový) levý $\{hkl\}$ nebo pravý $\{khl\}$.



Oddělení pentagon - trioktaedrické 432

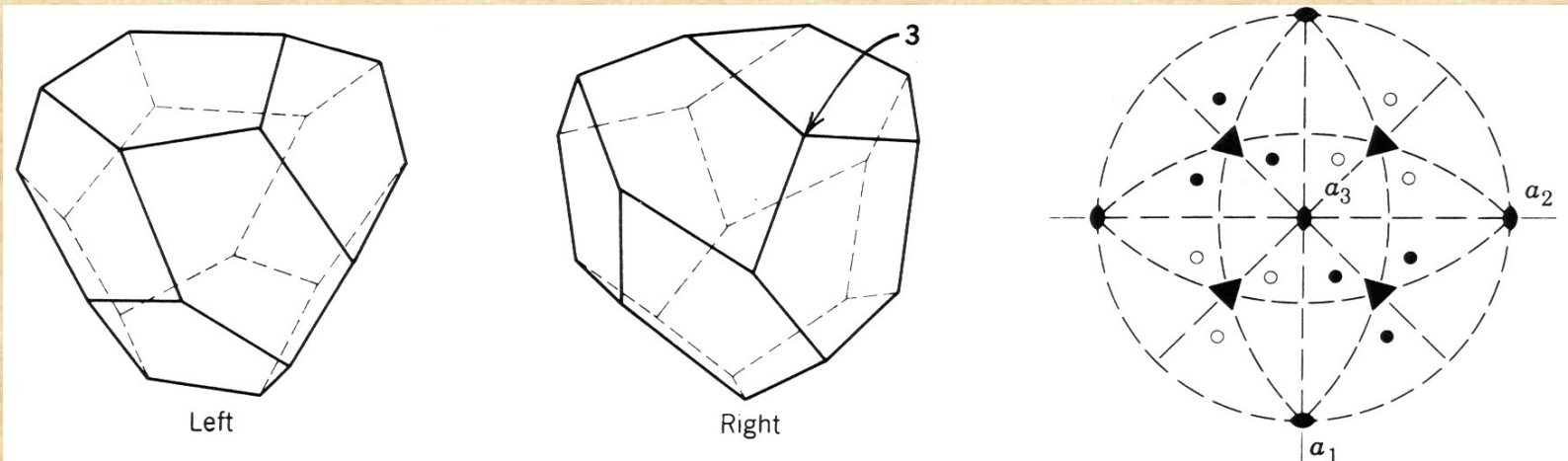
Všechny další přítomné tvary zachovávají morfologii holloedrického oddělení, ale fyzikálními vlastnostmi odpovídají symetrii 432.

- Tetragon trioktaedr {hkk}
- Trigon trioktaedr {hhl}
- Oktaedr {111}
- Tetrahexaedr {hk0}
- Rombický dodekaedr {110}
- Hexaedr {100}

Oddělení pentagon - tritetraedrické 23

Krystalografickým osám odpovídají dvojčetné rotační osy a čtyři diagonální směry jsou totožné s trojčetnými rotačními osami.

Obecný tvar **pentagon tritetraedru** odvodíme kombinací hemiedrie tetraedrické a dodekaedrické a výsledkem je kubická tetartoedrie. Tvar může být pozitivní pravý $\{khl\}$, pozitivní levý $\{hkl\}$, negativní pravý $\{h-kl\}$ a negativní levý $\{k-hl\}$.



Oddělení pentagon - tritetraedrické 23

Další odvoditelné tvary patří morfologicky tetraedrické nebo didokaedrické hemiedrii nebo holoedrii.

- Trigon tritetraedr pozitivní $\{hkk\}$ a negativní $\{h-kk\}$
- Tetragon tritetraedr pozitivní $\{hhl\}$ a negativní $\{h-hl\}$
- Tetraedr pozitivní $\{111\}$ a negativní $\{1-11\}$
- Pentagon dodekaedr pozitivní $\{hk0\}$ a negativní $\{kh0\}$
- Rombický dodekaedr $\{110\}$
- Hexaedr $\{100\}$

Kubická soustava

V kubické soustavě jsou všechny tvary uzavřené. V přehledu je uvedeno několik úhlů ploch, které mohou být nápomocny při pojmenovávání tvarů:

- krychle (100) - krychle (010) = 90°
- oktaedr (111) - oktaedr (-111) = $70^\circ 32'$
- dodekaedr (011) - dodekaedr (101) = 60°
- krychle (100) - oktaedr (111) = $54^\circ 44'$
- krychle (100) - dodekaedr (110) = 45°
- oktaedr (111) - dodekaedr (110) = $35^\circ 16'$

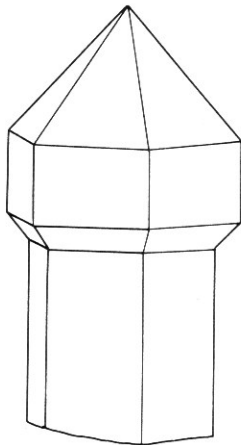
Krystalové srůsty

Většina minerálů se vyskytuje ve formě náhodných zrnových agregátů, většinou jako součást hornin. Tato zrna jsou obecně xenomorfní (nepravidelně omezená), ale jejich vnitřní stavba je krystalická.

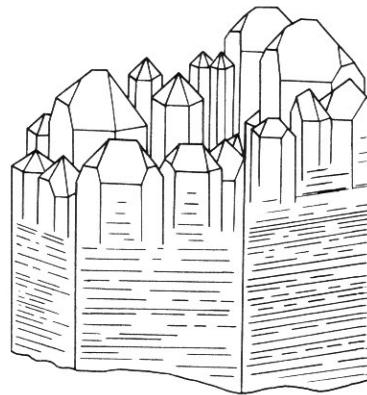
Relativně běžné jsou ale i srůsty dobře vyvinutých krystalů nebo nepravidelných zrn, které nejsou náhodné. Je to např. paralelní srůst shodných krystalických látek nebo prorůstání dvou krystalických látek různého složení (epitaxie). Pokud srůstají individua podle jistých pravidel (prvků symetrie), označujeme to jako **dvojčatění** nebo **dvojčatné krystaly**.

Paralelní srůsty

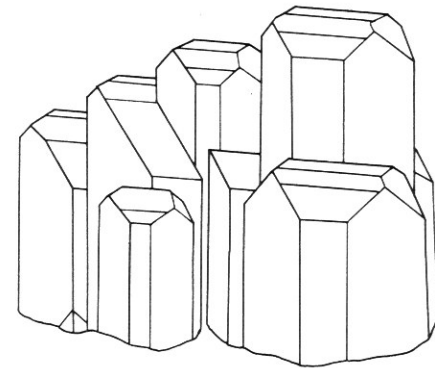
Paralelní srůst je agregát identických krystalů, jejichž krystalografické osy a plochy jsou paralelní. Takové agregáty (i když reprezentovány několika jedinci) označujeme stále jako monokrystaly (vzhledem k jejich struktuře). Srůsty tohoto typu jsou velmi pravděpodobné, protože na úrovni atomů je celková potenciální energie uspořádání atomů ve struktuře nižší než u náhodných srůstů.



Quartz



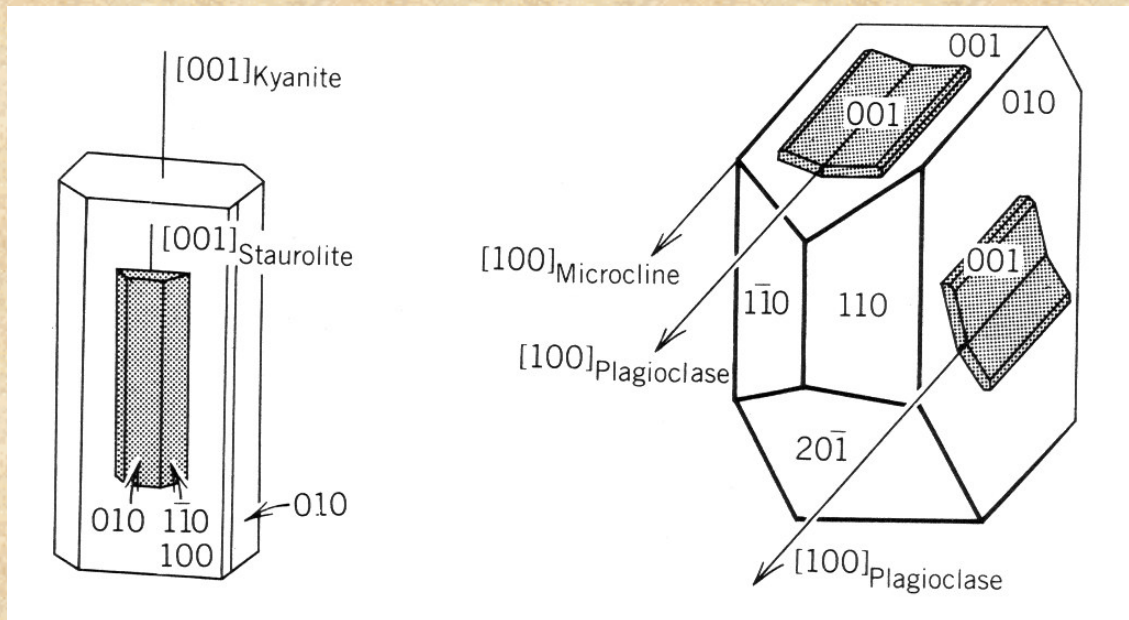
Quartz



Barite

Epitaxie

Pokud podle určitého pravidla srůstají dvě krystalické látky odlišného složení, mluvíme o epitaxi. Příkladem může být srůst staurolitu podle plochy (010) s kyanitem podle plochy (100) nebo prorůstání plagioklasu podle (001) s mikroklinem podle (001) nebo (010) - tyto tři roviny mají dobrou shodu ve vnitřní stavbě.



Dvojčatné srůsty

Jedná se o symetrický srůst dvou nebo více krystalů stejné látky. Tato krystalograficky definovaná prorůstání se označují jako dvojčatné krystaly. **Dvojčatný prvek** (pozor ne dvojčetný!!!) převádí individuum do dvojčatné pozice. Dvojčatné srůst se vyjadřuje zákonem dvojčatné symetrie:

Dvojčatnou rovinou symetrie:

- a) Je možnou krystalovou plochou (hkl)
- b) Je symetrickou rovinou tupého úhlu mezi dvojčaty
- c) Zvyšuje symetrii dvojčatného celku
- d) Nemůže být totožná s rovinou symetrie na krystalu
- e) V triklinické a monoklinické soustavě může být rovinou kolmou na krystalovou hranu nebo plochu

Dvojčatné srůsty

Dvojčatnou osou symetrie:

- a) Je totožná s možnou osou zóny
- b) Je často kolmá na dvojčatnou rovinu
- c) Může být totožná s lichými osami symetrie

Dvojčata mohou vznikat několika procesy:

- o Srůstem již zárodečných krystalů
- o Růstem dvojčatných zárodků během krystalizace
- o Uložení zárodků v dvojčatné poloze na krystal a dorůstání na dvojče
- o Působením fyzikálních podmínek na polymorfní látky
- o Účinky mechanického působení, hlavně tlakem

Dvojčatné srůsty

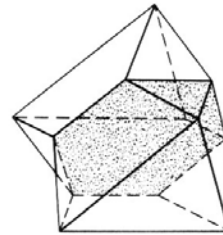
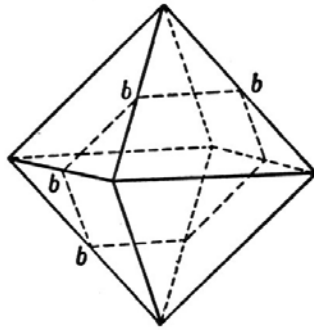
Dvojčatění je definováno dvojčatným zákonem, který krystalograficky definuje bod, osu nebo rovinu. Rovina se označuje Millerovým indexem a směr osy podobně jako symbol zóny.

Dvojčatné krystaly jsou obvykle rozdělovány na **kontaktní dvojčata** (dotyková) a **penetrační dvojčata** (prorostlice).

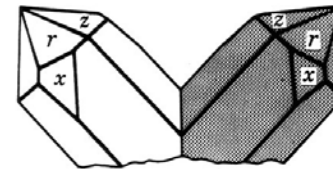
Vícenásobné dvojčatění vzniká, pokud několikrát aplikujeme stejný dvojčatný zákon. Jsou-li všechny srůstové plochy rovnoběžné, vzniká **polysyntetické** dvojčatění, pokud jsou srůstové plochy různoběžné, vzniká **cyklické** dvojčatění.

Kontaktní a penetrační dvojčata

Contact Twins

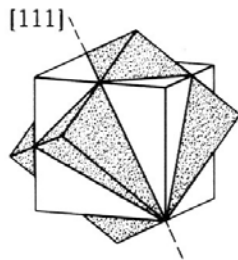


Spinel

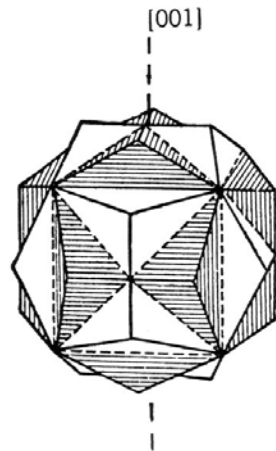


Quartz

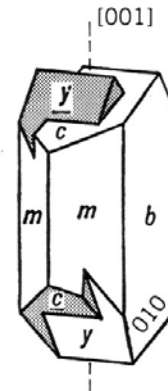
Penetration Twins



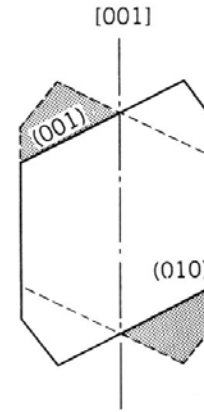
Fluorite



Pyrite

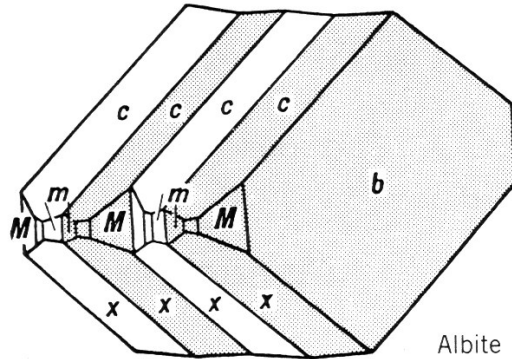


Orthoclase

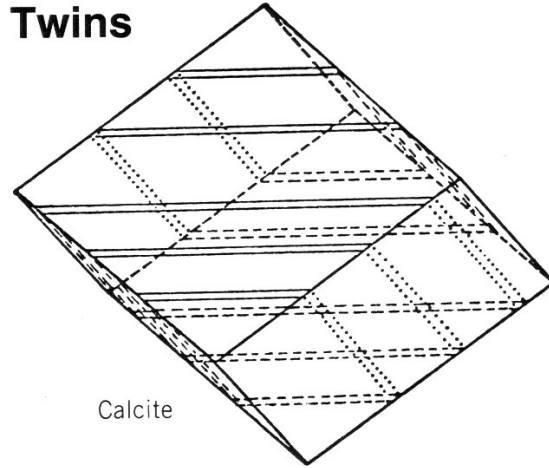


Cyklická a polysyntetická dvojčata

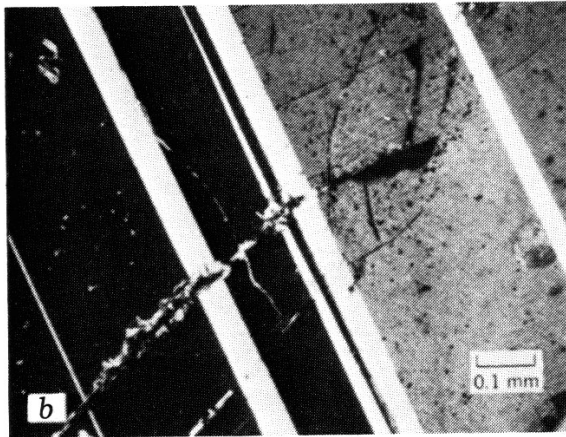
Polysynthetic Twins



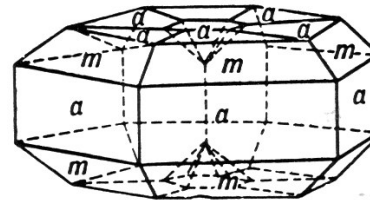
Albite



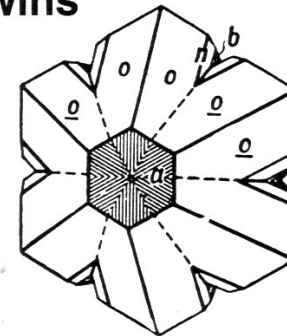
Calcite



Cyclic Twins



Rutile



Chrysoberyl

Pseudomorfózy

Takto se označuje jev, kdy vnější tvar minerálu neodpovídá jeho chemickému složení. Vzniká zpravidla nahrazením původního minerálu jiným minerálem, který zaujme krystalový tvar předchozího. Příkladem může být nahrazení kubického krystalu pyritu limonitem. Mezi pseudomorfózami se někdy vyčleňují různé typy, např. perimorfóza (obalová pseudomorfóza), zoomorfóza (nahrazení živočišné fosilie) apod.