

GE011

# Základy mineralogie a petrologie

## Literatura

- Slavík F., Novák J., Kokta J. (1974): Mineralogie.- Academia Praha.
- Pauk F., Bican J. (1976): Mineralogie a petrografie pro posluchače pedagogických fakult.- Učební texty, SPN Praha.
- Pauk F., Bican J. (1978): Praktická cvičení z mineralogie a petrografie.- SPN Praha.
- Babuška V., Mužík M. (1981): Mineralogie, petrografie a geologie.- SNTL Praha.
- Bernard J. H. a kol. (1981): Mineralogie Československa.- Academia Praha.
- Zamarský V., Kudělásková M., Slivka V. (1990, 1998): Mineralogie a petrografie.- Učební texty, VŠB TU Ostrava.
- Bernard J. H., Rost R. a kol. (1992): Encyklopedický přehled minerálů.- Academia, Praha.
- Zimák J. (1993, 1996, 1998): Mineralogie a petrografie.- Učební texty, UP Olomouc.

## Literatura

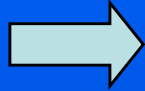
- Zimák J. (1998): Základy mineralogie a petrografie pro zeměpisce.- Učební texty, UP Olomouc.
- Matyášek J. (1995, 1998): Mineralogický systém.- Učební texty, PedF MU Brno.
- Klein C. (2006): Mineralógia.- Oikos-Lumon, Bratislava (slovenský překlad - originál: Klein C. (2002): Manual of Mineral Science.- Wiley and Sons, New York).

## Interaktivní a multimediální webové učebnice

- Matyášek J., Suk M. (2007): Přehled minerálů a hornin.-  
<http://is.muni.cz/elportal/>
- Vávra V., Losos Z. (2007): Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium.-  
<http://mineralogie.sci.muni.cz/>
- Štelcl J., Vávra V., Zimák J. (2006): Mineralogicko-petrografický exkurzní průvodce po území Moravy a Slezska.-  
<http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/>
- Štelcl J., Vávra V. (2007): Multimediální mineralogicko-petrografický exkurzní průvodce po území Čech.-  
<http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/>
- Zimák J. (2008): Systematická mineralogie.- Vyd. UP Olomouc.

Znalost vlastností minerálů a hornin a jejich využívání stejně staré jako samotná vzdělanost

Minerály a horniny:



- celá hmota Země



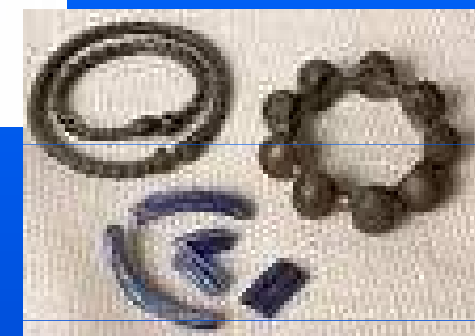
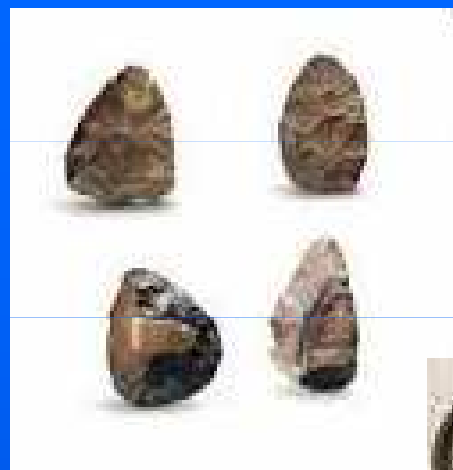
- povrch Země (zemská kůra):  
podklad organického života

- zvětrávání hornin a organ. zbytků:  
vznik půdy (rostlinstvo)

- významné zdroje energie  
(paliva, chemický průmysl, radioaktivní suroviny,  
руды, stavební materiály)

## Prehistorická společnost – nálezy:

- kamenných nástrojů
- zbraní
- ozdobných předmětů
- rud



## Nejstarší kulturní národy - hornictví:

- Číňané
- Babyloňané
- Egypťané
- Řekové

### Aristoteles

- práce o dělení rud

### Plinius st.

- 4 knihy o minerálech

### Theofrastos

- spis „Peri lithón“ („O nerostech“)

## Středověká společnost:

- od 2. pol. 15. stol. výrazné společenské změny
- města - růst zbožní výroby
- zvýšená potřeba surovin
  - železo
  - měď
  - cín
  - olovo
  - antimon
  - soli
  - minerální barviva



Georgius Agricola (1494-1555)

- spis „De re metalica“



16.-17. stol: vznik mineralogie jako samostatné vědní disciplíny

**Mineralogie** = věda zabývající se popisem zevních vlastností, vnitřní strukturou a chemickým složením minerálů, jejich vznikem a přeměnami.

**Hlavní úkoly mineralogie:**

1. Výzkum stavby a složení minerálů (chemismus, struktura)
2. Výzkum vlastností minerálů (zvýšení jejich praktického využití)
3. Vývoj nových analytických metod (charakteristika minerálů, separace)
4. Podchycení známých minerálů, objev minerálů nových, uspořádání minerálů do jednotného systematického schématu
5. Studium tvorby a stability minerálů v přírodě; laboratorní modelování přírodních podmínek (výroba syntetických nerostů)
6. Využití mineralogických metod a poznatků pro výzkum nerostných surovin a materiálu mimozemského původu



# GEOLOGIE

Ložisková geologie

Petrologie

Kosmologie

Geografie

Geochemie

Geofyzika

## CHEMIE

# MINERALOGIE

## FYZIKA

**Fyzikální chemie**  
(termodynamika,  
fázové rovnováhy,  
kinetika, chemie  
povrchů, elektro-  
chemie)

**Atomová fyzika**  
(studium a popis elektron. obalů)

**Krystalochemie**  
(chem. vazby, krystalové  
struktury, symetrie)

**Krystalová fyzika**

## KRYSTALOGRAFIE

(MATEMATIKA)

# Dělení mineralogie – dílčí disciplíny:

## 1. Všeobecná mineralogie

a) morfologická krystalografie

b) strukturní krystalografie

c) fyzikální mineralogie

d) chemická mineralogie

e) analytická mineralogie

f) syntetická (experimentální) mineralogie

g) genetická mineralogie (část) – ontogenetická/paragenetická

## Dělení mineralogie – dílčí disciplíny:

2. Systematická (speciální) mineralogie

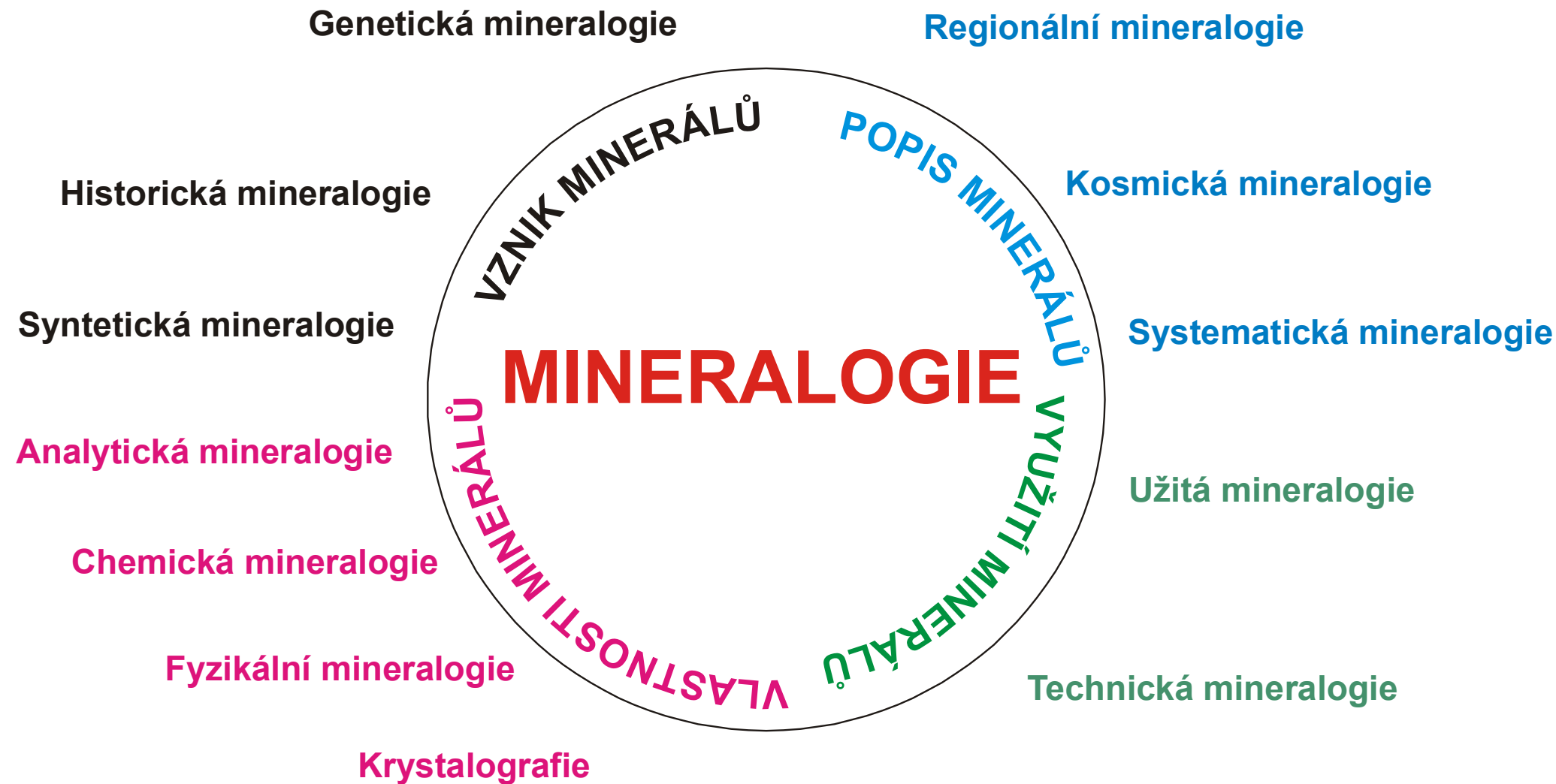
3. Regionální (topografická) mineralogie

4. Historická mineralogie

5. Kosmická mineralogie

6. Užitá mineralogie

7. Technická mineralogie



**Minerál (nerost)** – anorganická homogenní přírodnina převážně pevného (někdy kapalného) skupenství, která je součástí zemské kůry a vesmírných těles a jejíž složení lze vyjádřit chemickým vzorcem.

**Minerální asociace**

**Nerostná surovina**

## Látky:

**krystalované** (omezeny rovnými plochami  
– odraz pravidelné vnitřní stavby)

**krystalické** (vzájemně omezeny nepravidelně)

**beztvaré** (amorfní)

# Krystal

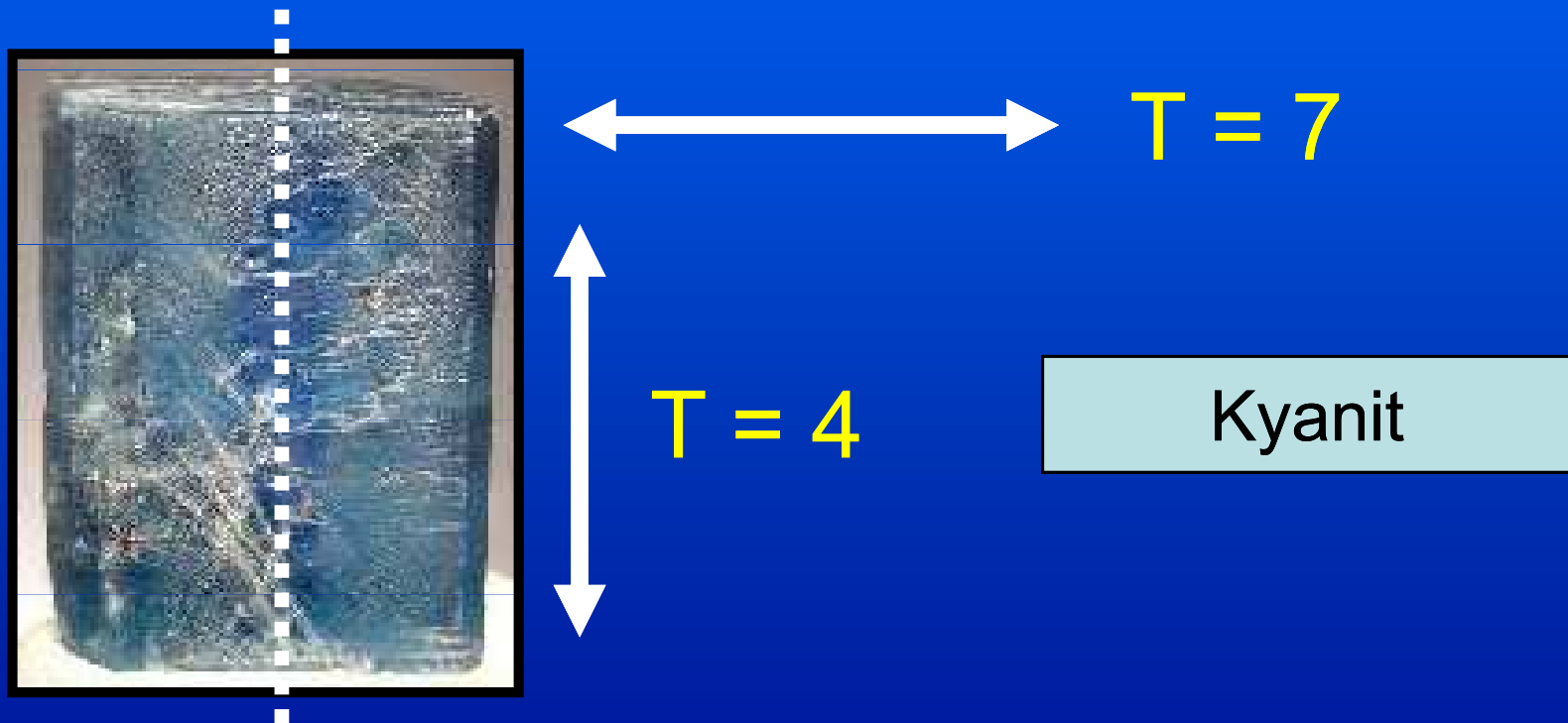
je pevné těleso nebo anizotropní homogenní jedinec, nerost nebo umělá sloučenina se zákonitou vnitřní stavbou, mající určité vztahy ke svému zevnímu tvaru, jehož nejmenší stavební částice nebo jejich skupiny jsou v prostoru pravidelně, periodicky uspořádány.



## Anizotropie, homogenita

Anizotropní látky – fyzikální vlastnosti v různých směrech různé (funkce směru).

Anizotropní těleso = homogenní těleso, které má v rovnoběžných směrech stejné fyzikální vlastnosti, v nerovnoběžných směrech má vlastnosti různé.



Homogenní látka – ve všech svých částech stejné chemické složení a stejné vnitřní uspořádání.



## Vznik krystalů

a) krystalizací z roztoků/tavenin

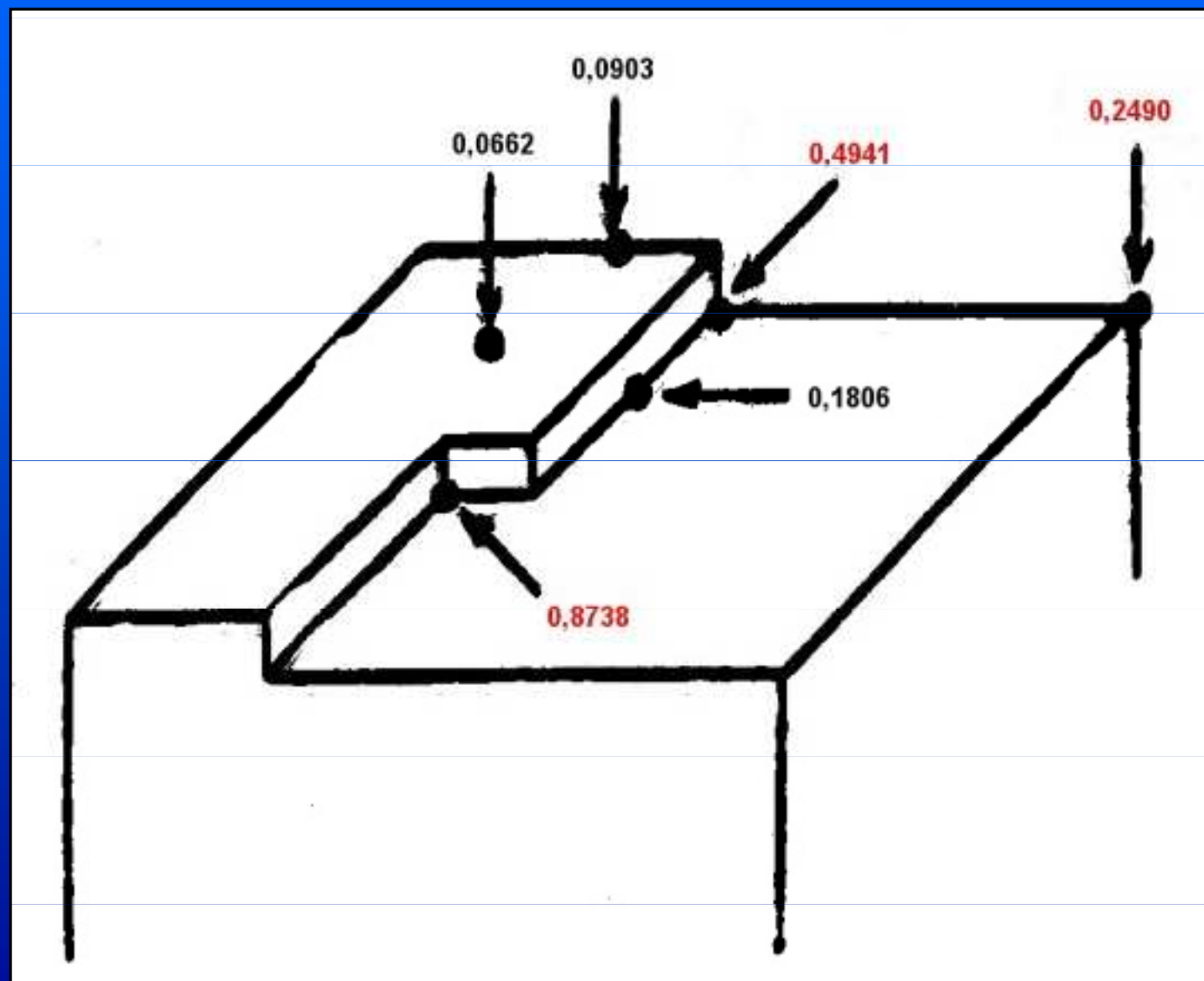
b) usazováním na stěnách dutin z plynných produktů vulkanické činnosti

c) rekrystalizací pevné fáze

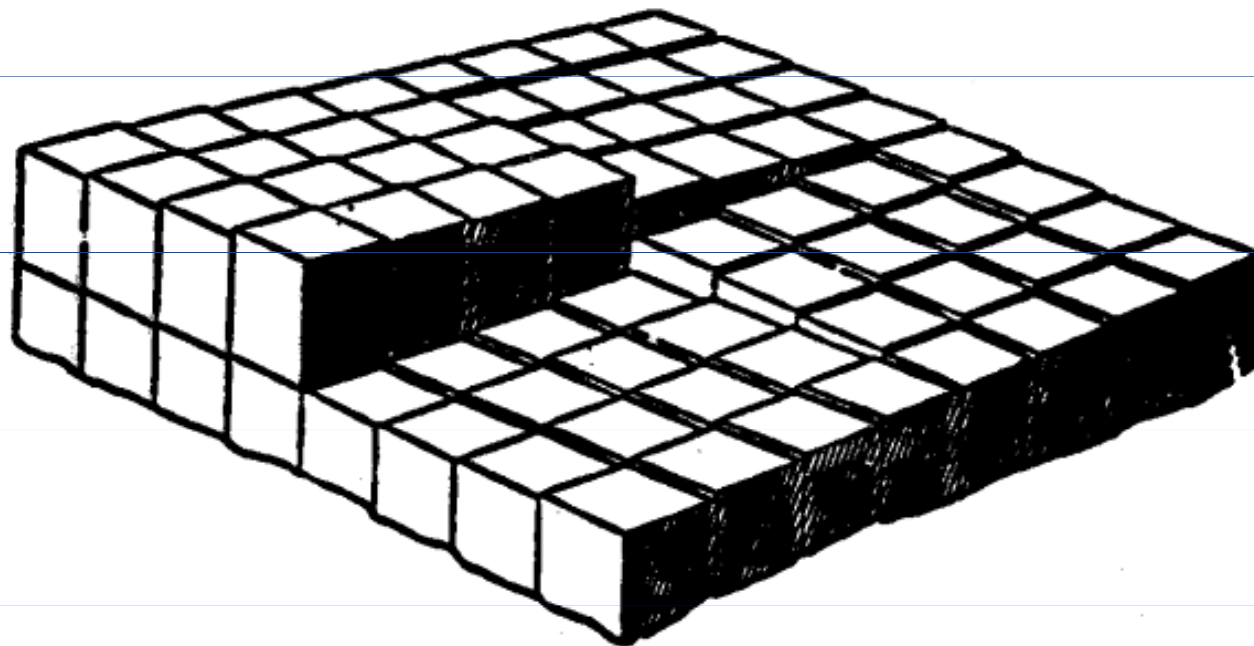
# Růst krystalů

Krystalizační centra

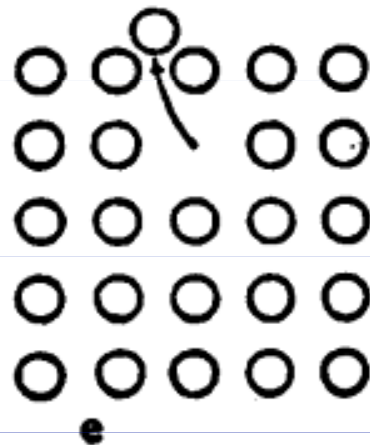
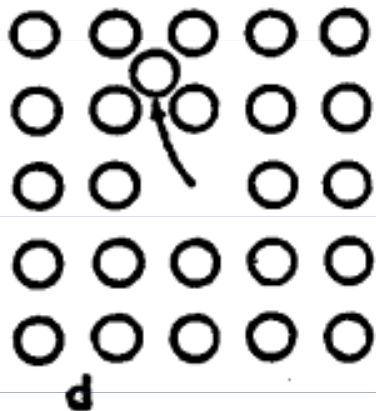
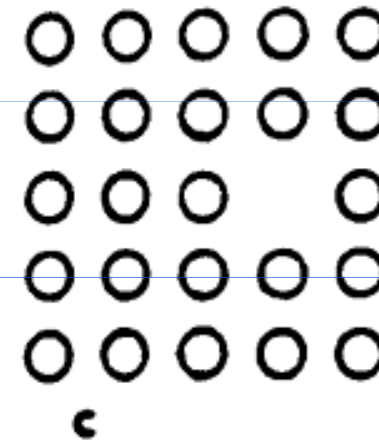
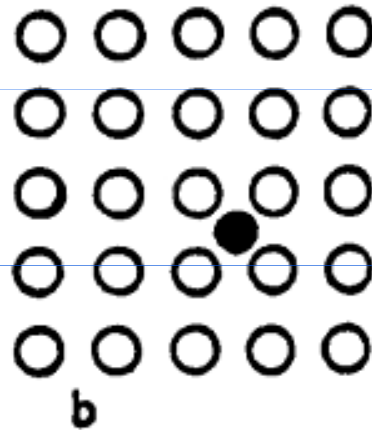
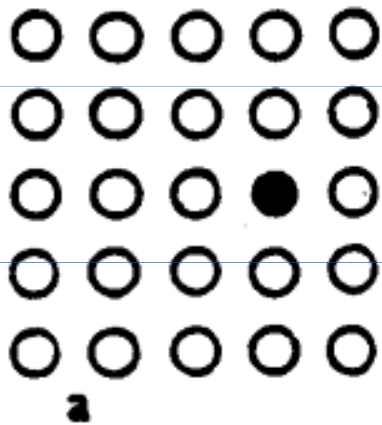
Apozice



## Nízké přesycení roztoku - spirálový růst



## Ideální a reálný krystal



Poruchy krystalových struktur:

- bodové poruchy
- dislokace
- substituce

## Výskyt krystalů v přírodě

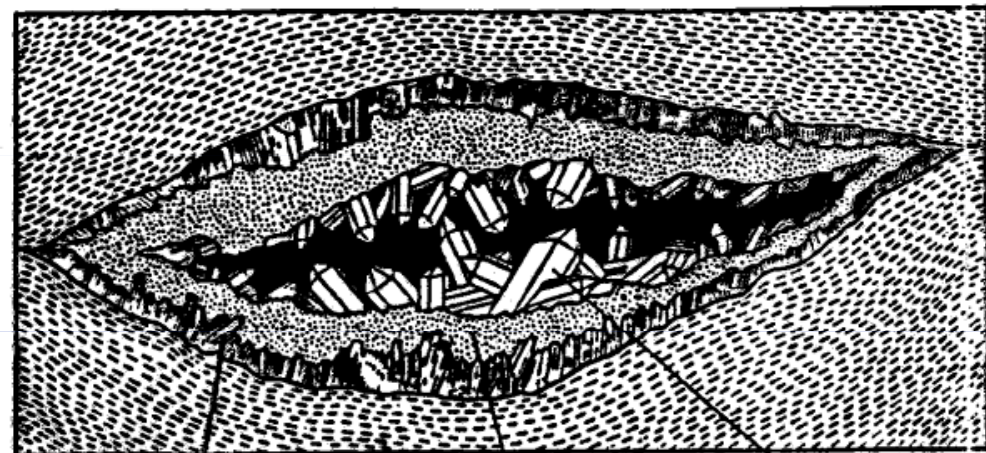
Volné krystaly

Narostlé krystaly (přisedlé):

- drúzy,
- geody,
- shluky

Zarostlé krystaly

Krystalické agregáty



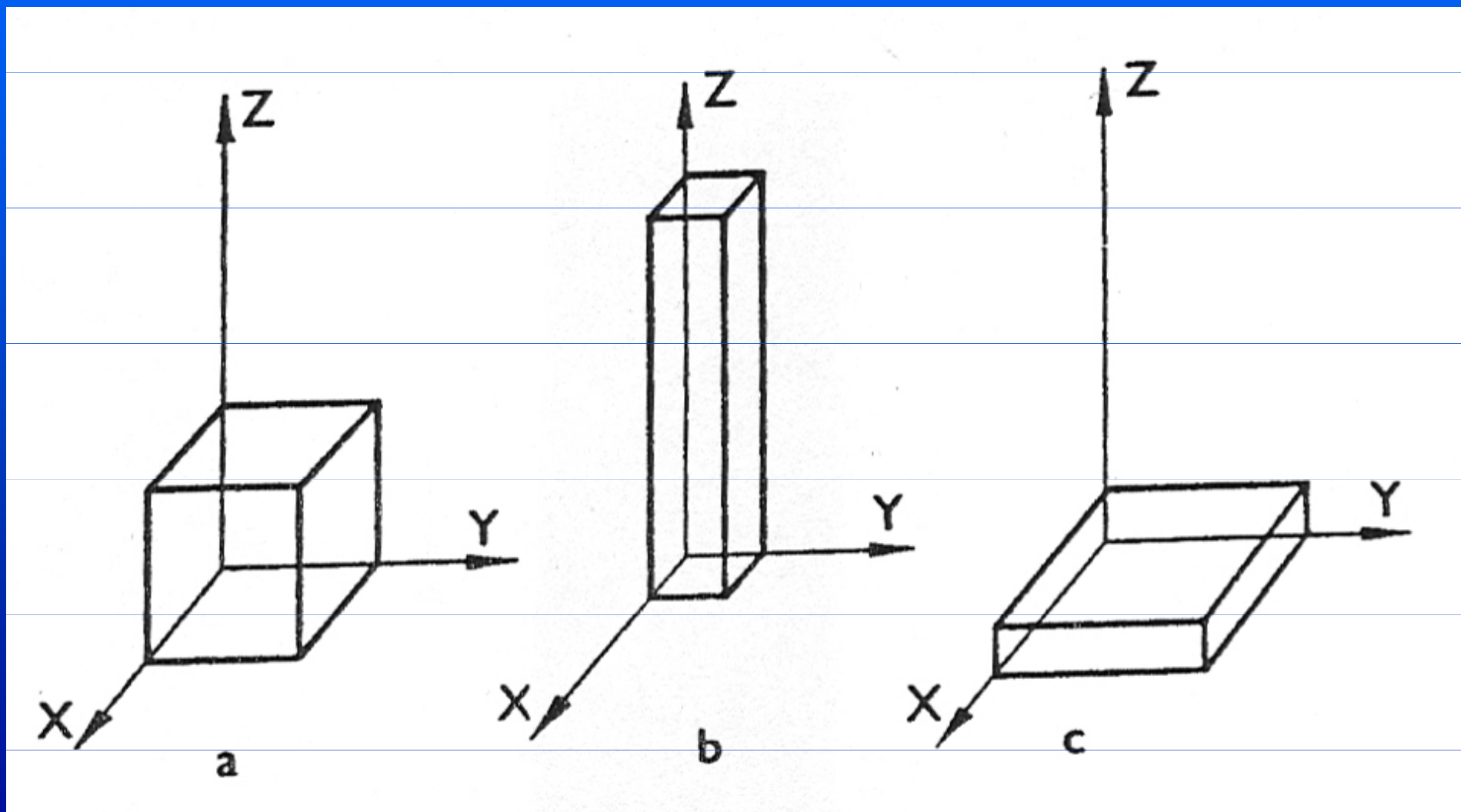
křemen  
1. generace

sfalerit

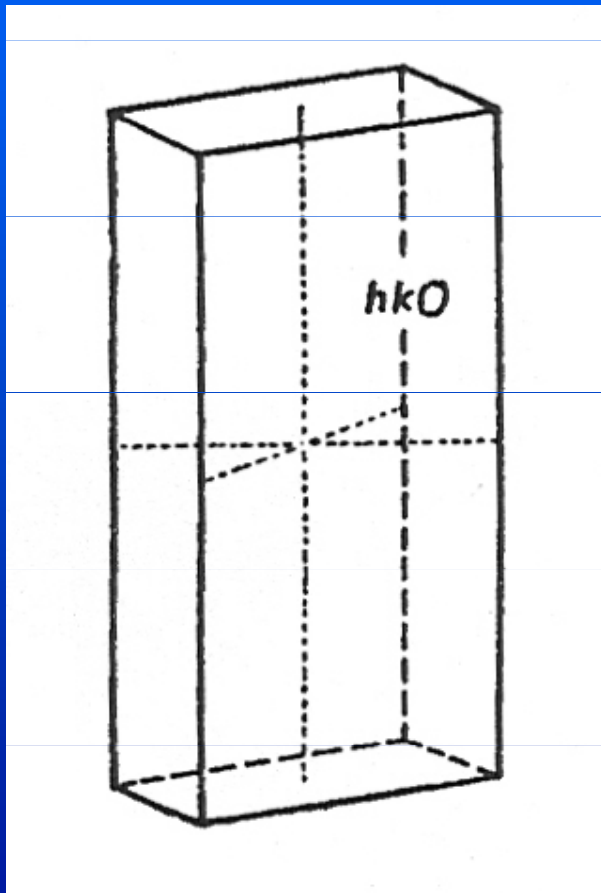
křemen  
2. generace

## Vývin krystalů

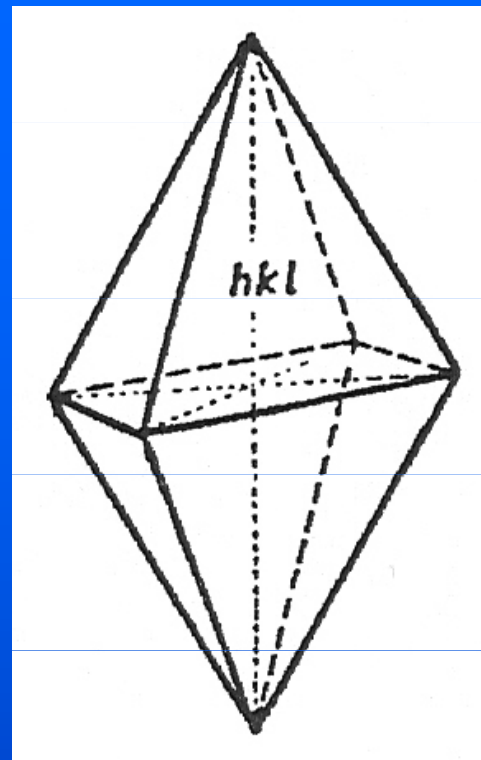
- Krystalový habitus



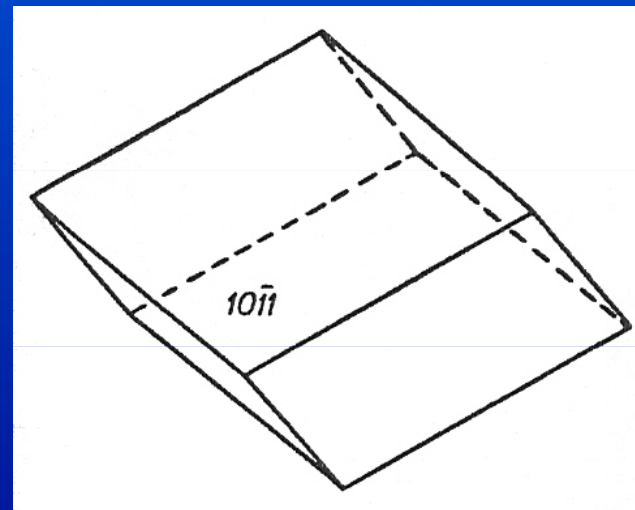
- Krystalový typus



Prizmatický typus



Dipyramidální typus



Romboedrický typus

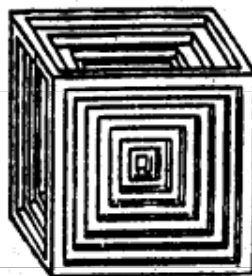
# Rychlost krystalizace



Kostrovitý růst

Rýhování krystalových ploch

- změny fyzikálně-chemických podmínek při krystalizaci



a



b



c





Dendrity: rychlá krystalizace (viskózní prostředí)

## Krystalová souměrnost

### Euler-Descartovo pravidlo

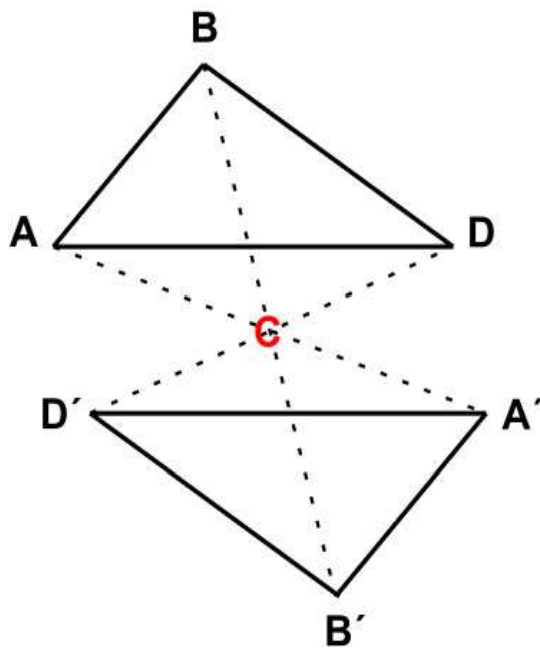
$$P + R = H + 2$$

## **Prvky souměrnosti**

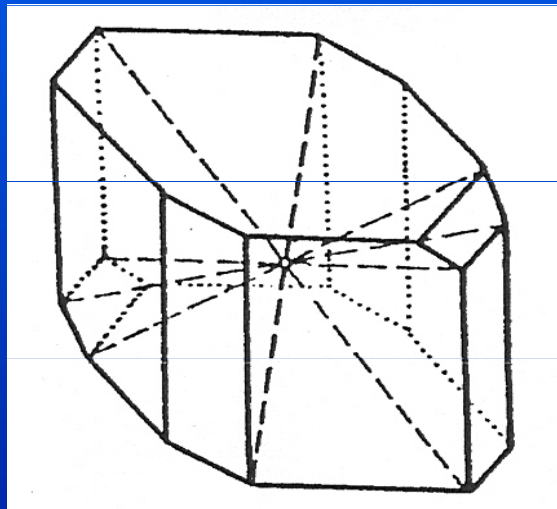
- 1. Střed souměrnosti**
- 2. Rovina souměrnosti**
- 3. Osa souměrnosti**

# Střed souměrnosti

Střed souměrnosti (C) = bod od něhož jsou stejnocenné body daného útvaru stejně vzdáleny v opačných směrech.



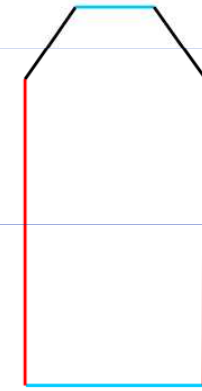
$A = A'$   
 $B = B'$   
 $D = D'$  } body inverzně souměrné



Ověření středu souměrnosti



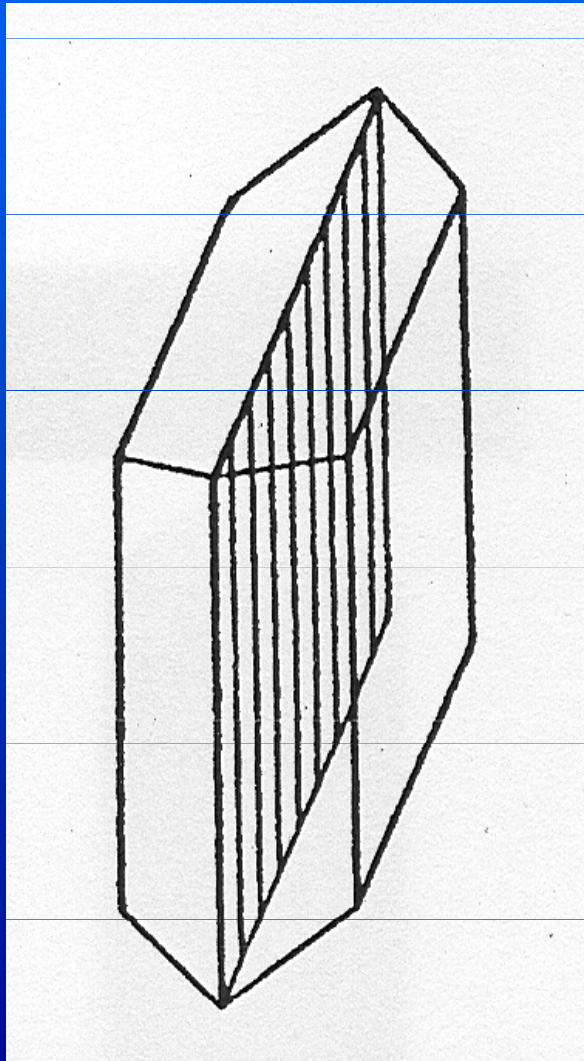
Střed souměrnosti: **ANO**



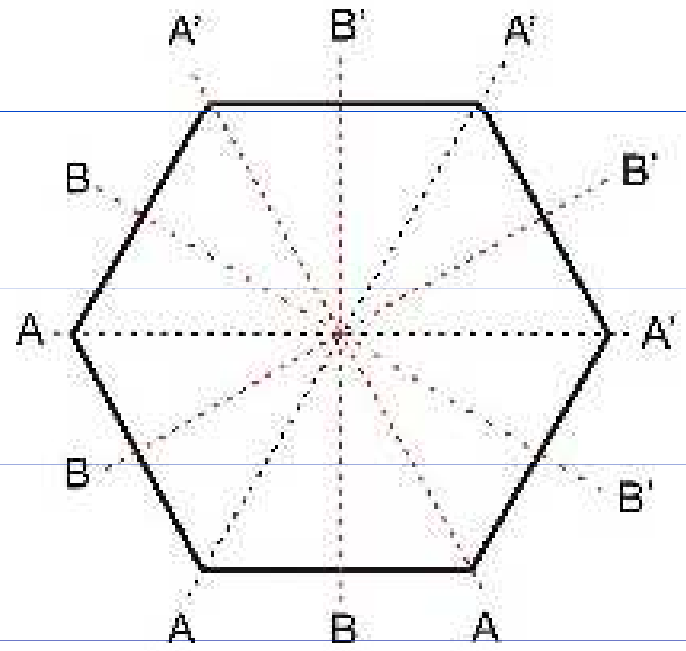
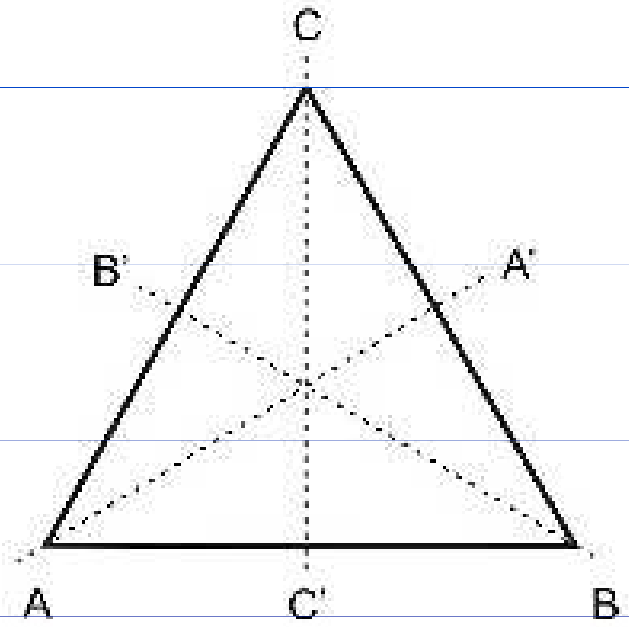
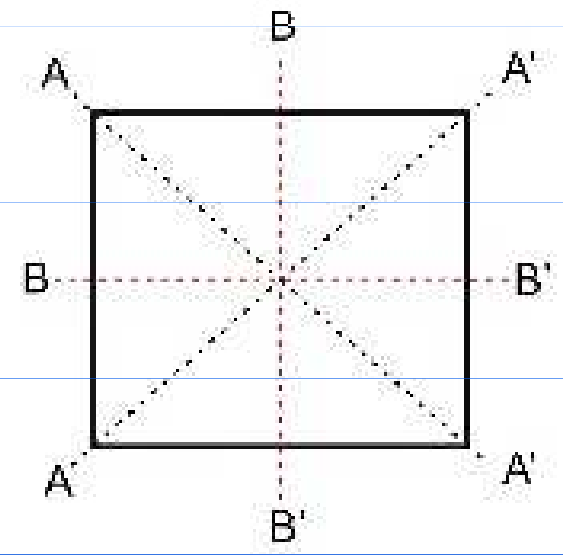
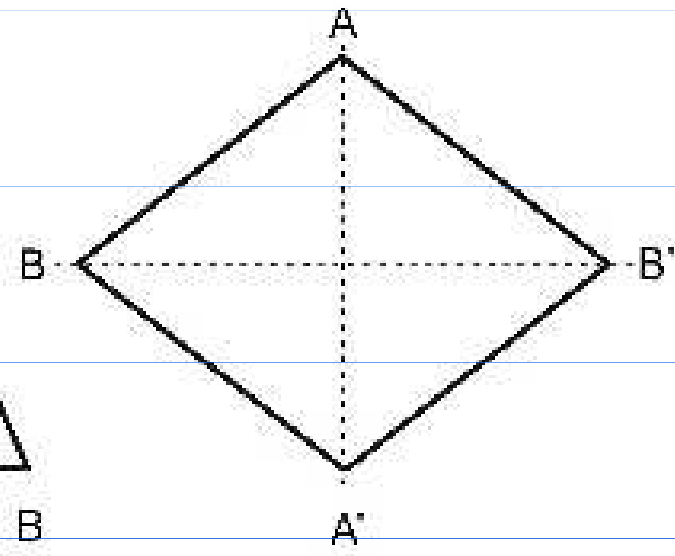
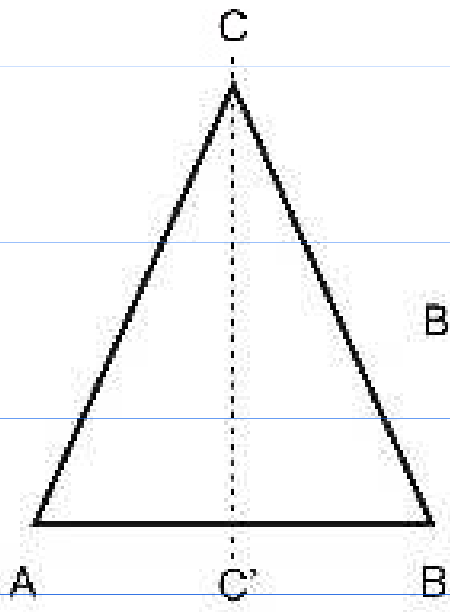
Střed souměrnosti: **NE**

## Rovina souměrnosti

Rovina souměrnosti ( $m$ ) = myšlená rovina, která rozděluje uvažovaný útvar na dvě zrcadlově shodné poloviny.



Rovina souměrnosti prochází vždy středem daného útvaru a je rovnoběžná s plochou krystalograficky možnou.



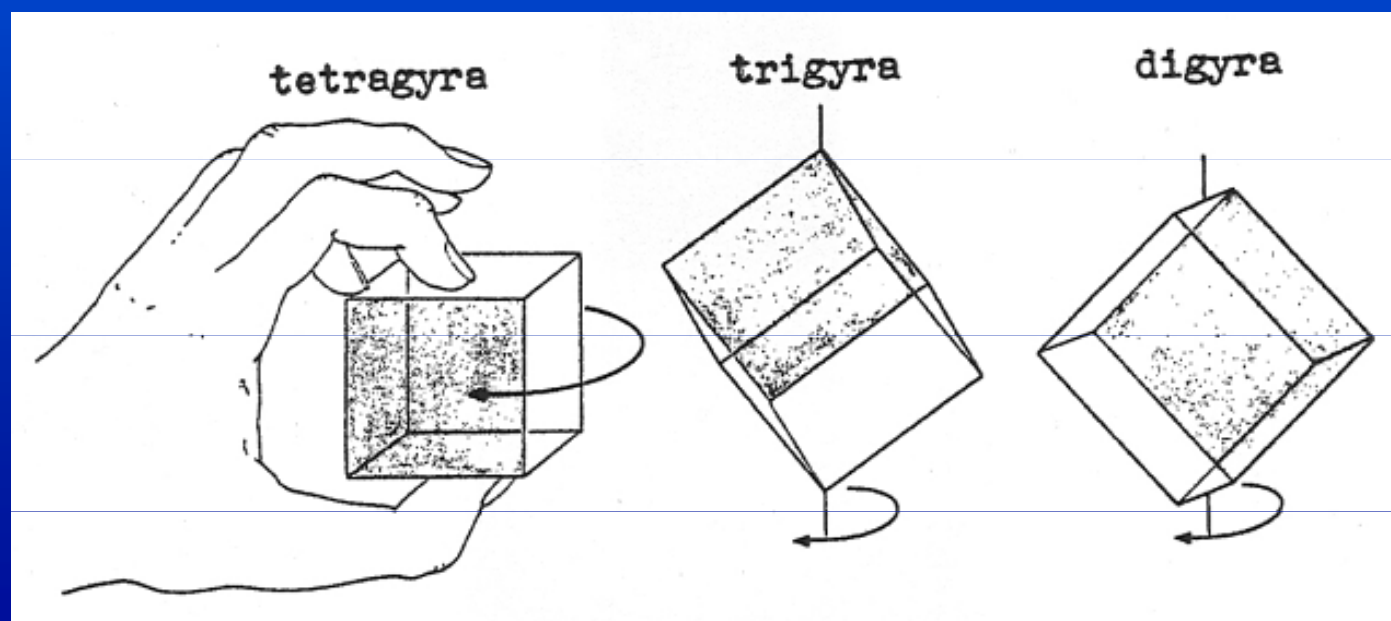
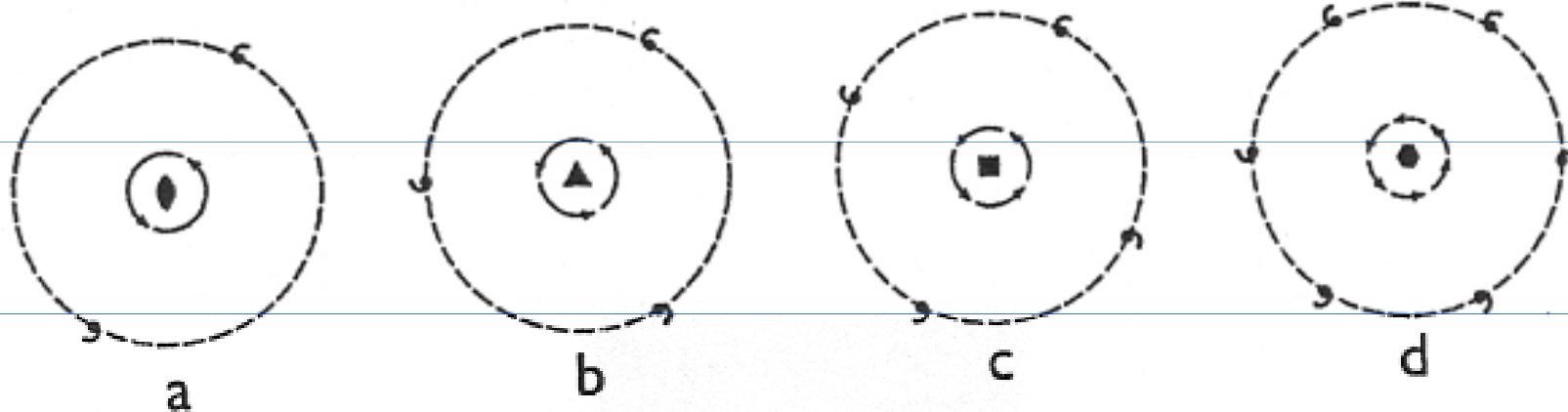
## Osa souměrnosti

Osa souměrnosti (gyra) = myšlená přímka vedená středem krystalu, kolem níž můžeme krystal otočit o určitý úhel, abychom jej dostali do polohy shodné s polohou výchozí.

Počet shodných poloh = četnost osy.

Minimální úhel otočky pro danou četnost osy ( $n$ ):  $\alpha = \frac{360}{n}$

# Operace s gyrami

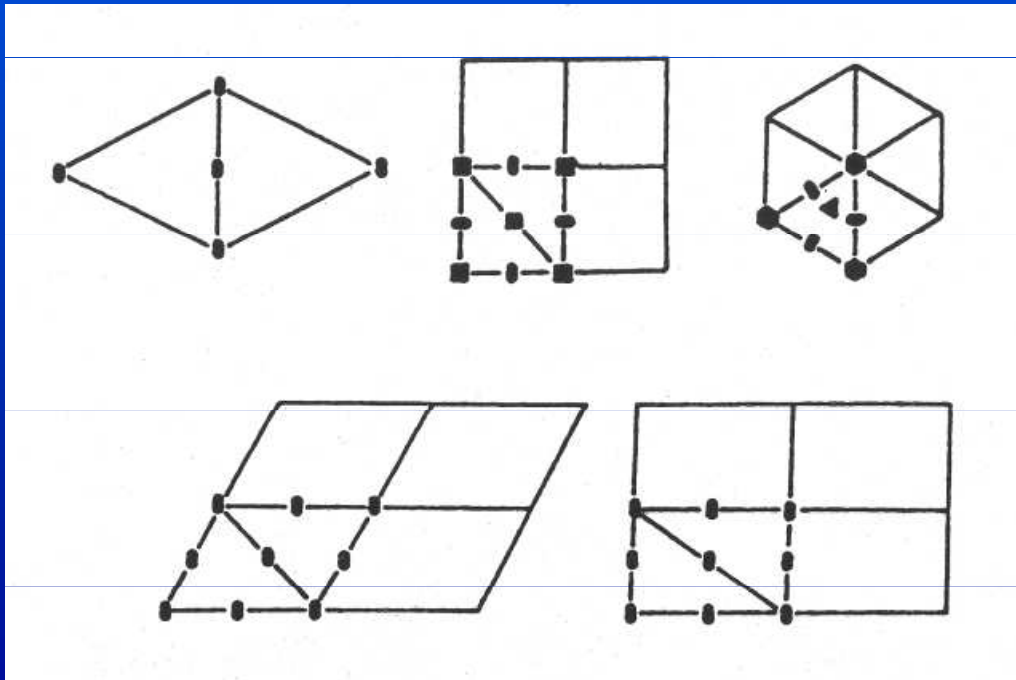








## Osy souměrnosti:

- dvojčetné
- trojčetné
- čtyřčetné
- šestičetné

Nepřítomnost výše čtených os souvisí s vnitřním uspořádáním krystalu – s požadavkem homogenity jeho struktury.

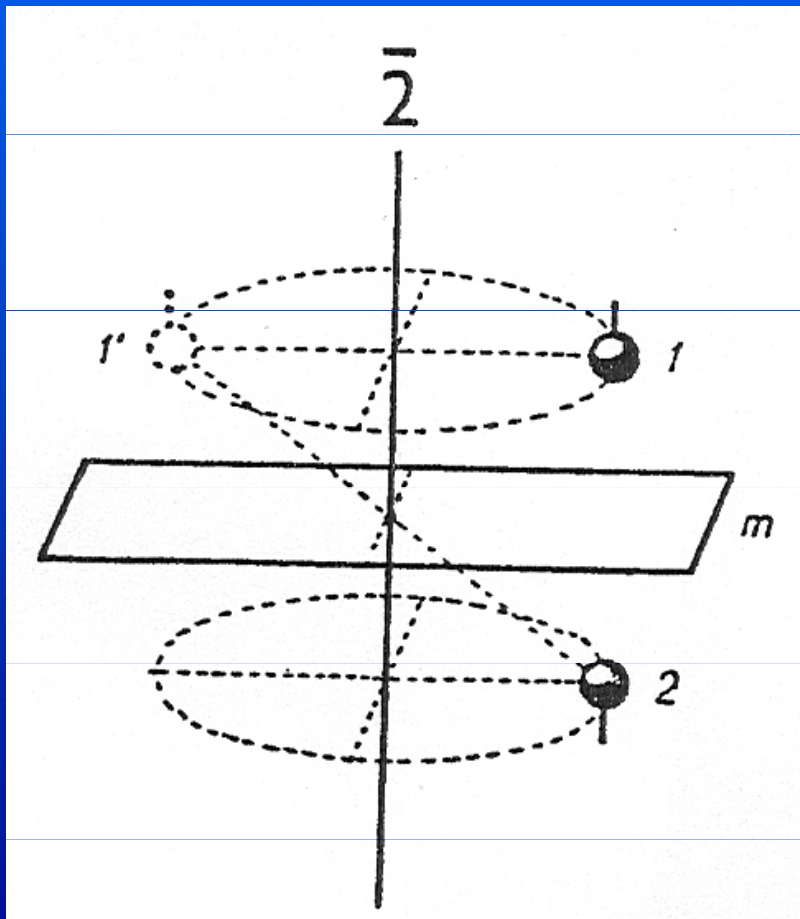


Zachování homogenity (pokrytí strukturních rovin bez mezer) možné pouze u útvarů, které lze rozdělit na vzájemně shodné trojúhelníky.

NÁZEV OSY	OZNAČENÍ OSY	MINIMÁLNÍ ÚHEL OTOČENÍ	DALŠÍ MOŽNÉ ÚHLY OTOČENÍ
<b>ŠESTIČETNÁ</b> HEXAGYRA	$g_6$  6	$360/6 = 60^\circ$	$120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ, 360^\circ$
<b>ČTYŘČETNÁ</b> TETRAGYRA	$g_4$  4	$360/4 = 90^\circ$	$180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$
<b>TROJČETNÁ</b> TRIGYRA	$g_3$  3	$360/3 = 120^\circ$	$240^\circ, 360^\circ$
<b>DVOJČETNÁ</b> DIGYRA	$g_2$  2	$360/2 = 180^\circ$	$360^\circ$

## Složená souměrnost

Inverzní osa souměrnosti – gyroida: spojení osy souměrnosti a středu souměrnosti



$$\bar{1} = C$$

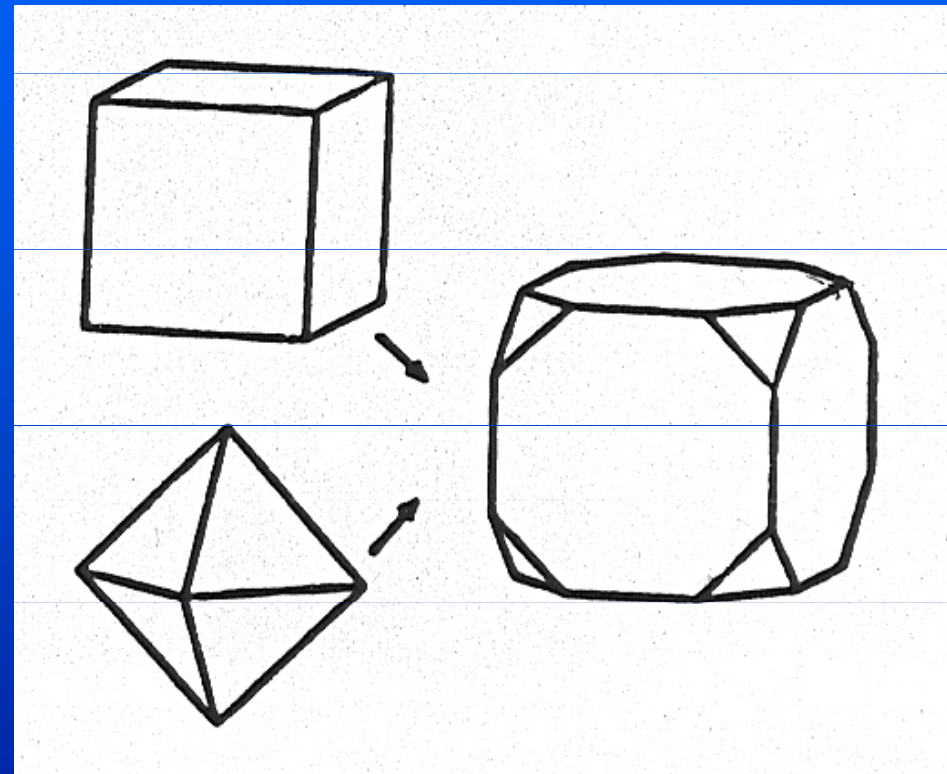
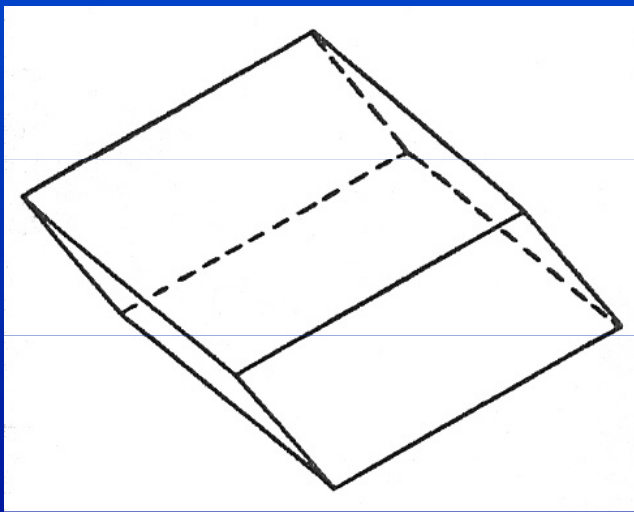
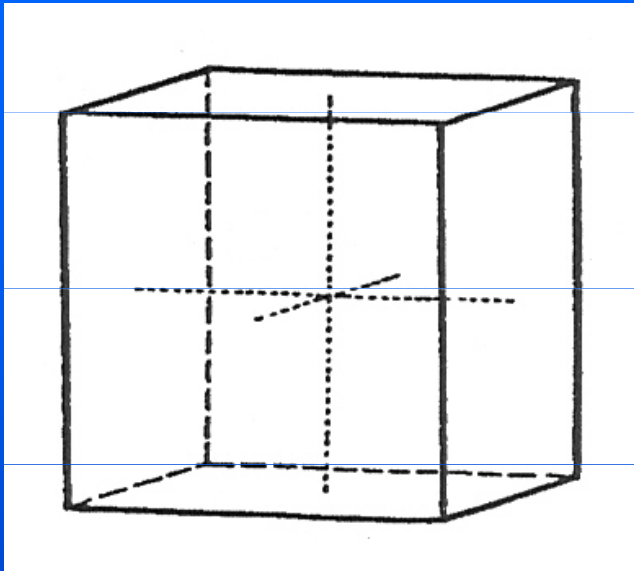
$$\bar{2} = m$$

$$\bar{3} = 3 + \bar{1} \quad (3 + C)$$

$$\bar{4}$$

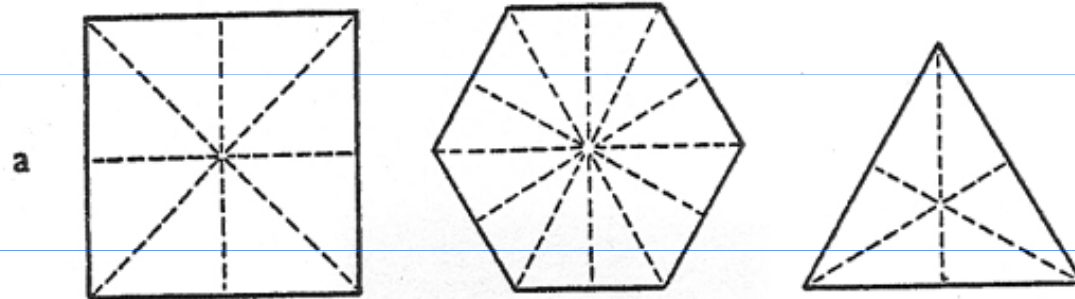
$$\bar{6} = 3/m$$

# Jednoduchý tvar a spojka

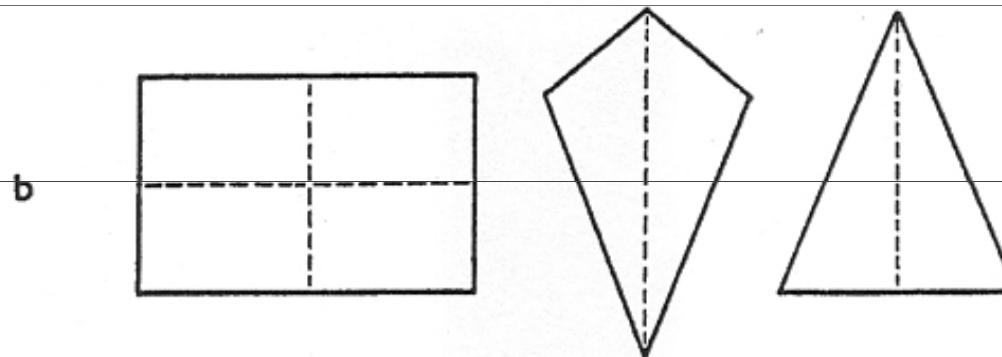


# Typy krystalových ploch (podle tvaru)

a) Plochy pravidelné



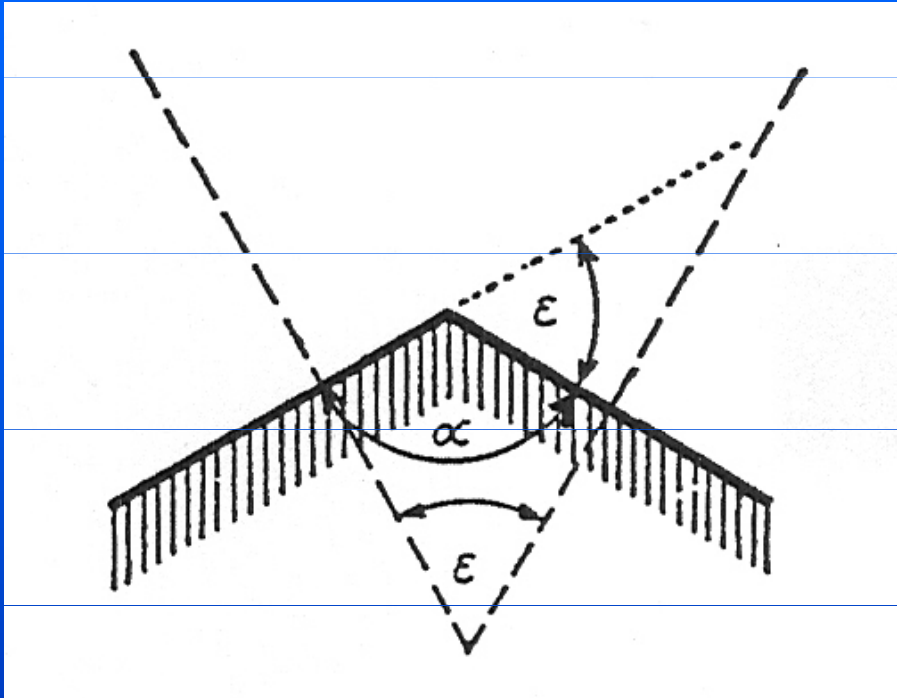
b) Plochy souměrné



c) Plochy nesouměrné



## Poloha krystalových ploch (velikost úhlu hrany)

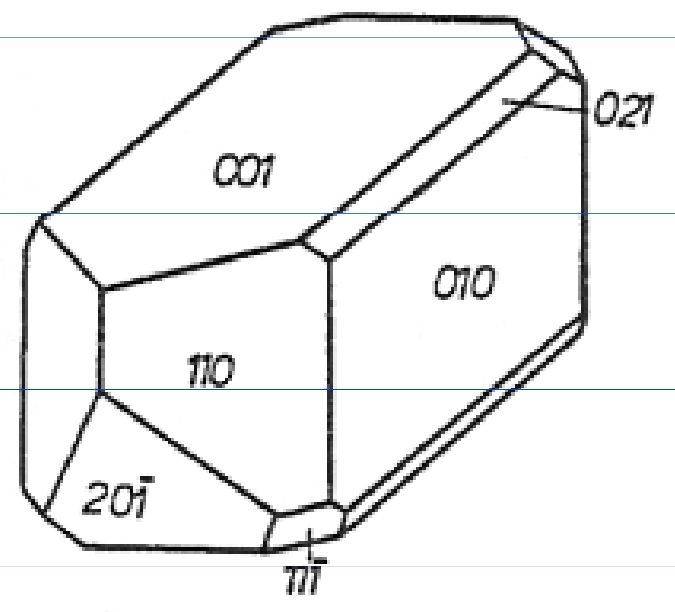
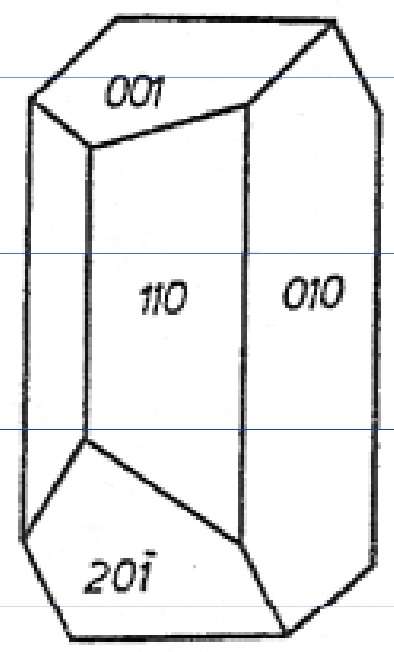
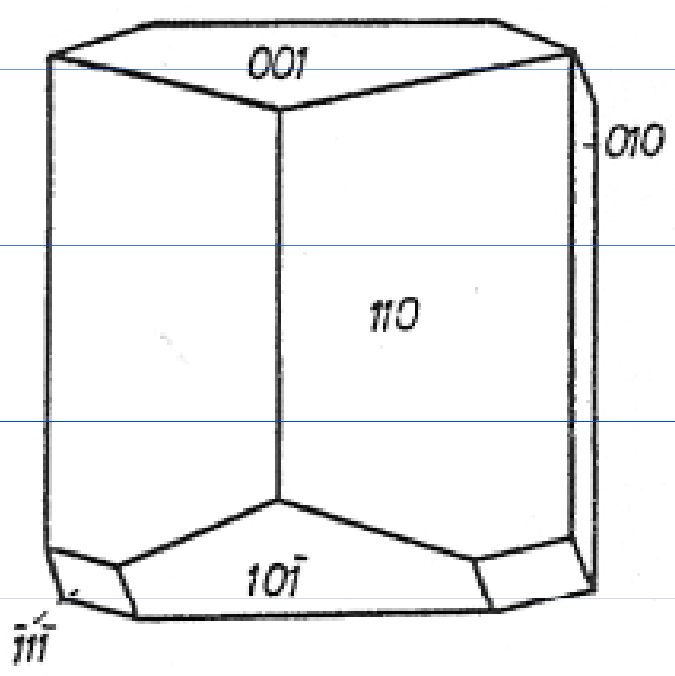


Zákon stálosti úhlu hran  
(1669 – Nicolas Stensen)

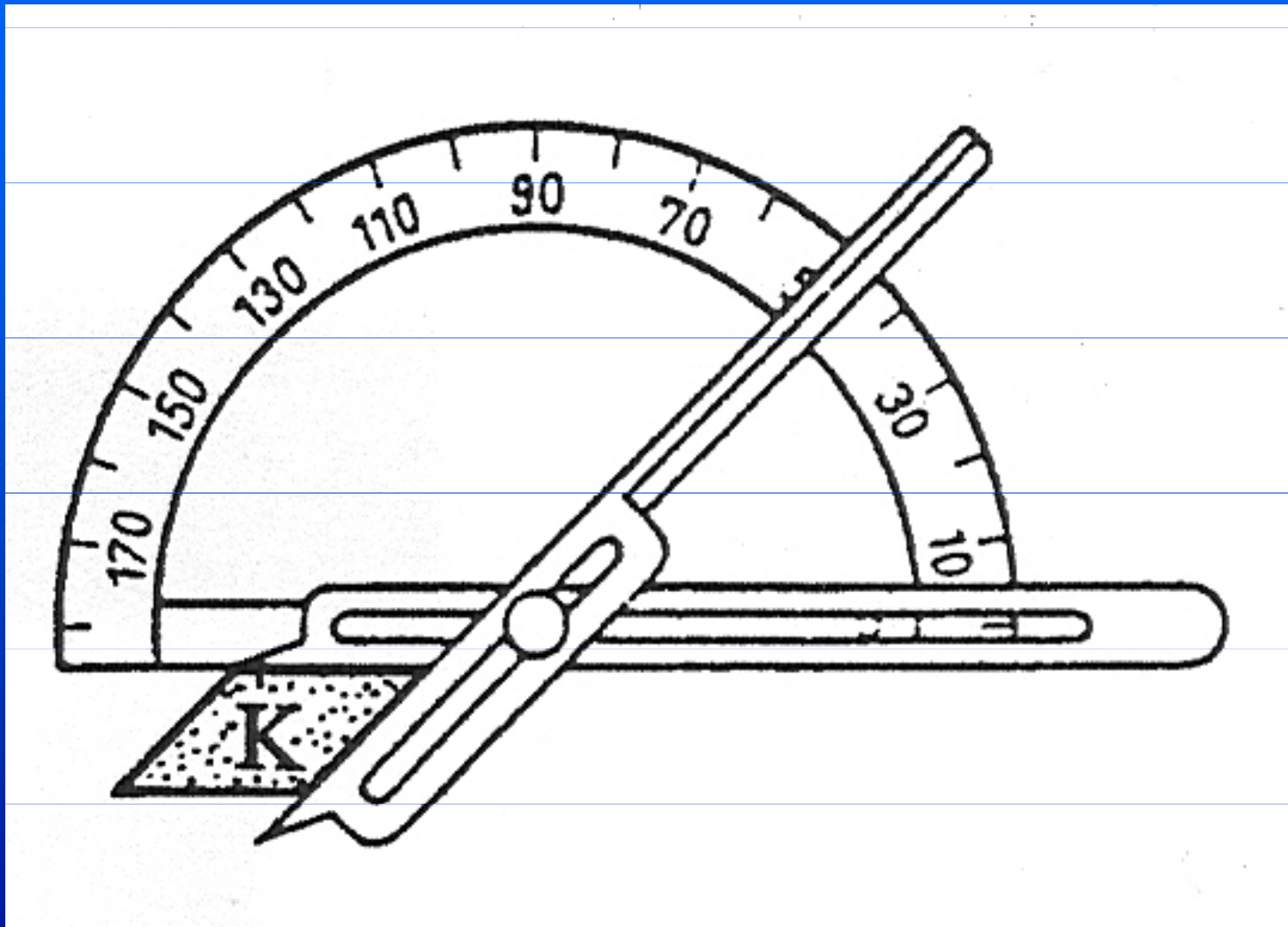


Na všech krystalech téže látky svírají sobě odpovídající plochy vždy stejné úhly.

Stejnocenné krystalové plochy na různých krystalech určité látky svírají při stejných teplotních a tlakových (termodynamických) podmínkách vždy stejný úhel krystalových hran.



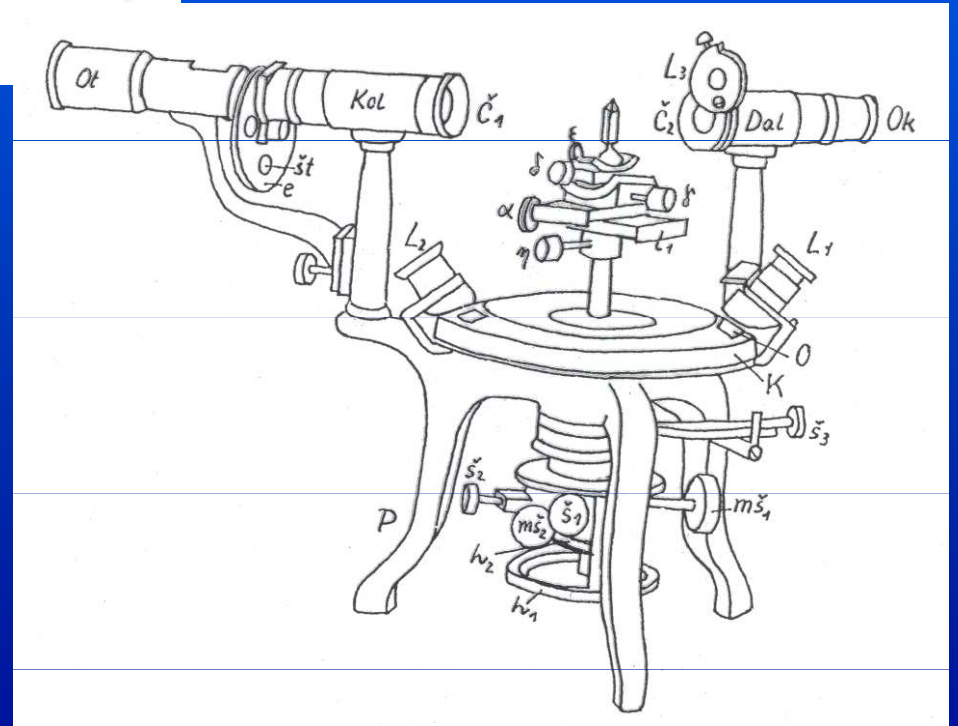
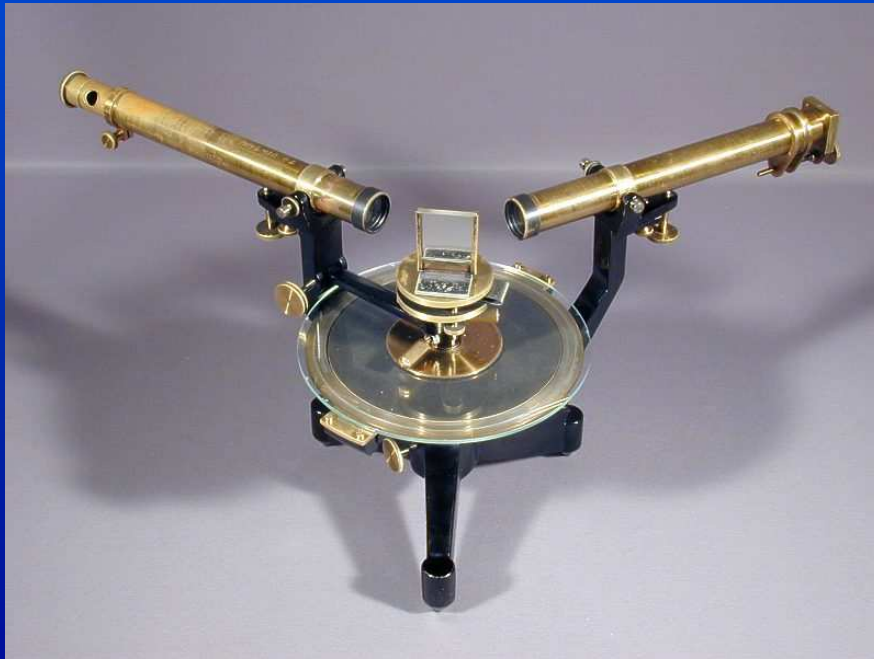
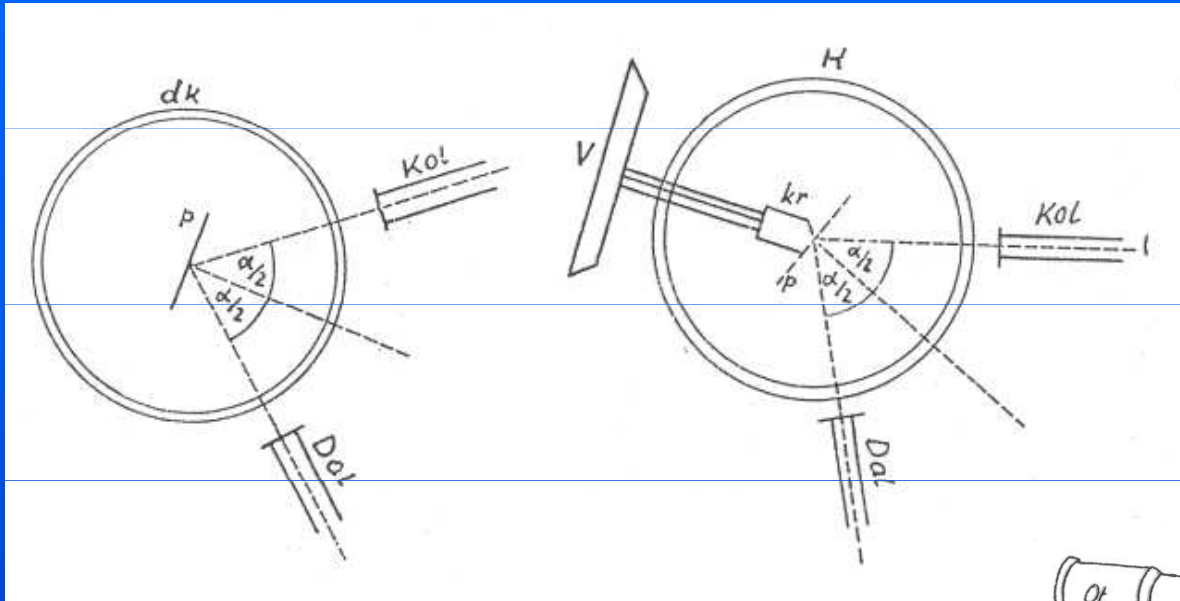
## Měření velikosti úhlu hrany - goniometry



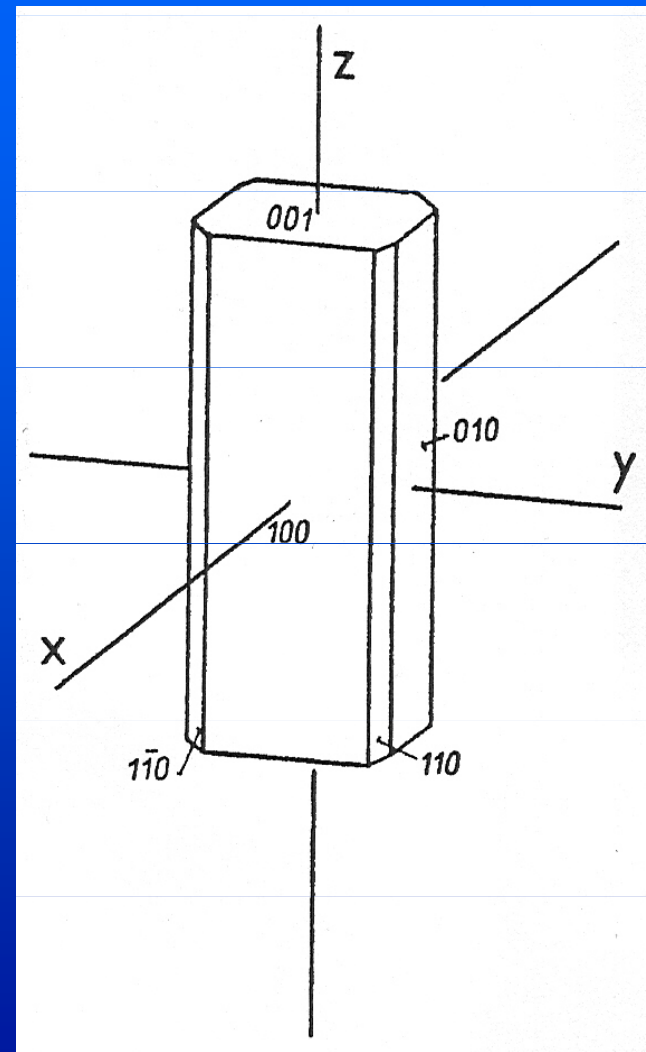
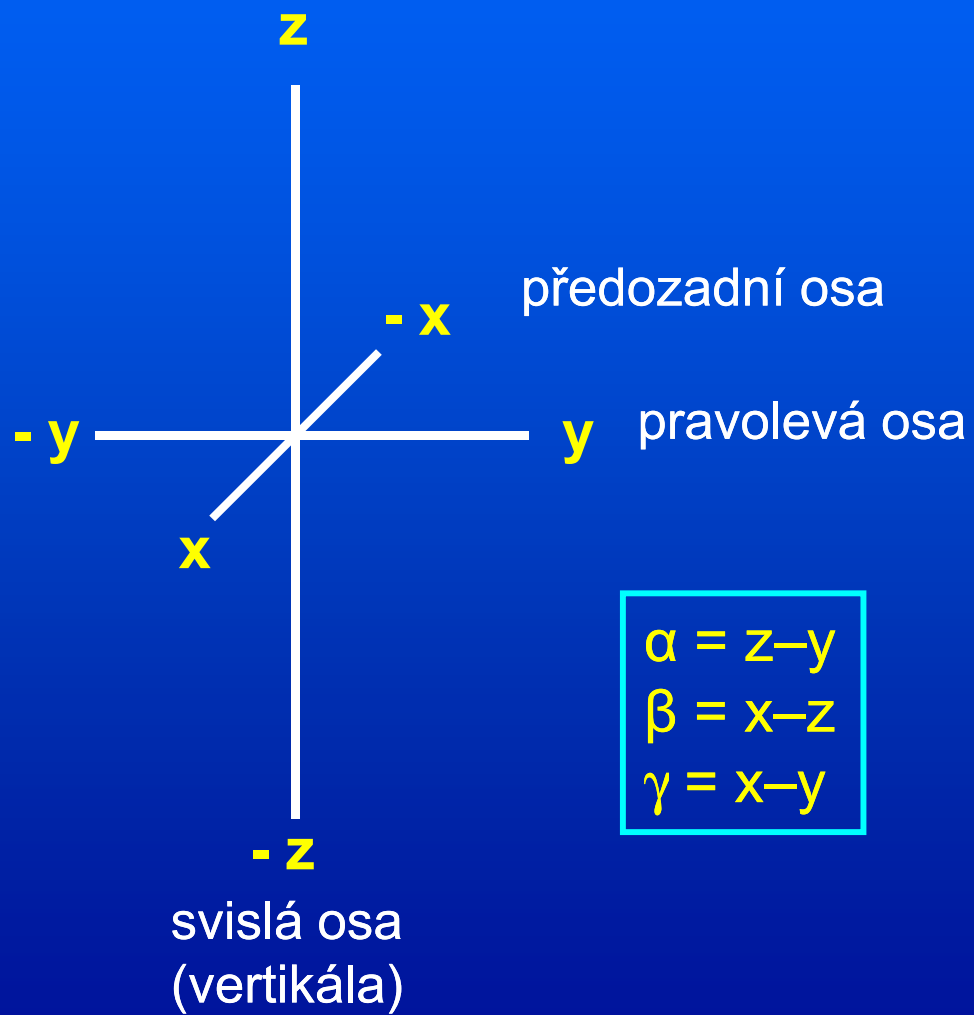
Příložný goniometr



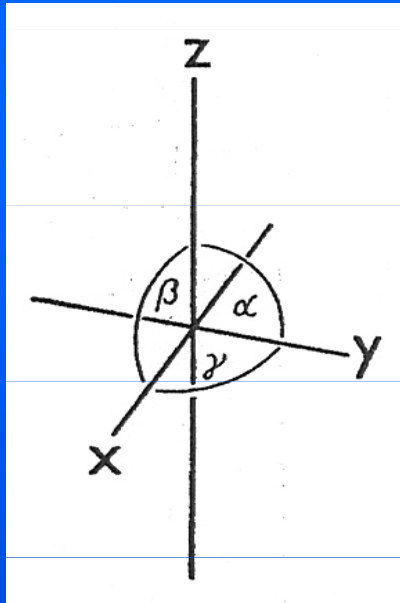
# Odrazový goniometr



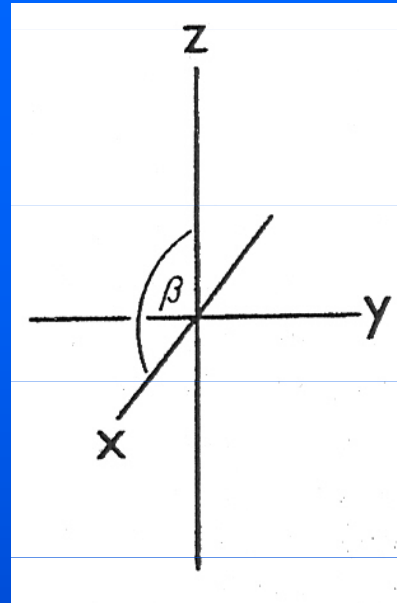
# Osní kříž



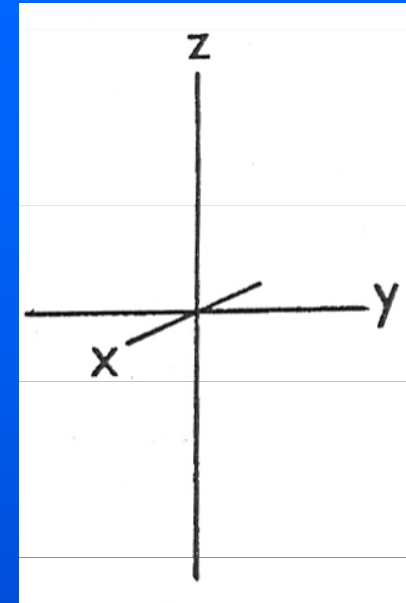
**Triklinická symetrie**



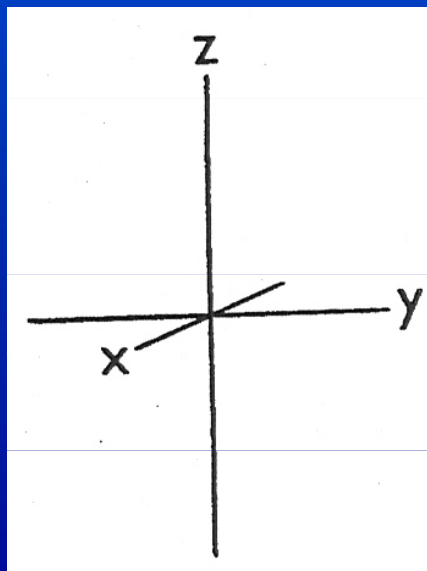
**Monoklinická symetrie**



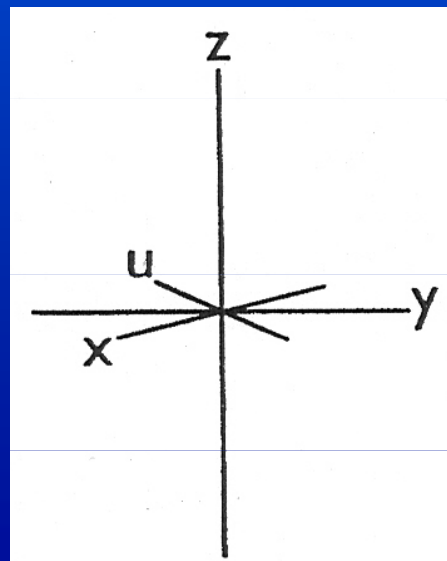
**Rombická symetrie**



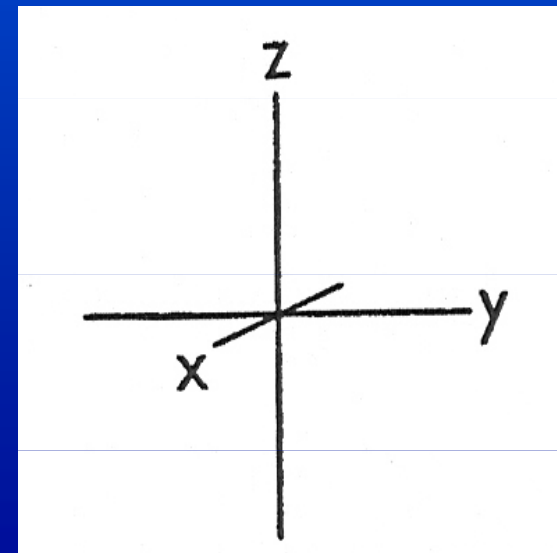
**Tetragonální symetrie**



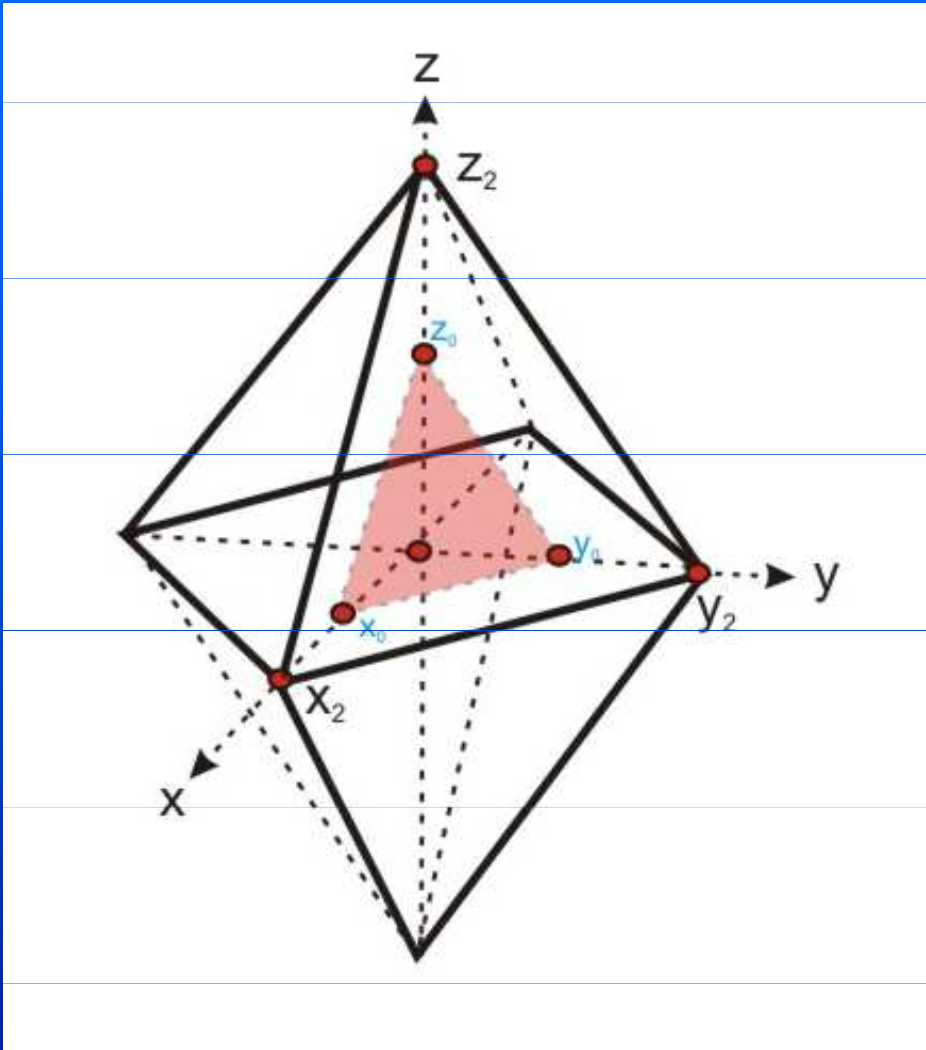
**Hexagonální (trigonální) symetrie**



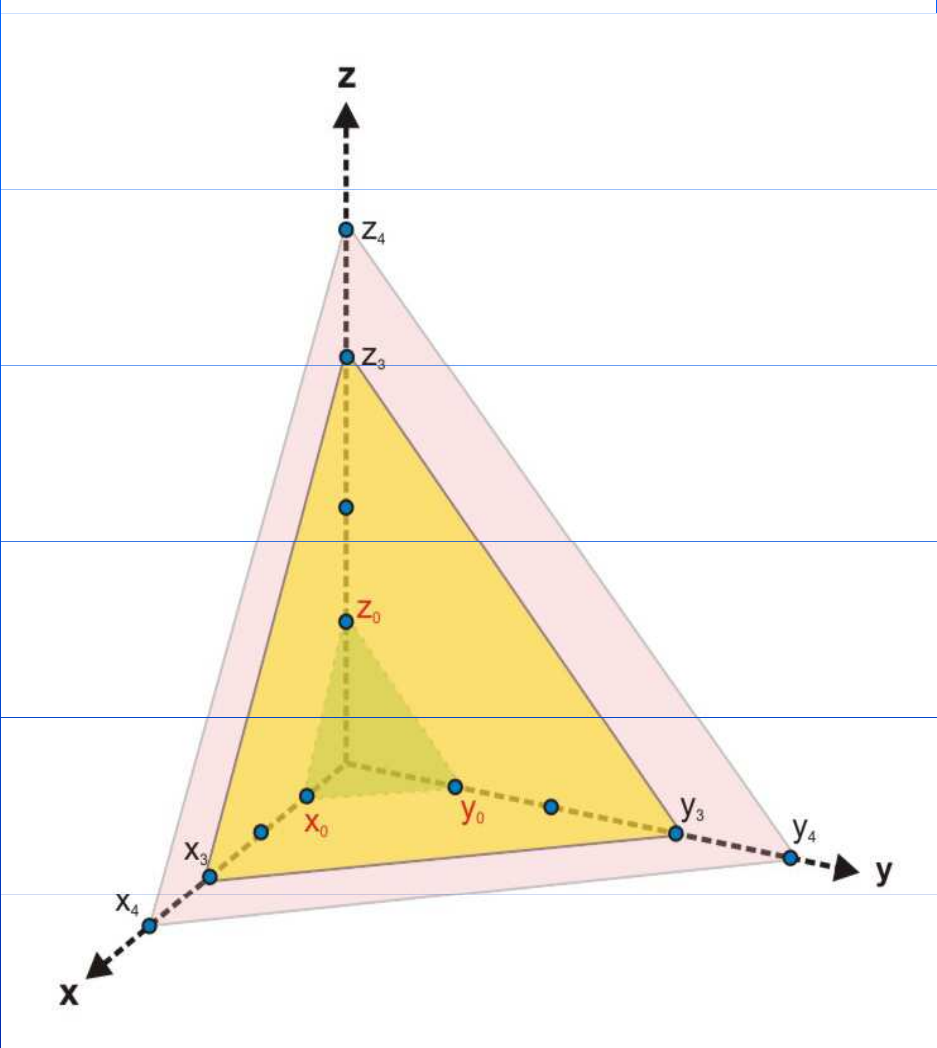
**Kubická symetrie**



# Krystalografické indexy



$$x_2 : y_2 : z_2 = 2x_0 : 2y_0 : 2z_0 = X_0 : y_0 : z_0$$



$$x_3 : y_3 : z_3 = 3x_0 : 3y_0 : 3z_0 = X_0 : y_0 : z_0$$

$$x_4 : y_4 : z_4 = 4x_0 : 4y_0 : 4z_0 = X_0 : y_0 : z_0$$

# Weissovy značky:

**základní tvar:**  $(x : y : z)$

odvozený tvar:  $(mx : ny : pz)$

plocha:  $x : y : z$        $x : -y : z$

tvar:  $(x : y : \infty z)$  ..... základní prizma

$(mx : ny : \infty z)$  ..... odvozený tvar

# Millerovy značky:

**základní tvar:** (hkl)

**plocha:** hkl

**tvar:** (hkl)  
(111) ..... dvojjechlan (osmistěn)

## Převod krystalografických značek

### 1. Převod Weissových značek na Millerovy:

- a) odvodíme převrácené hodnoty koeficientů
- b) odvozené hodnoty převedeme na společného jmenovatele
- c) ze získaného výsledku zapíšeme čitatele

$$2x : y : \frac{3}{2}z = \frac{1}{2}x : y : \frac{2}{3}z = \frac{3}{6}x : \frac{6}{6}y : \frac{4}{6}z = 364$$

## Převod krystalografických značek

### 2. Převod Millerových značek na Weissovy:

$$321 = \frac{1}{3} x : \frac{1}{2} y : z = \frac{2}{6} x : \frac{3}{6} y : \frac{6}{6} z = 2x : 3y : 6z$$

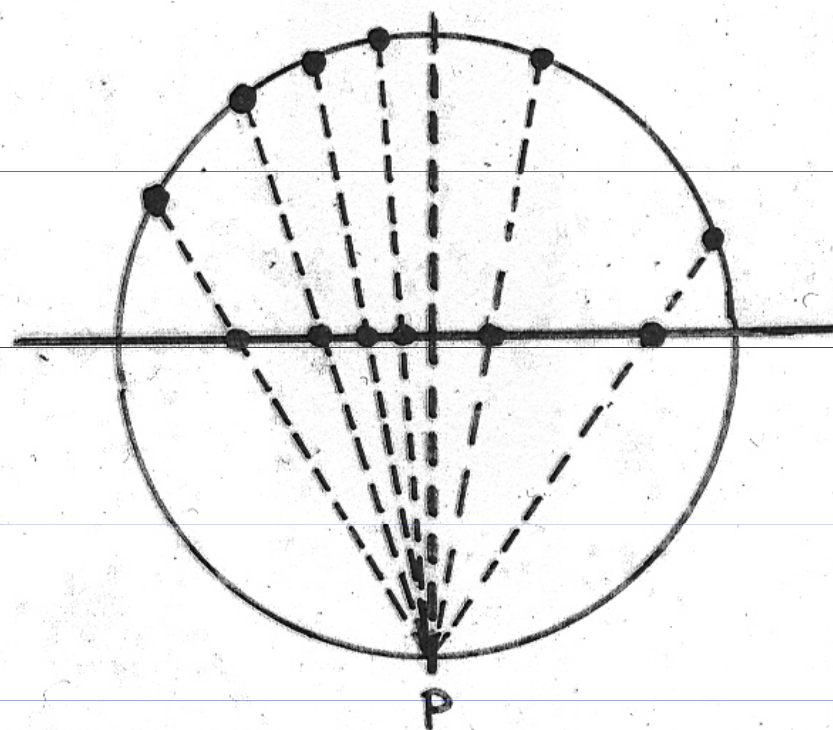


## Zákon celých čísel (zákon o racionalitě odvozovacích indexů)

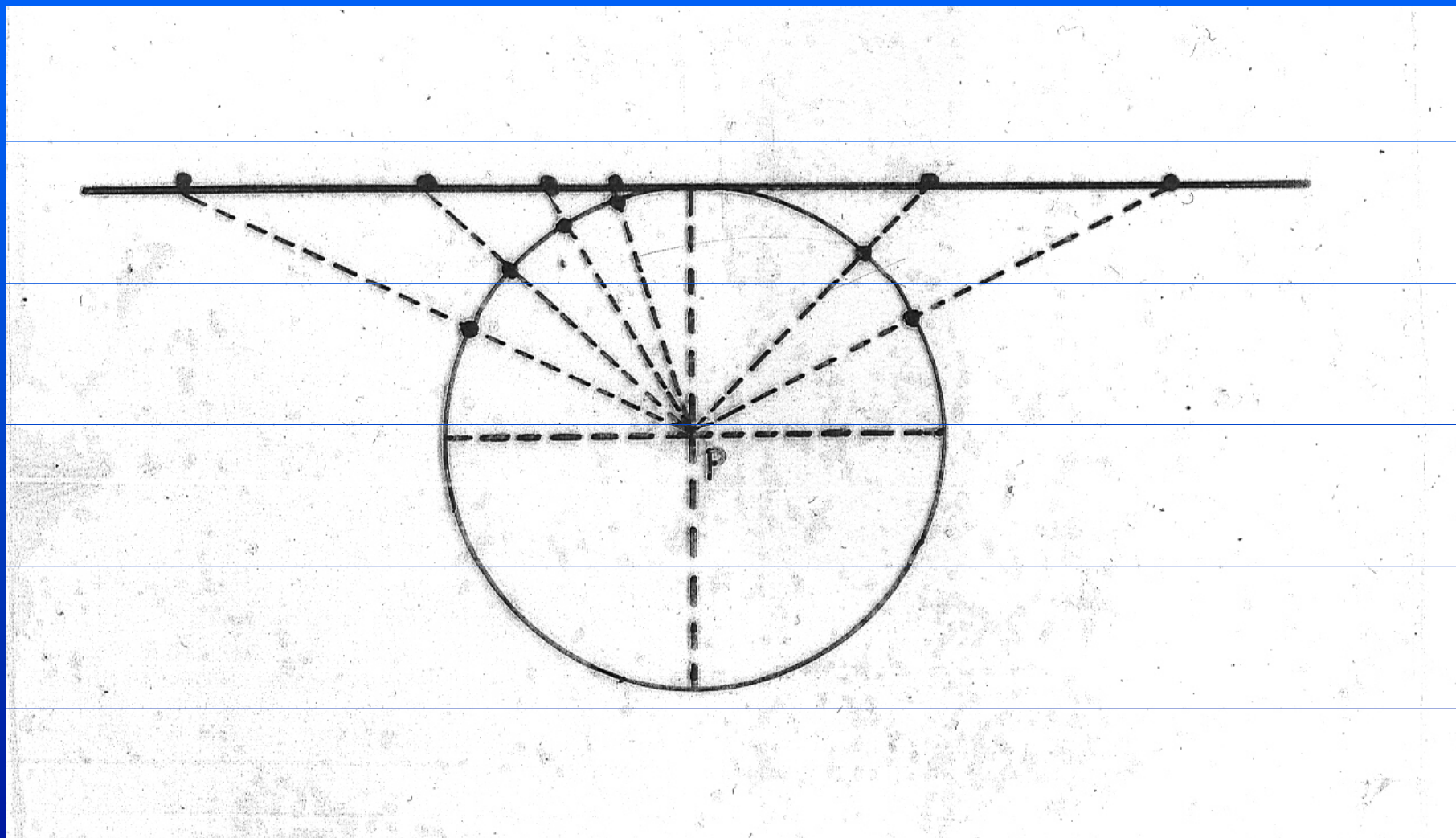
René Just Haüy (1781): Indexy, kterými odvozujeme libovolné krystalové plochy ve spojení se základním poměrem parametrů určitého nerostu, mají vždy hodnoty racionální.



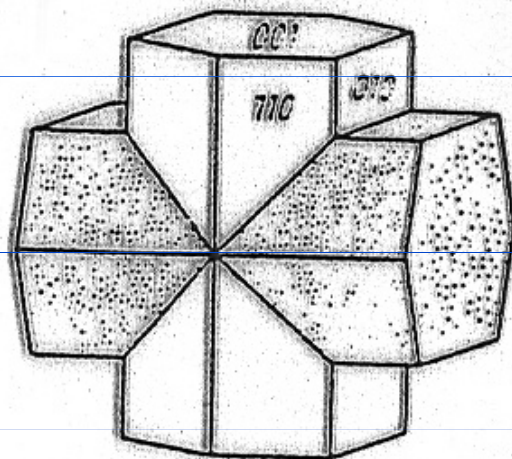
# Stereografická projekce



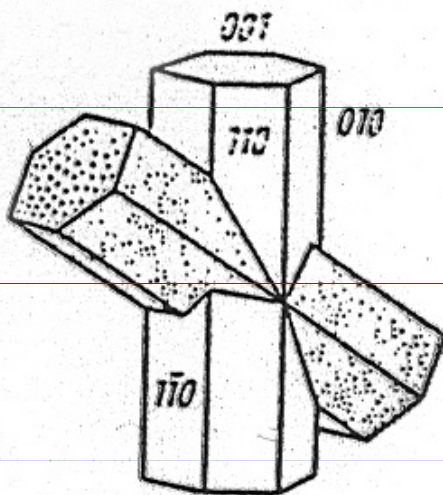
# Gnómonická projekce



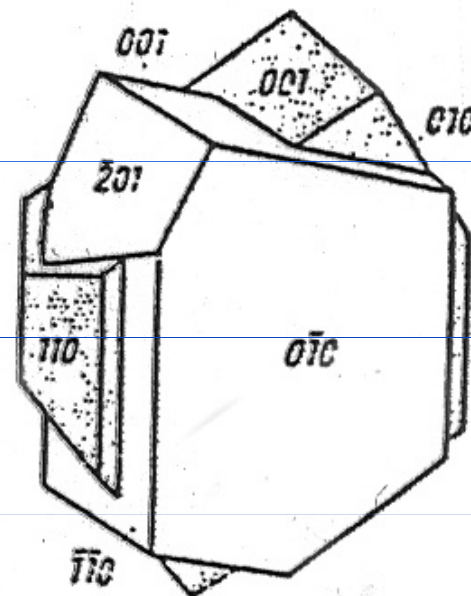
# Krystalové srůsty



a

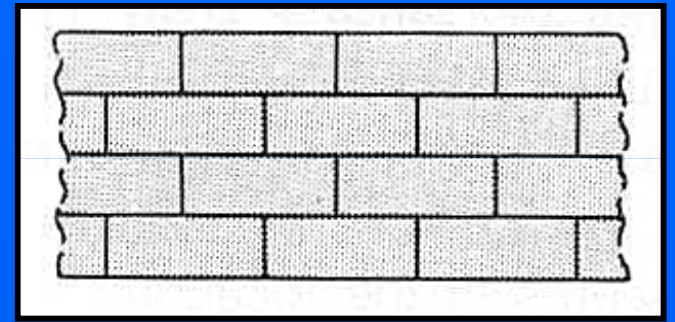


b



c

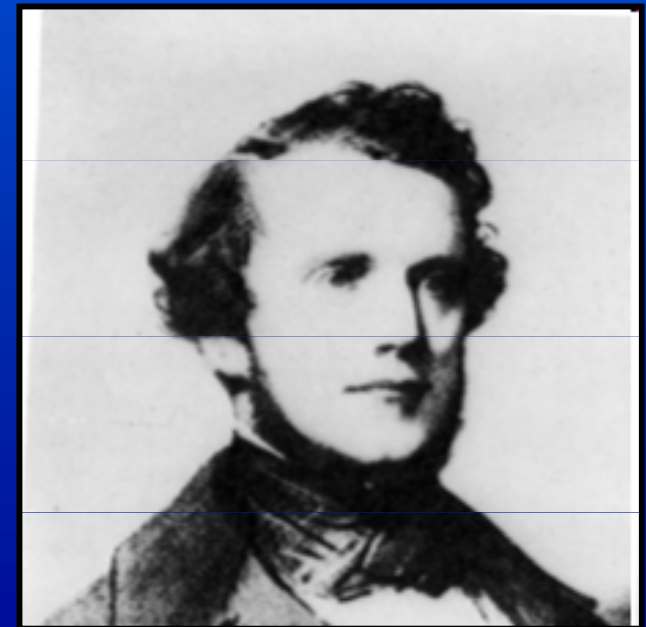
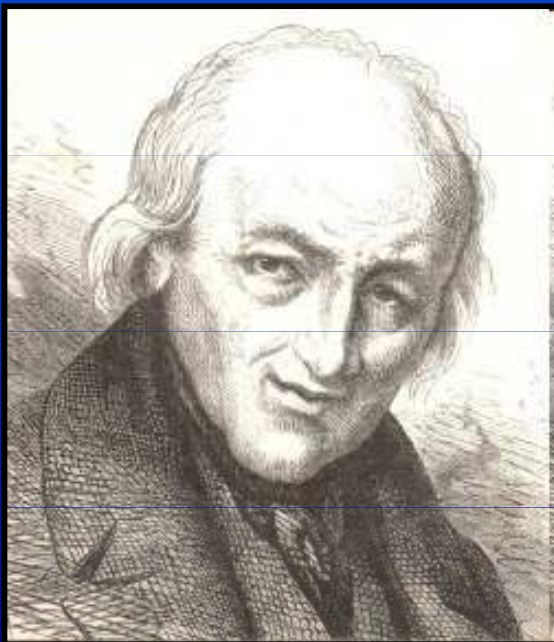
# Strukturní krystalografie



**René Just Haüy** (1743-1822) – galenit, kamenná sůl, kalcit

**M. V. Lomonosov** (1711-1765) – krystaly vznikají pravidelným seskupením atomů

**Auguste Bravais** (1811-1863) – hlubší propracování představ Lomonosova



## Princip krystalové struktury

Hmota = ionty, atomy, molekuly

Způsob vyplnění prostoru:

- **nepravidelně a nahodile** – v různých směrech uspořádány různě (kulovitá forma, látky beztvaré – amorfní)
- **pravidelně a zákonitě** – strukturní mřížka

Strukturní bod



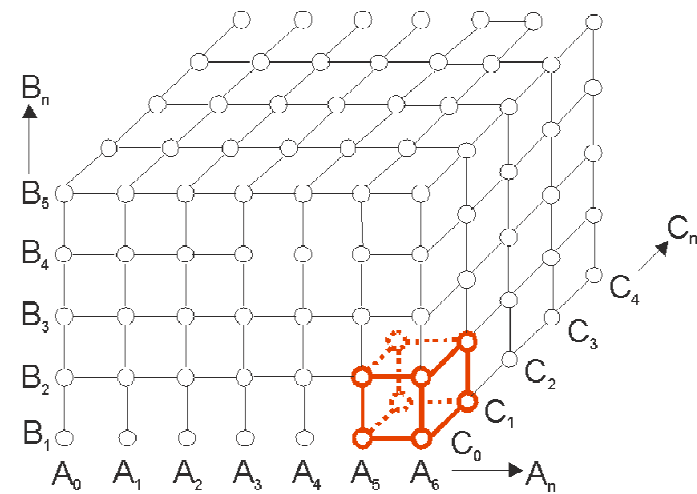
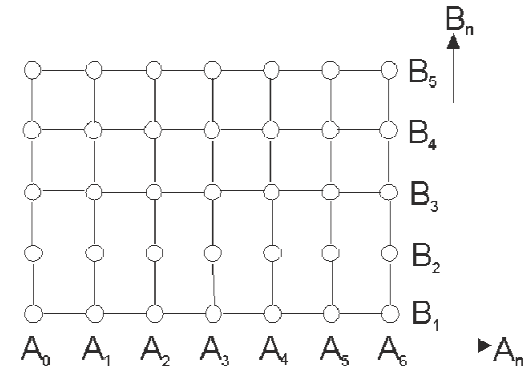
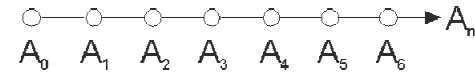
Strukturní řada



Strukturní rovina

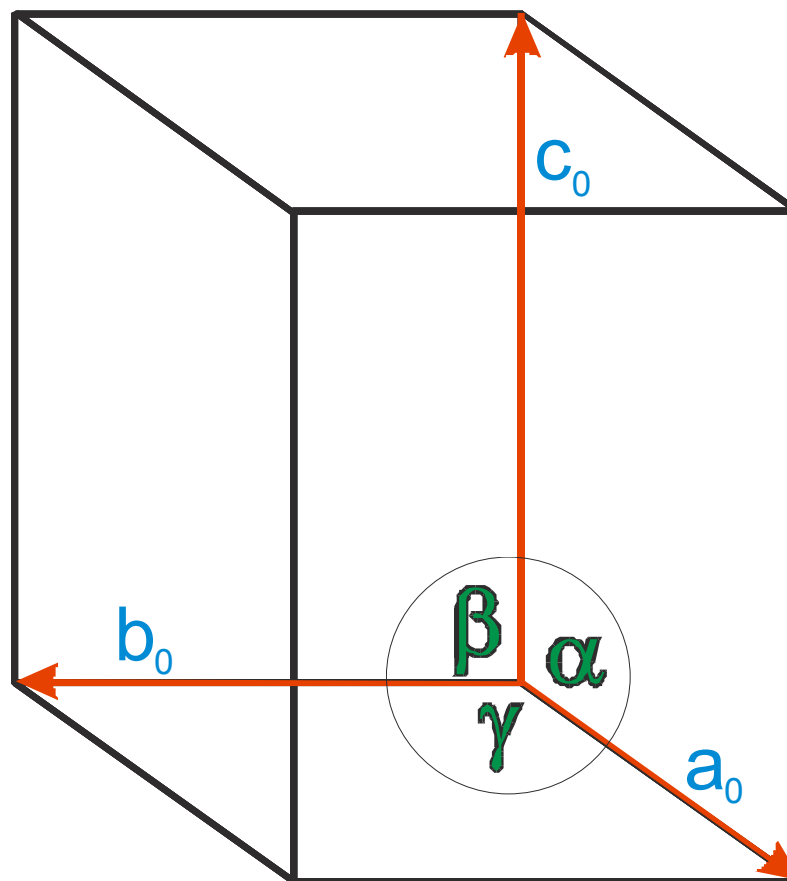


Strukturní mřížka

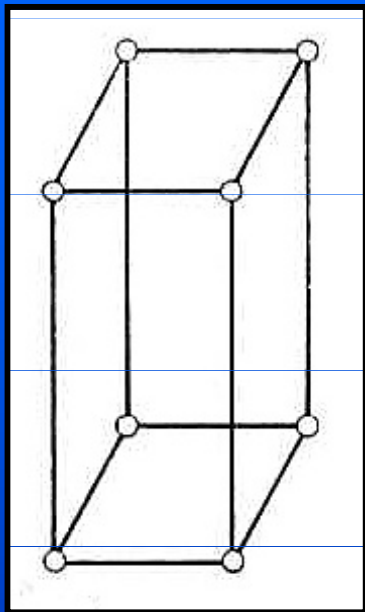




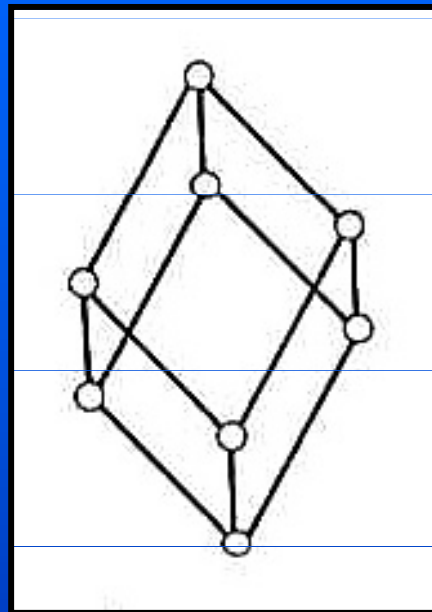
# Základní buňka



## Bravaisovy mřížky – 14 typů

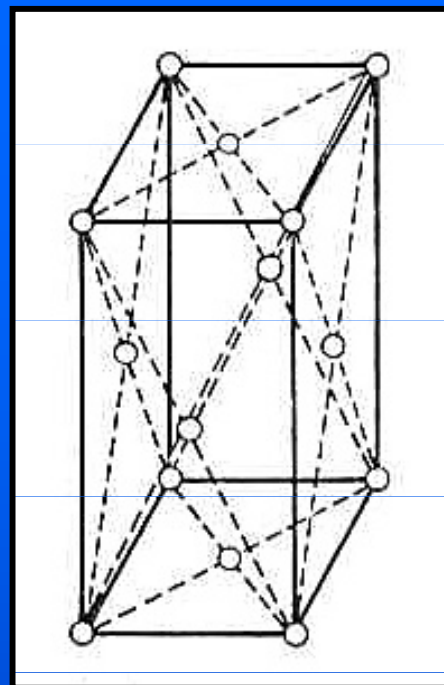


P

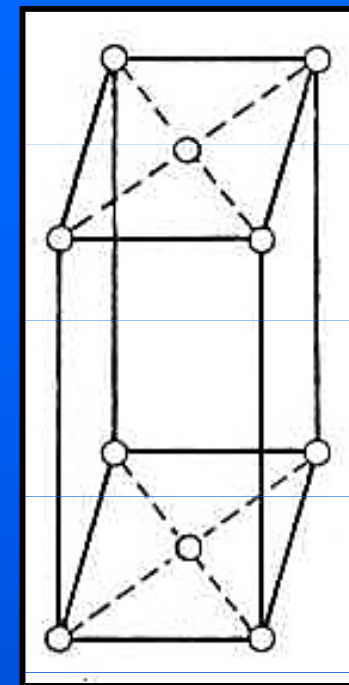


R

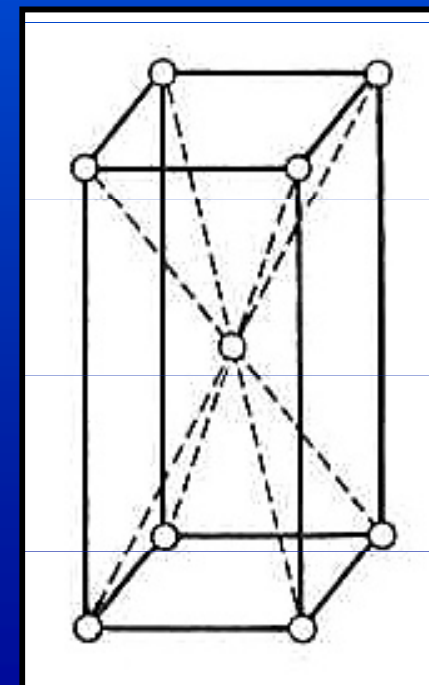
- jednoduché – P
- romboedrické – R
- plošně centrované – F
- bazálně centrované – C
- prostorově (vnitřně) centrované - I



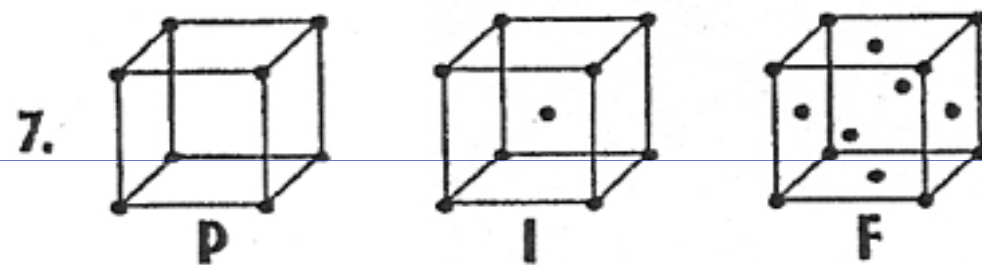
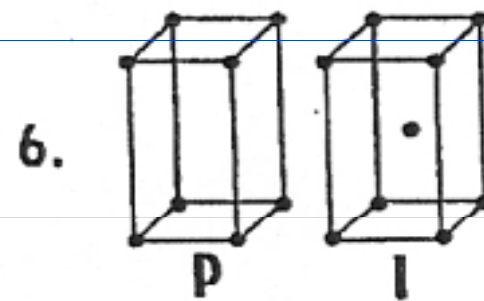
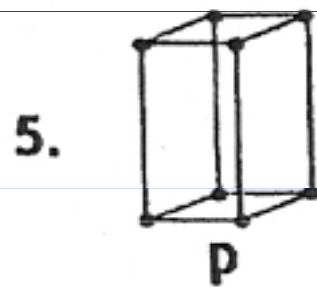
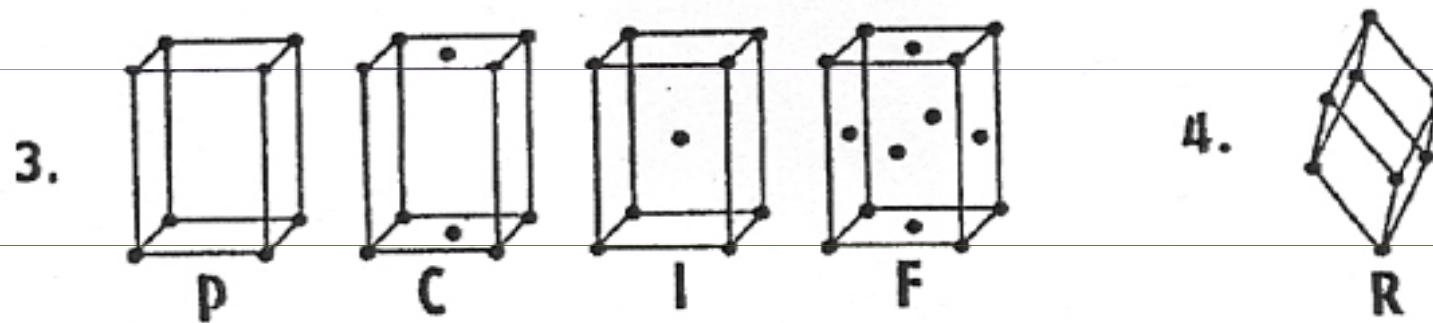
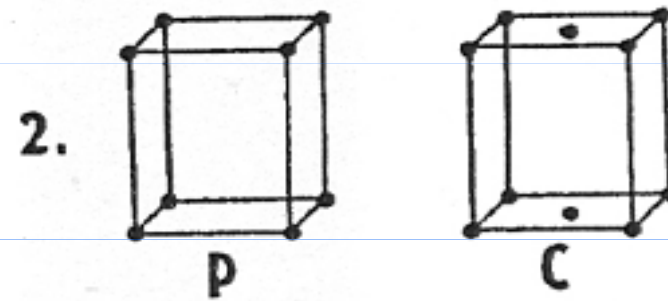
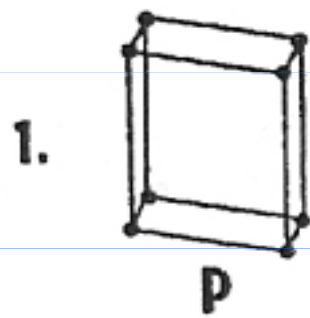
F

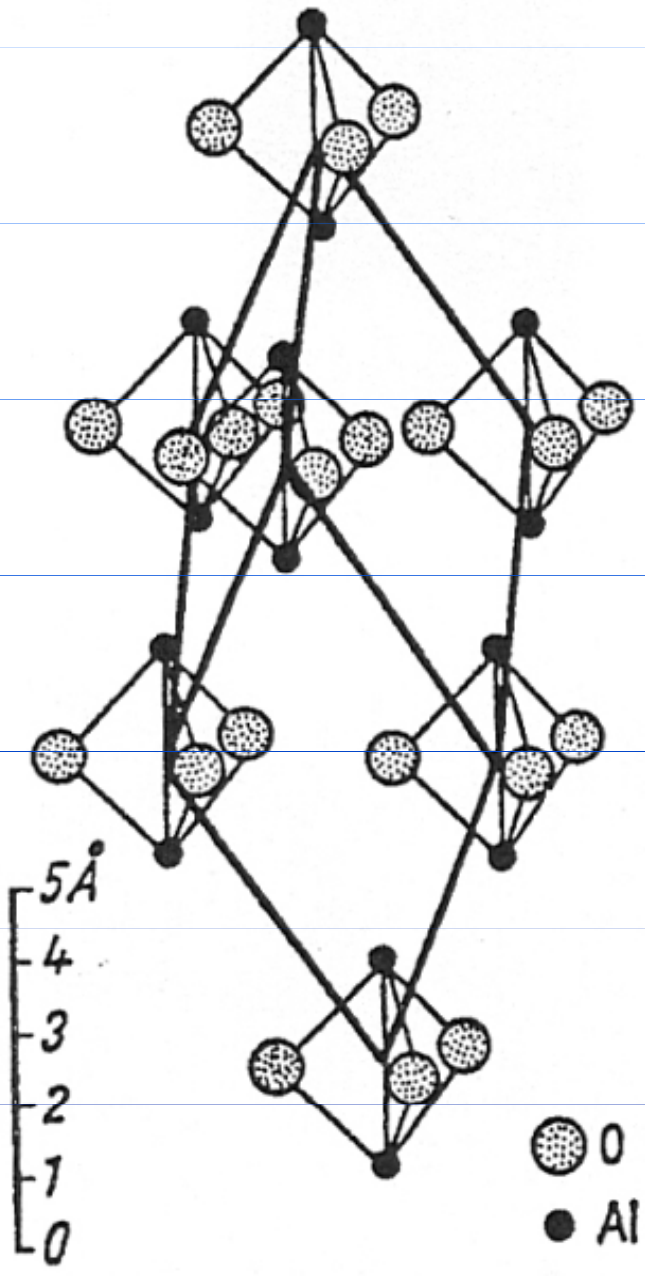


C



I





## Vliv prostorových mřížek a Bravaisových buněk na hodnoty mřížkových parametrů:

### 1. Triklinická soustava:

$a_0, b_0, c_0; \alpha, \beta, \gamma$  libovolné

### 2. Monoklinická soustava:

a)  $\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta, a_0, b_0, c_0$  libovolné

b)  $\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma, a_0, b_0, c_0$  libovolné

### 3. Rombická soustava:

$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ; a_0, b_0, c_0$  libovolné

### 4. Tetragonální soustava:

$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ, a_0 = b_0; c_0$  libovolné

### 5. Hexagonální soustava:

$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ; a_0 = b_0; c_0$  libovolné

### 6. Trigonální soustava:

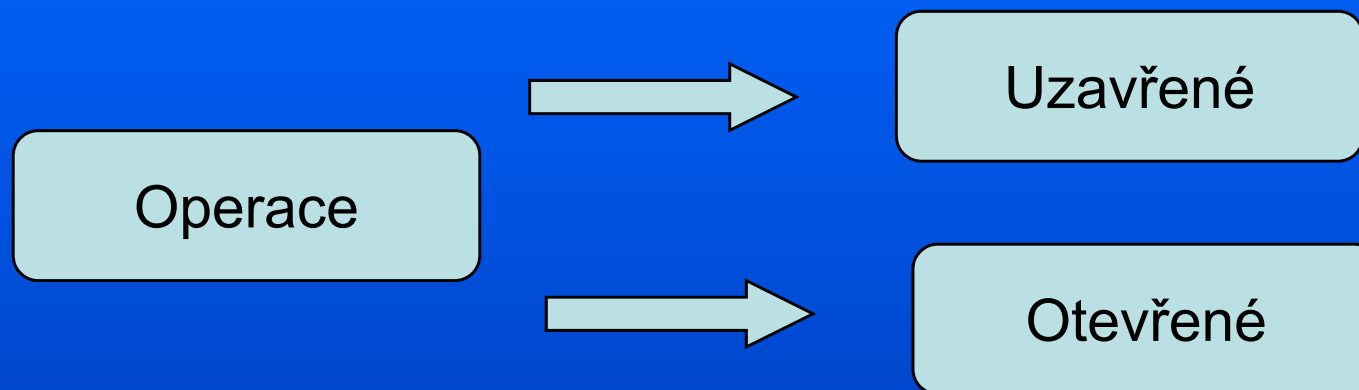
$\alpha = \beta = \gamma < 90^\circ; a_0 = b_0 = c_0$

### 7. Kubická soustava:

$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ; a_0 = b_0 = c_0$

Prostorová mřížka krystalů je soubor troj-  
rozměrných, pravidelně uspořádaných bodů,  
sestavených ve shodné, nekonečně se  
opakující rovnoběžnostěny.

## Prvky souměrnosti krystalových struktur

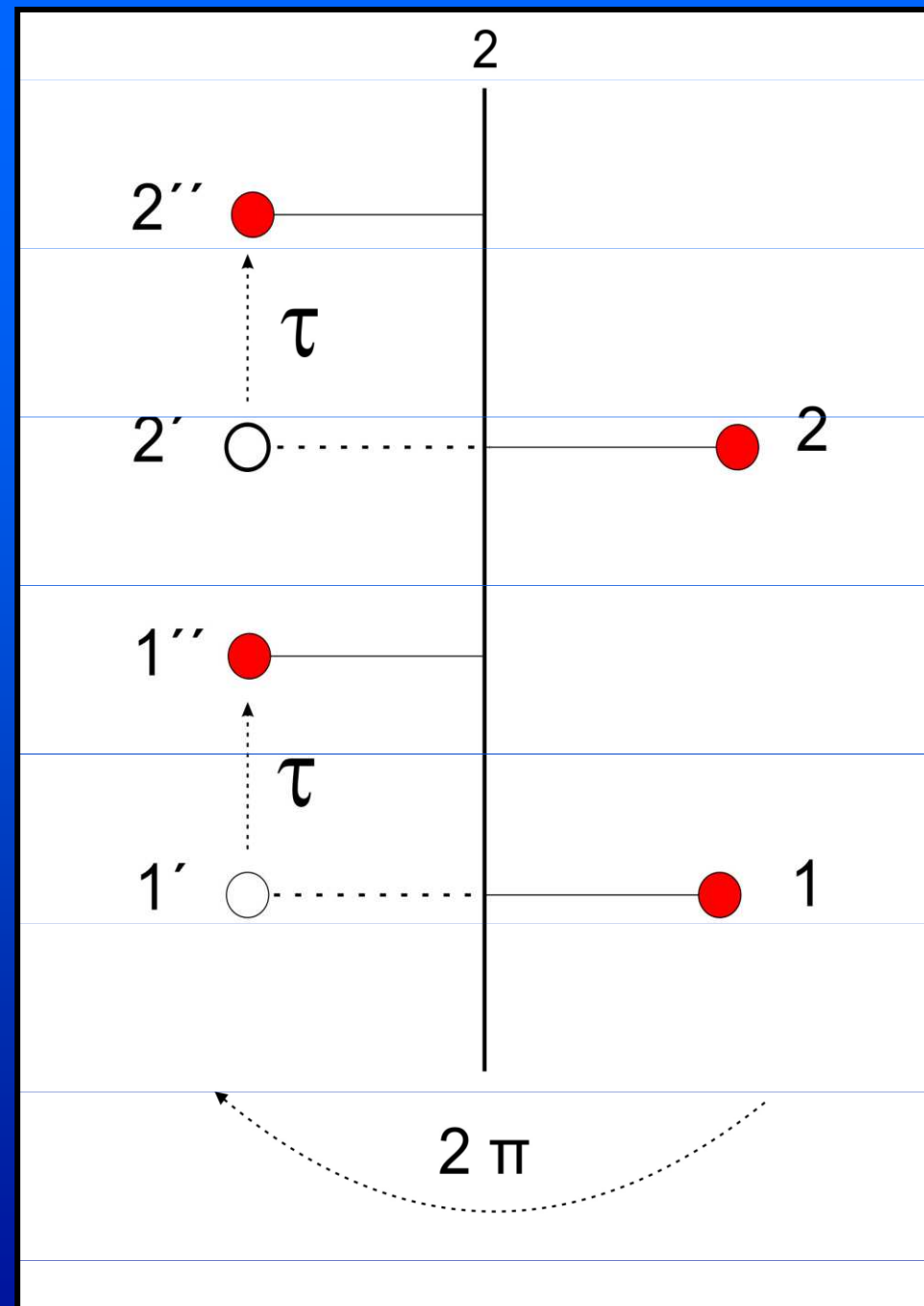


### Otevřené operace souměrnosti:

- šroubové osy
- roviny posunutého zrcadlení (kluzné roviny)

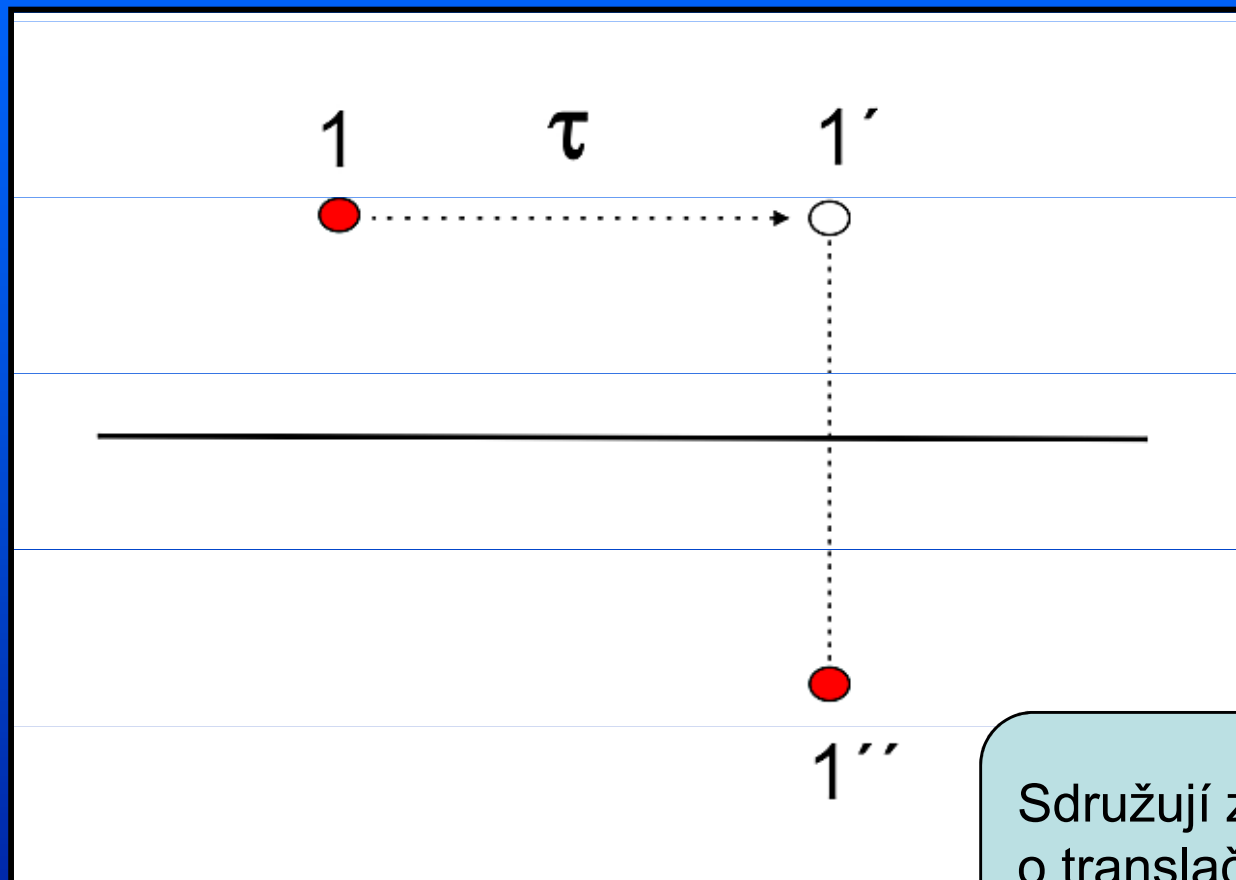
## Šroubové osy

Sdružují otočení o krystalograficky možný úhel  $180^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $60^\circ$  podle četnosti osy  $n$ , spojený s posunutím o translační složku  $\tau$  ve směru osy





## Roviny posunutého zrcadlení (kluzné roviny)



Sdružují zrcadlení v rovině s posunutím o translační složku  $\tau$  rovnoběžnou s kluznou (zrcadlící) rovinou.

## Typy krystalových strukturních mřížek

### 1) Mřížky izotypní

- odpovídají nerostům se strukturou stejného typu, časté u látek geometricky podobných (např. kamenná sůl, diamant). Analogické obsazení bodových pozic mřížky.

### 2) Mřížky homeotypní

- struktury, které nejsou izotypní, mají však sblíženou geometrii mřížky (sfalerit, diamant). Někdy označovány jako polytypní.

### 3) Mřížky heterotypní

- charakteristické pro látky strukturně zcela odlišné.

## Koordináční mřížka =

mřížka, v níž jsou atomy a ionty stejnoměrně pravidelně a periodicky uspořádány

### Hlavní typy koordinačních mřížek:



• s iontovou vazbou



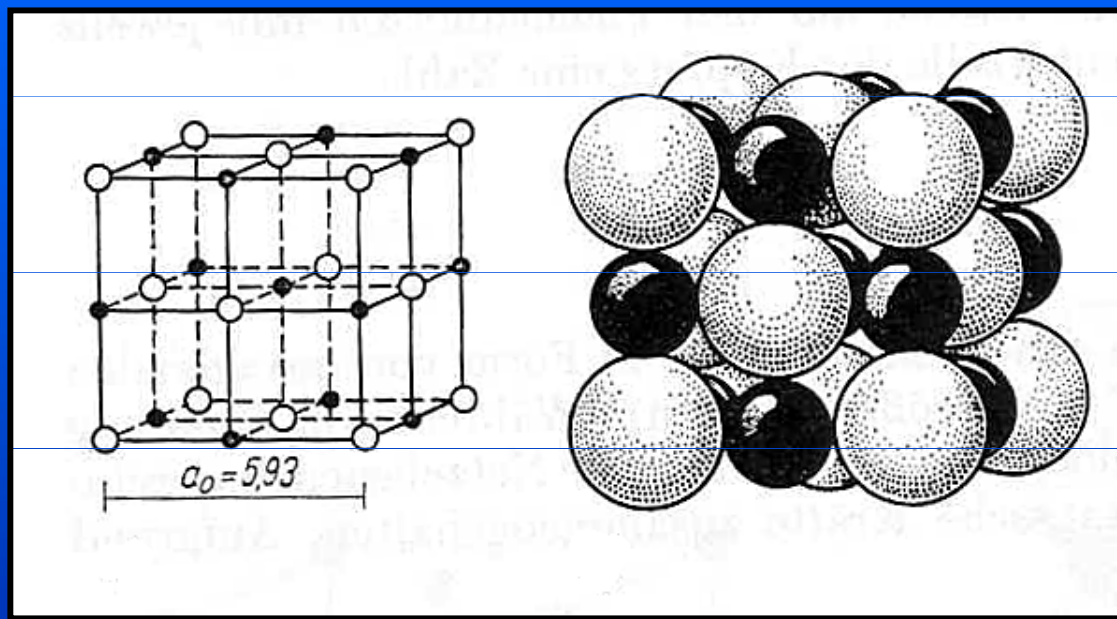
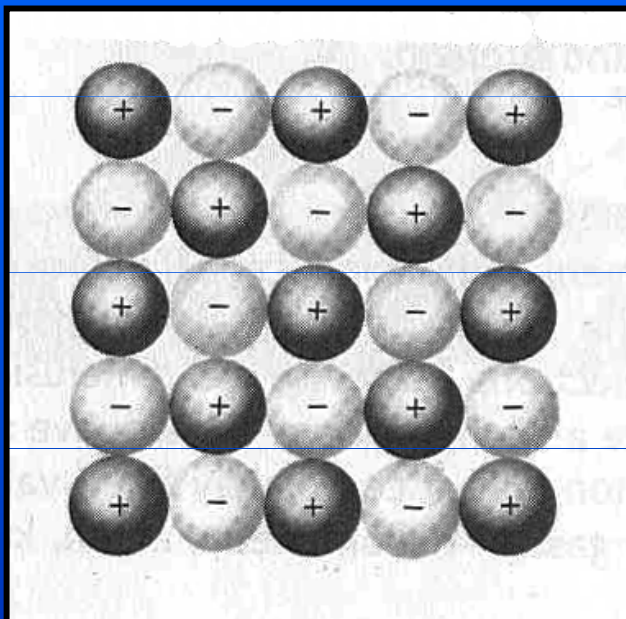
• s kovalentní vazbou



• s kovovou vazbou

# Iontová vazba

Vazba elektrostatické povahy: důsledek elektrostatického přitahování opačně nabitých částic (kationtů a aniontů). Ionty mají víceméně kulovitý nebo jen mírně deformovaný tvar.



U minerálů ve velkém rozsahu, 90 % = iontové sloučeniny.

Vlastnosti iontových krystalů

• vysoký bod tání

• štěpnost

• nízká elektrická vodivost

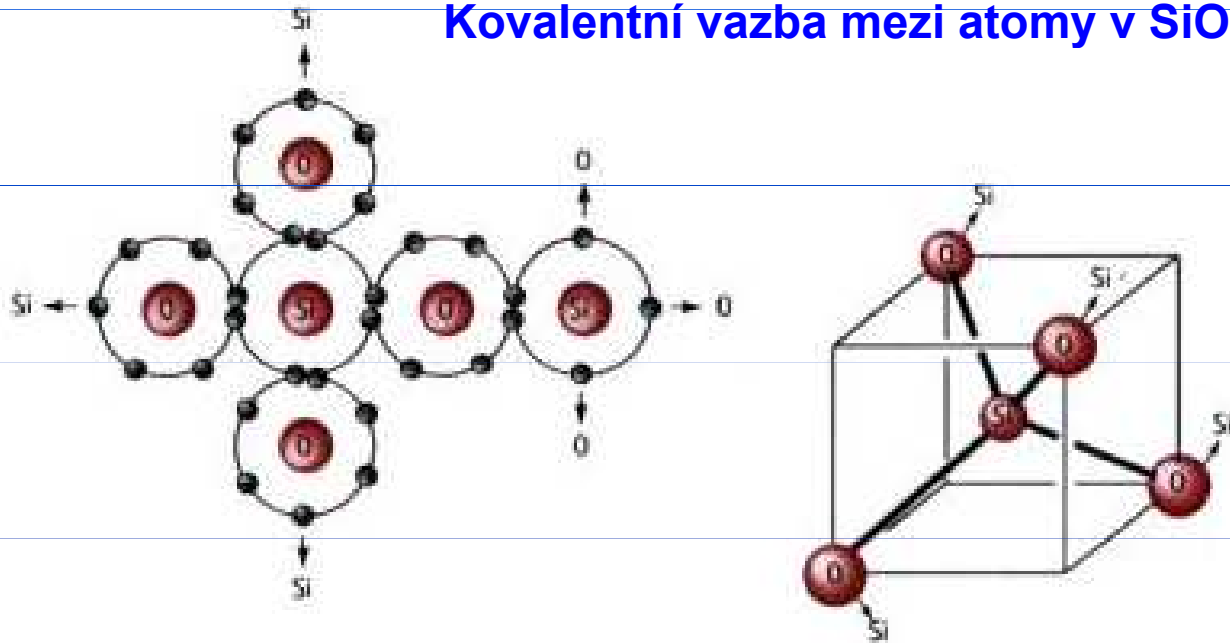
• růst tvrdosti (s rostoucí vzdáleností mezi ionty)

# Kovalentní vazba

## Předpoklad:

těsné přiblížení atomů při vzájemné reakci – částečné překrytí jejich elektronových orbitalů.  
Dva nebo více elektronů každého atomu sdíleny společně oběma atomy - vznik **elektronových párů**.

## Kovalentní vazba mezi atomy v $\text{SiO}_2$



## Vlastnosti krystalů



- vysoké teploty tání

- vysoká tvrdost

- nerozpustnost

- elektrická nevodivost

V minerálech jen ojediněle, častá vazba v organických sloučeninách.

# Kovová vazba

- u látek s nízkou elektronegativitou (schopnost atomu ve sloučenině, molekule nebo krystalu předávat své vnější vazebné elektrony)
- snadné uvolňování elektronů – zůstávají volné
- ve strukturní mřížce kovů vytvářejí mezi kationty velmi pohyblivý „elektronový plyn“
- příčina tepelné a elektrické vodivosti kovů
- analogie iontové vazby (funkci aniontů přebírají volně pohyblivé elektrony)

Výskyt:

- **ryzí kovy**
- **některé sulfidy**
- **některé arzenidy**

## Vlastnosti krystalů



• vysoká tepelná a elektrická vodivost

• vysoká kujnost a tažnost

• nízká tvrdost

• kovový lesk

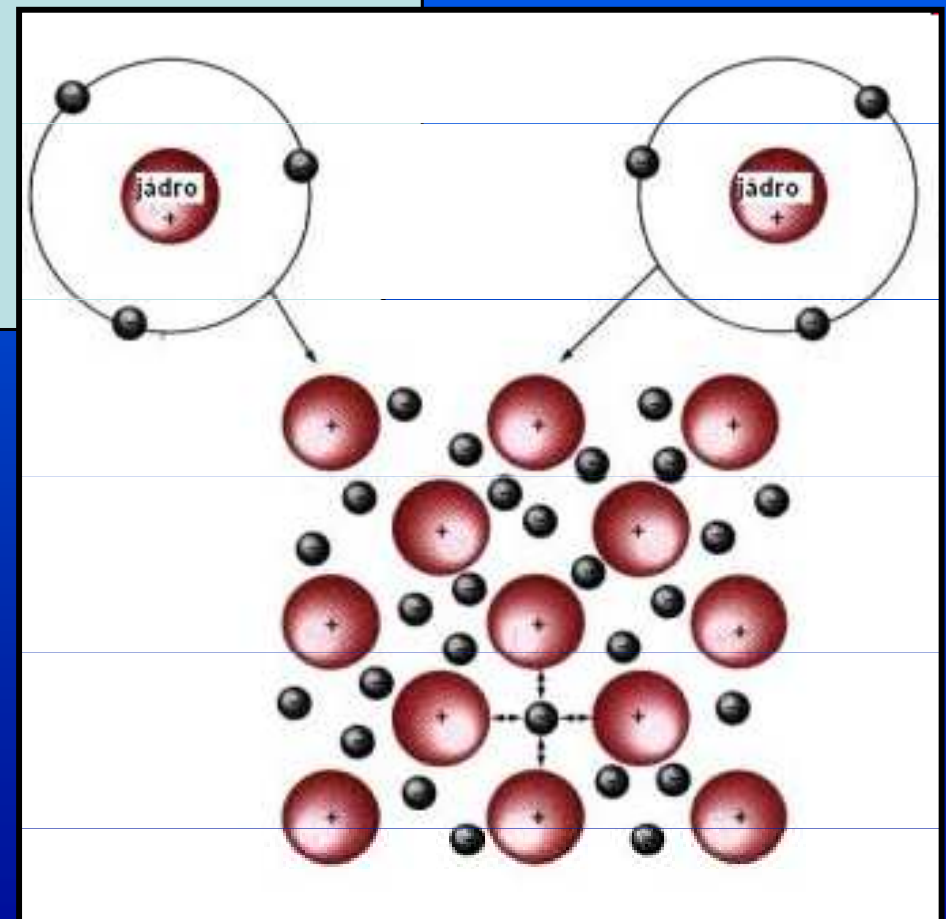


Schéma kovové vazby

## Vazebné síly van der Waalsovy

### Slabé přitažlivé síly:

- mezi molekulami kapalin

- u krystalů inertních plynů

- u organických látek

### Vlastnosti krystalů



- nízká tvrdost

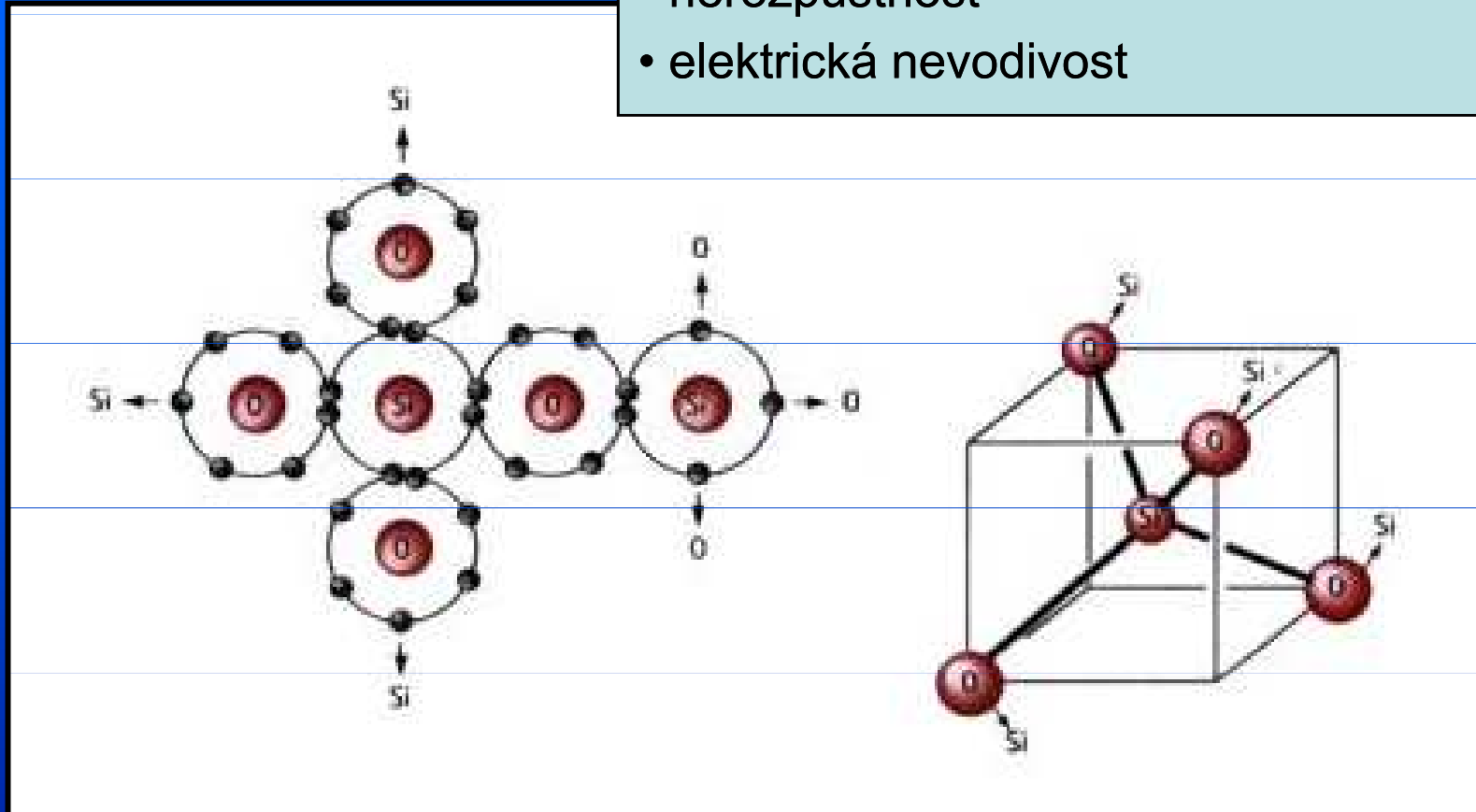
- nízký bod tání

### U minerálů jen vzácně

- síra
- grafit

## Vlastnosti krystalů s kovalentní vazbou:

- vysoké teploty tání
- vysoká tvrdost
- nerozpustnost
- elektrická nevodivost



**Kovalentní vazba mezi atomy v SiO<sub>2</sub>**

V minerálech jen ojediněle, častá vazba v organických sloučeninách.



## Izomorfie a polymorfie

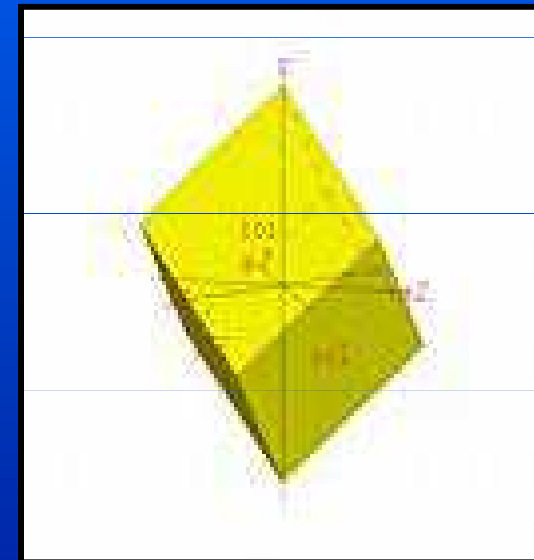
Izomorfie: minerály s obdobným chemickým složením vytvářejí též podobné krystalové tvary.

kalцит  $\text{CaCO}_3$

magnezit  $\text{MgCO}_3$

siderit  $\text{FeCO}_3$

rodochrozit  $\text{MnCO}_3$



Dnes: studium tvaru krystalu na krystalové struktuře a povaze chemických vazeb

## Izomorfie a polymorfie

Polymorfie: táž chemická látka vytváří za různých fyzikálních podmínek morfologicky zcela odlišné druhy krystalů

a) uhlík (C)	<b>grafit</b> <b>diamant</b>	(kubický / hexagonální) (kubický)
b) $\text{CaCO}_3$	<b>kalcit</b> <b>aragonit</b>	(trigonální) (rombický)
c) $\text{FeS}_2$	<b>pyrit</b> <b>markazit</b>	(kubický) (rombický)

**DIMORFIE**

## Izomorfie a polymorfie



**křemen**

< 573°C

klencový

> 573°C

šesterečný

**tridymit**

< 870°C

kosočtverečný

> 870°C

šesterečný

**crystalit**

< 1470°C

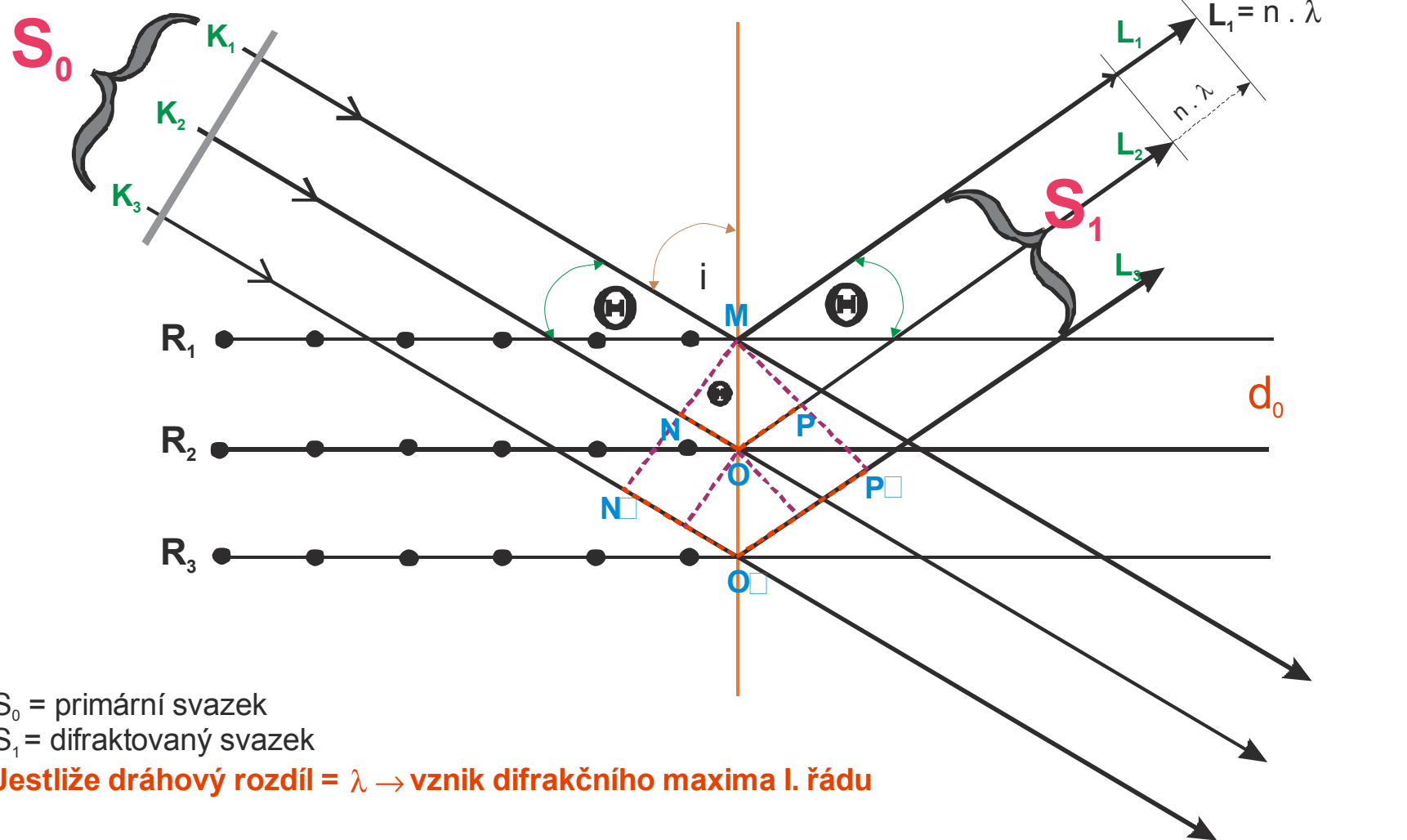
čtverečný

> 1470°C

krychlový

**POLYMORFIE**

DRÁHOVÝ ROZDÍL = 0



$S_0$  = primární svazek

$S_1$  = difraktovaný svazek

**Jestliže dráhový rozdíl =  $\lambda \rightarrow$  vznik difrakčního maxima I. řádu**

## Braggova rovnice:

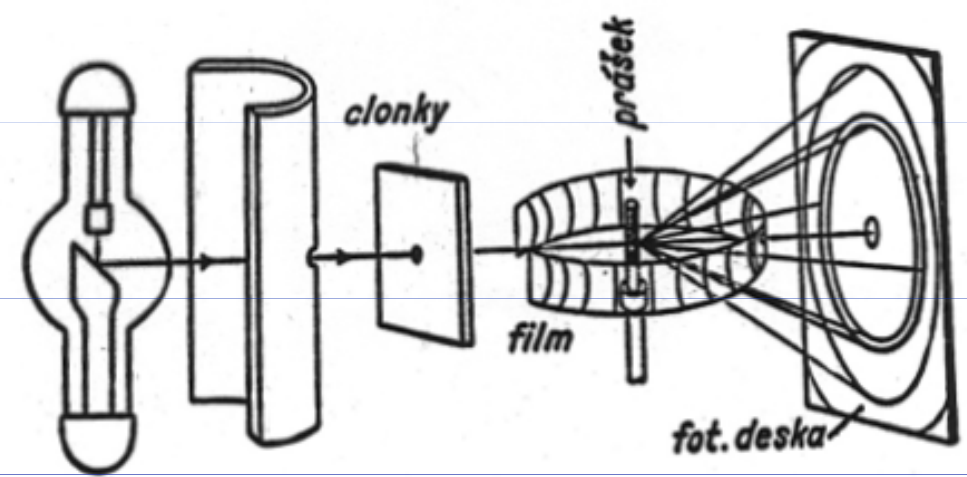
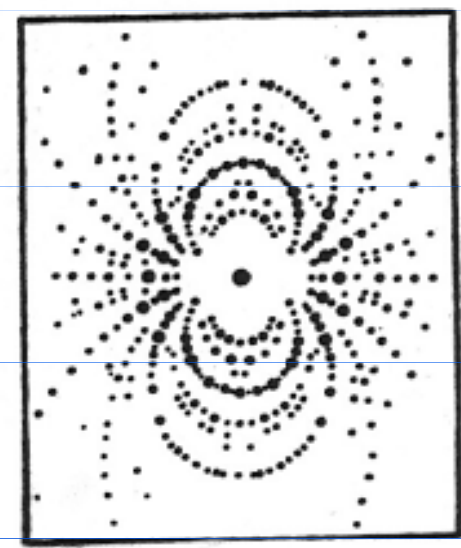
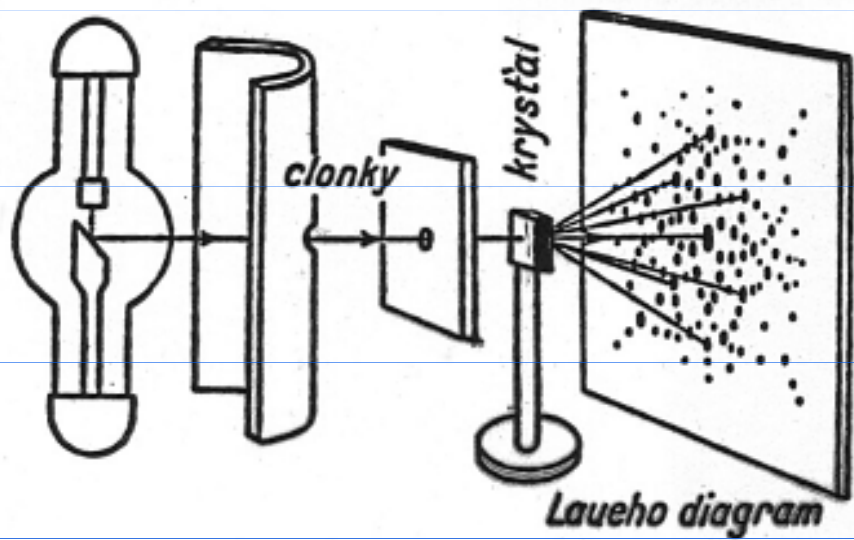
$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \Theta$$

$\lambda$  = vlnová délka rtg paprsků

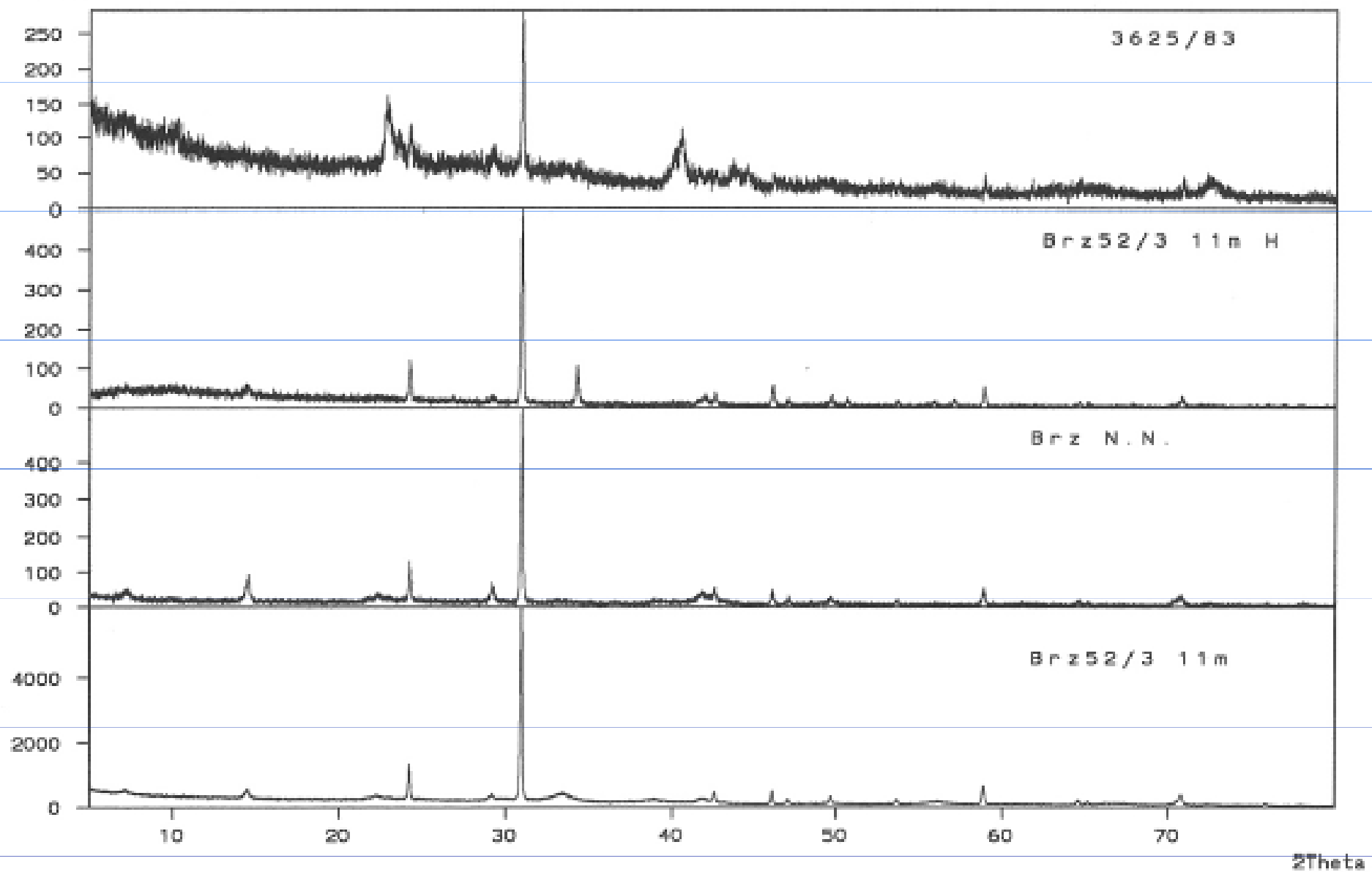
$\Theta$  = úhel dopadajícího svazku paprsků

$d$  = mezirovinná vzdálenost

$n$  = celé číslo (1, 2, 3, 4, ..... n)



Total Counts



# Fyzikální vlastnosti minerálů

## Hustota

Definice

Jednotky:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

Platnost: vždy pro určitou minerální fázi

**C – grafit (trigonální / hexagonální):**  $h = 2,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

**C – diamant (kubický):**  $h = 3,50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Závislost hustoty na:

- chemickém složení minerálu

- typu strukturní mřížky



# STANOVENÍ HUSTOTY

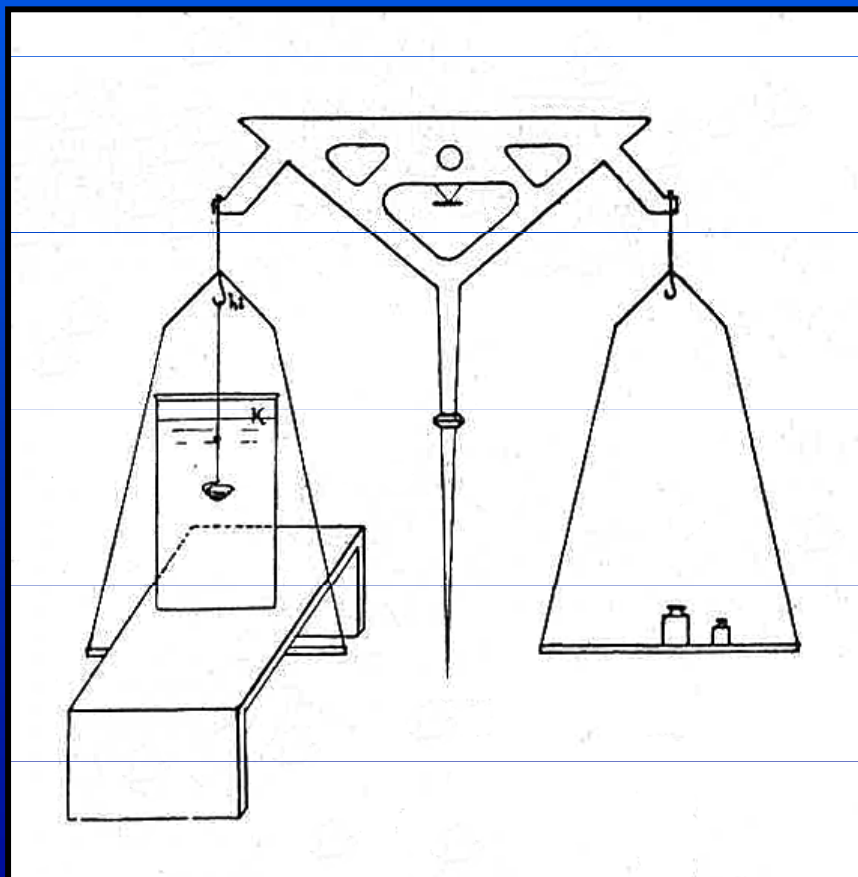
## 1. Metoda volumetrická

- zvážíme nerost na vzduchu (m)
- stanovíme objem nerostu (V)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

## 2. Metoda hydrostatická

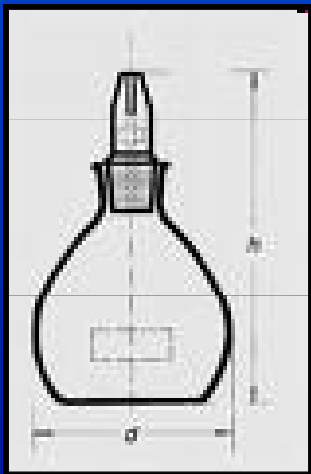
- zvážíme nerost na vzduchu (v)
- stanovíme hmotnost nerostu po jeho ponoření do vody (v')



$$h = \frac{v}{v - v'}$$

### 3. Metoda pyknometrická

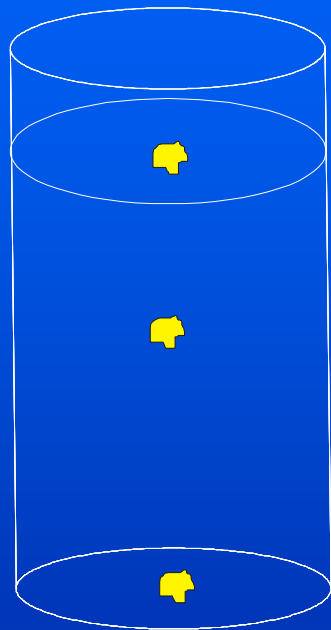
- zvážíme pyknometr zcela naplněný vodou (p)
- zvážíme nerost na vzduchu (v)
- zvážíme nerost vhozený (nebo nasypáný v drobné drti) do zcela naplněného pyknometru (c)



$$h = \frac{v}{p + v - c}$$



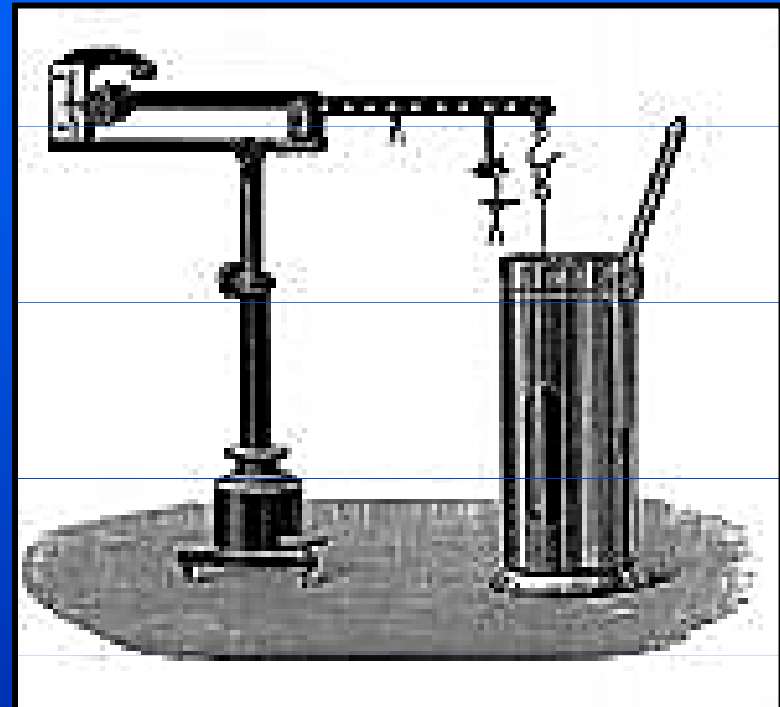
## 4. Metoda suspenzační (imerzní)



$$h_m < h_k$$

$$h_m = h_k$$

$$h_m > h_k$$



Hustota kapaliny: Mohr-Westphalovy váhy

# Tvrdost

## Definice

### Závislost tvrdosti na:

- povaze chemické vazby

- valenci prvků ve strukturní mřížce

- těsnosti uspořádání iontů nebo atomů

### U iontových krystalů na:

- velikosti elektrostatických sil mezi ionty

- vzdálenosti mezi ionty

## Stanovení tvrdosti

### Mohsova stupnice tvrdosti (Friedrich Mohs 1773-1839)

1. mastek

2. halit

3. kalcit

4. fluorit

5. apatit

6. ortoklas

7. křemen

8. topaz

9. korund

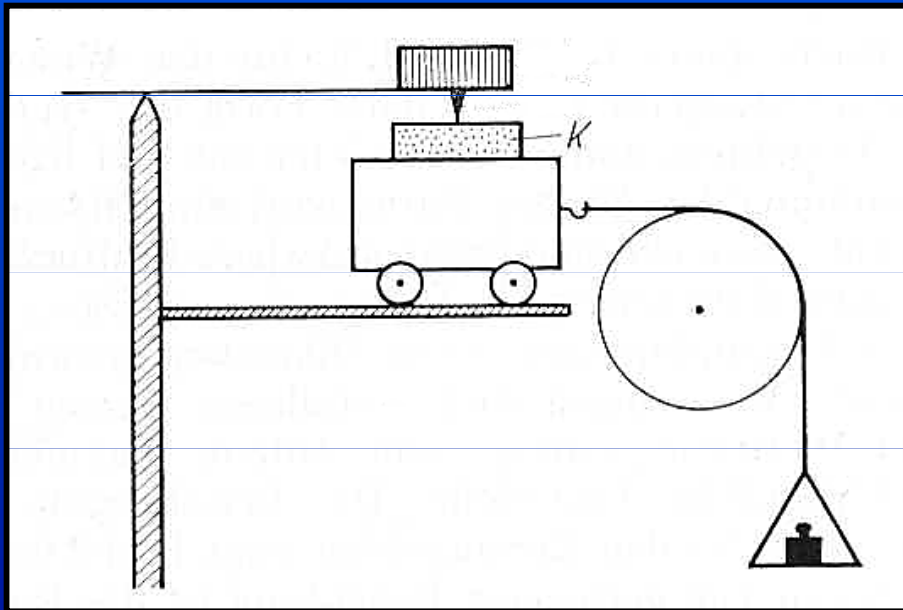
10. diamant

- nejtvrďší nerosty: silikáty a oxidy
- hydratované formy: měkčí než bezvodé
- sloučeniny těžkých kovů měkké (s výjimkou sloučenin Fe a Mn)

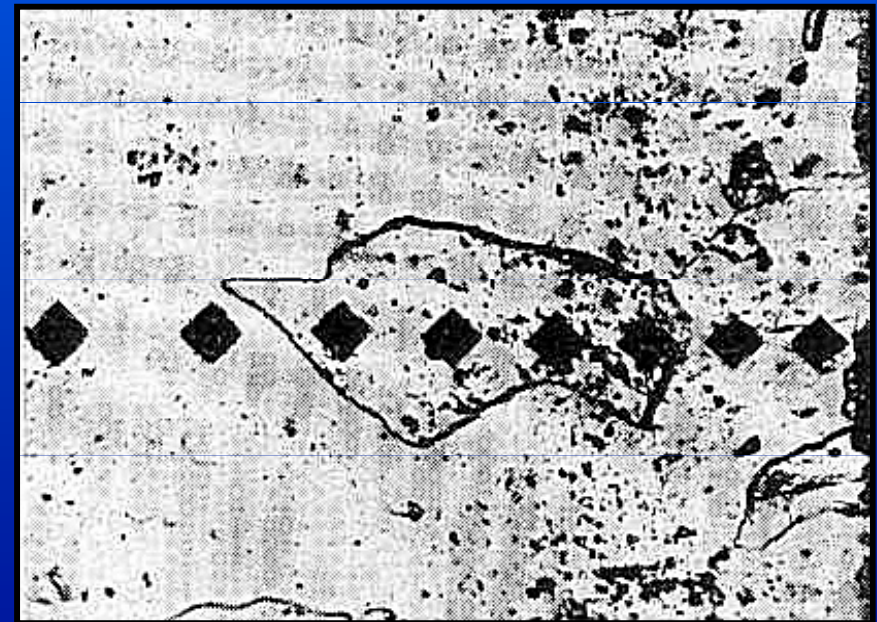
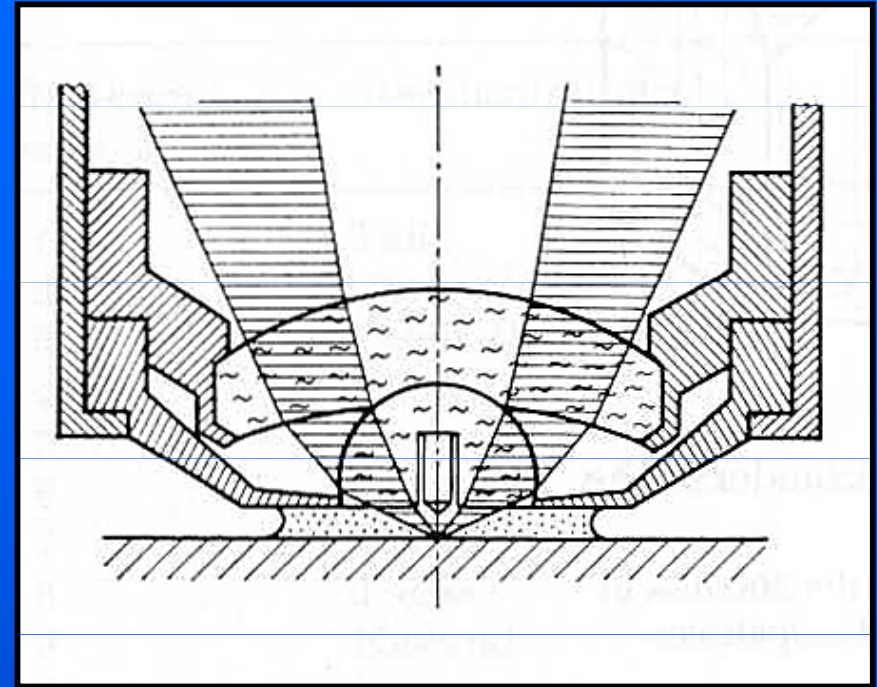
# Kvantitativní stanovení tvrdosti

## Sklerometry

Sledování hmotnosti nutné:



• k vyrytí rýhy

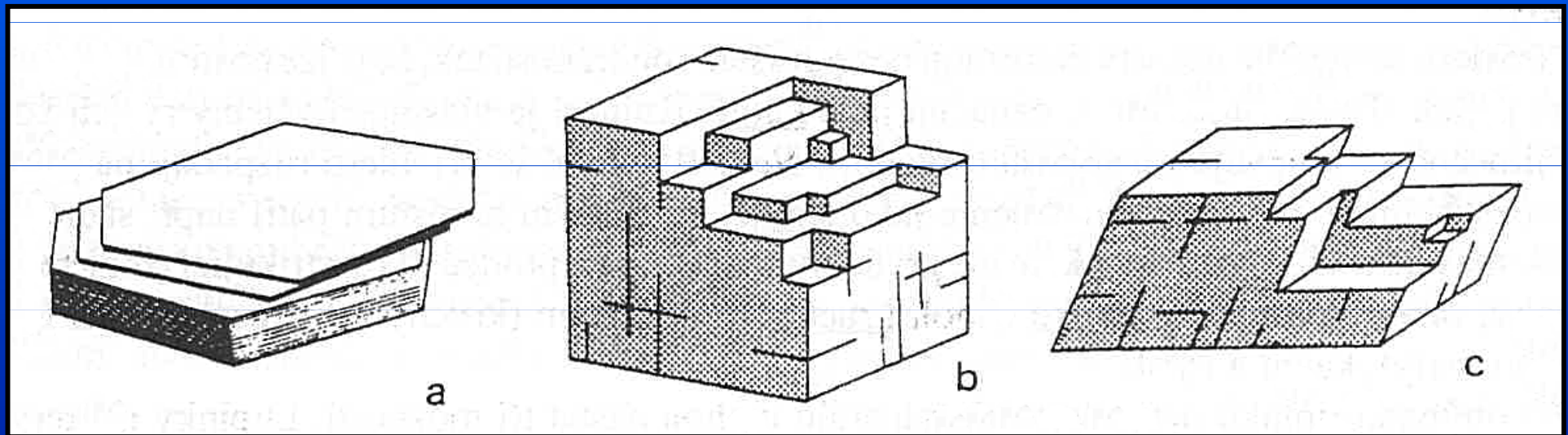


• k vytlačení jamky

# Fyzikální vlastnosti minerálů

## Štěpnost

Štěpnost = krystalograficky orientované minimum soudržnosti.





# Štěpnost

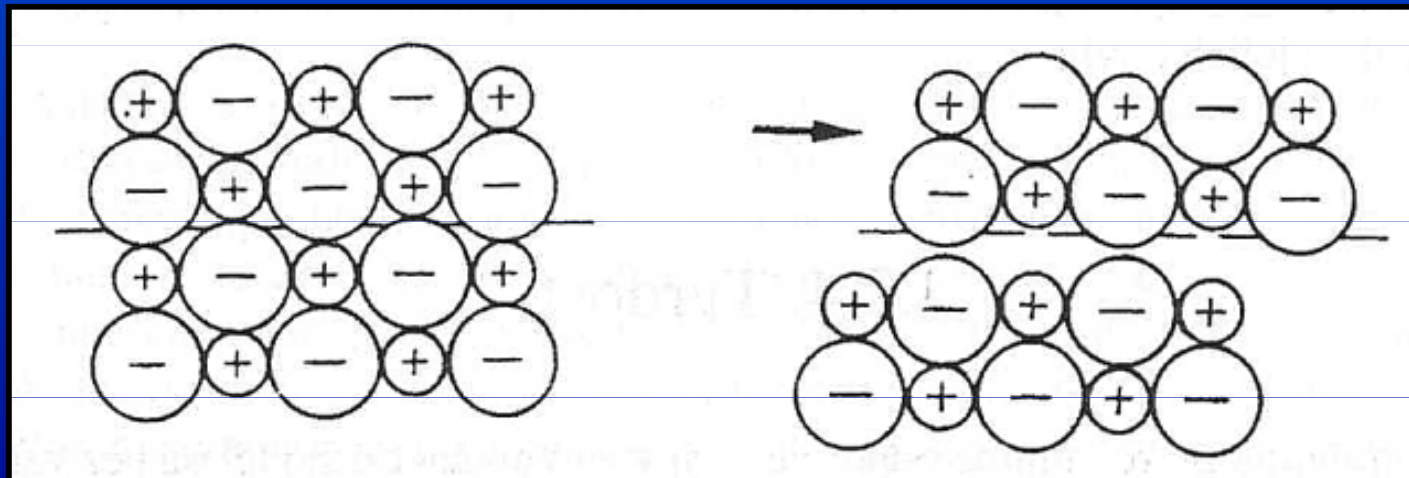
Plochy štěpnosti:

- krystalové roviny s nejjednoduššími symboly

Poloha dána:

- největší vzdáleností strukturních rovin

- rovinou probíhající v mřížce napříč nejmenším počtem vazeb



# Štěpnost

výtečná

slídy

dokonalá

galenit, halit (kamenná sůl), kalcit

dobrá

živce, amfiboly

nedokonalá

apatit

minerály neštěpné:  
lom



• lasturnatý

opál, síra, obsidián

• rovný

chalcedon

• nerovný

pyrit

## Tuhost (tenacita)

Tuhost = odolnost minerálu vůči nárazu zvenčí.

**minerály kujné** (např. ryzí kovy)

**minerály kruché** (kalcit, křemen, pyrit)

**minerály jemné** (sádrovec, grafit, slídy)

**minerály ohebné** (mastek)

**minerály pružné** (slídy)

## Roztopnost (tavitelnost)

Stupnice roztopnosti (Franz von Kobell 1803-1882):

**1. antimonit**

taje již v plameni svíčky (~ 520°C)

**2. natrolit**

taje relativně lehce

**3. almandin**

taje obtížněji než natrolit

**4. aktinolit**

tenké třísky tají lehce, silnější obtížněji

**5. adulár**

nataávají se jen tenké třísky

**6. ortoklas**

nataává se obtížně jen na nejtenčích hranách

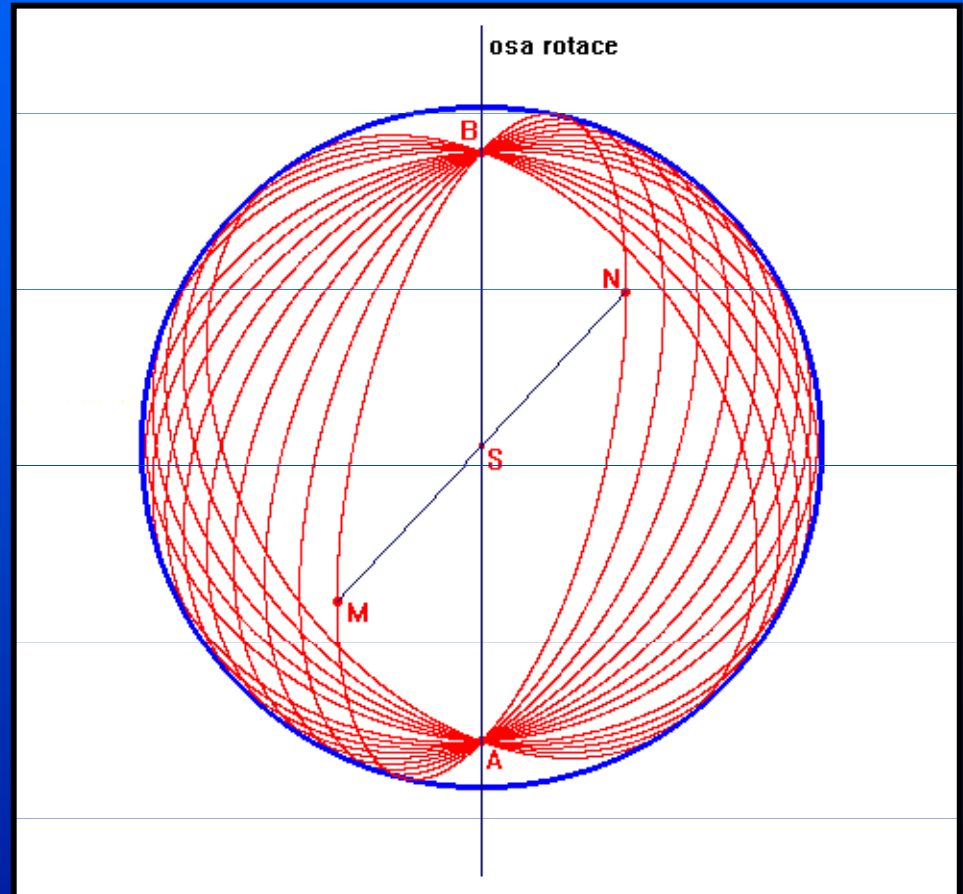
**7. křemen**

v plameni dmuchavky (1670°C) neroztopný

# Tepelná vodivost nerostů

## a) Krystaly tepelně izotropní

- látky amorfní
- krystaly krychlové soustavy



# Tepelná vodivost nerostů

## b) Krystaly tepelně anizotropní

- tepelně jednoosé

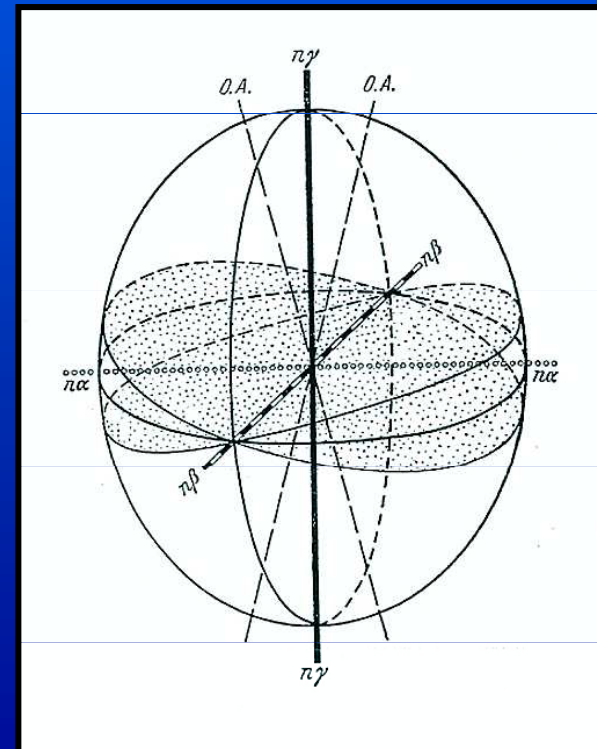
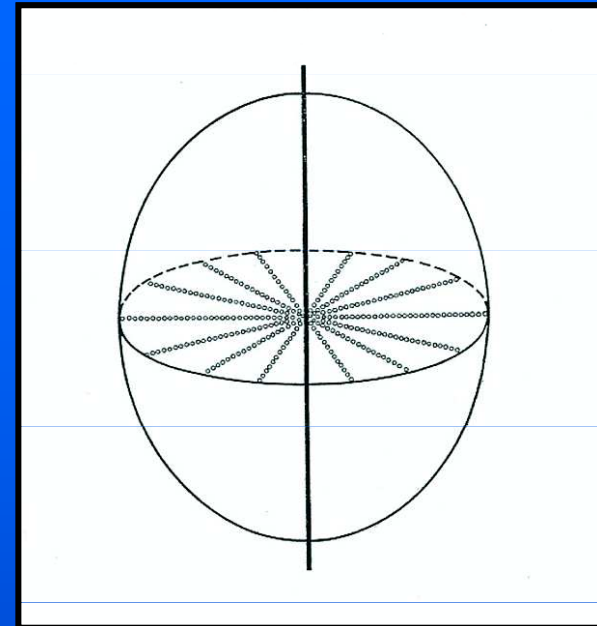


krystaly čtverečné, šesterečné  
a klencové soustavy

- tepelně dvojosé



krystaly trojklonné, jednoklonné  
a kosočtverečné soustavy



## Elektrická vodivost nerostů

- vodiče
- nevodiče
- izolátory

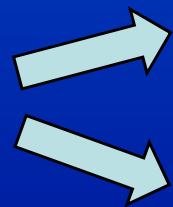
a) Krystaly elektricky izotropní

b) Krystaly elektricky anizotropní

Specifický elektrický odpor ( $\rho$ )

Specifická elektrická vodivost ( $1/\rho$ )

**Polární elektřina**



piezoelektrina (mechanická deformace)

pyroelektrina (změna teploty)

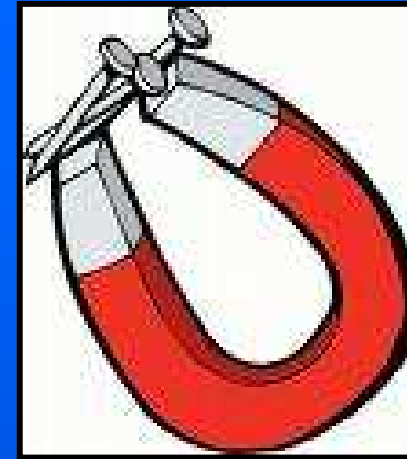
**Příklad: křemen, turmalín ( + = analogní pól, – = antilogní pól)**

## Magnetické vlastnosti nerostů

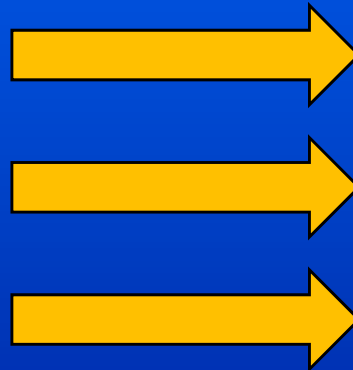
Magnetický moment ( $M$ )

Intenzita magnetického pole ( $H$ )

Magnetická susceptibilita ( $\chi$ )



$$\chi = \frac{M}{H}$$



látky diamagnetické

látky paramagnetické

látky feromagnetické

**Látky diamagnetické:**  $\chi$  = malé, záporné, slabě odpuzovány (měď, stříbro, zlato, halit, křemen, topas).

**Látky paramagnetické:**  $\chi$  = malé, kladné, silným magnetem slabě přitahovány (platina, siderit, turmalín, beryl).

**Látky feromagnetické:**  $\chi$  = velké, kladné, póly magnetu silně přitahovány, zmagnetování i po odstranění vnějšího magnetického pole (železo, kobalt, nikl, magnetit).





Radioaktivita nerostů

# Paprsky $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$

**Záření  $\alpha$**

Letící heliová jádra  ${}^4\text{He}$  (2 protony + 2 neutrony)

Rychlost: max. 10 % rychlosti světla

Průchodnost hmotou: silně omezena

Doběh  $\alpha$  částic: vzduch řádově v cm  
minerály a horniny 0,0X mm

## Záření $\beta$

Proud elektronů

Rychlost: 99 % rychlosti světla

100x pronikavější než záření  $\alpha$

Doběh  $\beta$  částic: vzduch – několik m  
horniny – řádově cm

## Záření $\gamma$

Elektromagnetické vlnění podobné světlu

- mnohonásobně vyšší energie

Z uvedených typů nejpronikavější

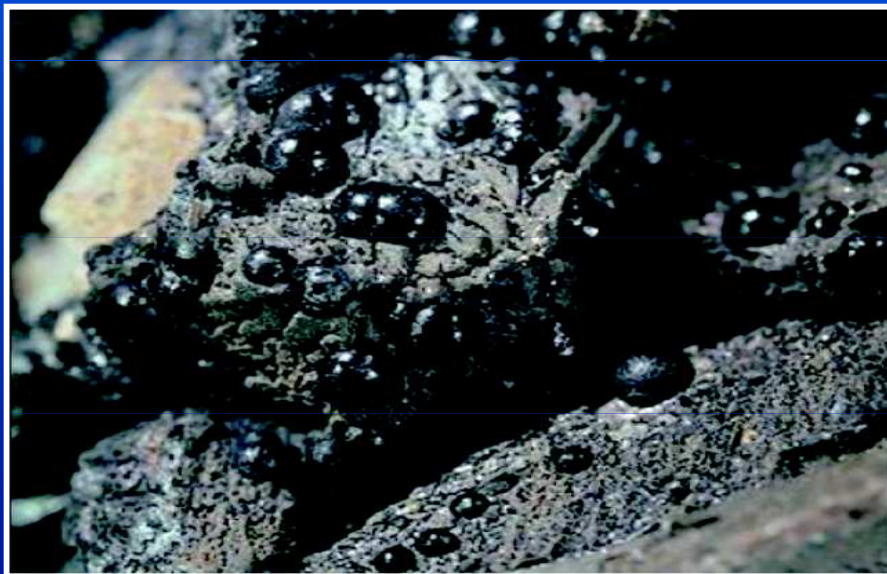
Doběh kvant  $\gamma$  záření: vzduch - kolem 700 m  
horninové prostředí – přibližně do 1 m

# Rozpadové řady

## Poločas rozpadu

Doba, za kterou se rozpadne polovina z počátečního množství atomů příslušného radionuklidu.

1. Minerály s podstatným zastoupením radioaktivních prvků (vzácné)



Uraninit (smolinec):  $UO_2 + UO_3$

URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY		
type of radiation	nuclide	half-life
	uranium—238	$4.5 \times 10^9$ years
$\alpha$	↓	
	thorium—234	24.5 days
$\beta$	↓	
	protactinium—234	1.14 minutes
$\beta$	↓	
	uranium—234	$2.33 \times 10^5$ years
$\alpha$	↓	
	thorium—230	$8.3 \times 10^4$ years
$\alpha$	↓	
	radium—226	1590 years
$\alpha$	↓	
	radon—222	3.825 days
$\alpha$	↓	
	polonium—218	3.05 minutes
$\alpha$	↓	
	lead—214	26.8 minutes
$\beta$	↓	
	bismuth—214	19.7 minutes
$\beta$	↓	
	polonium—214	$1.5 \times 10^{-4}$ seconds
$\alpha$	↓	
	lead—210	22 years
$\beta$	↓	
	bismuth—210	5 days
$\beta$	↓	
	polonium—210	140 days
$\alpha$	↓	
	lead—206	stable

2. Minerály s radioaktivními prvky  
ve formě příměsí (převažují)

### Využití radioaktivních vlastností:

- stanovení absolutního stáří hornin

**kvantitativní poměr U : Pb**  
**U : He**



Izotropizované krystaly (metamiktně přeměněné minerály)

## Luminiscenční jevy



**Fotoluminiscence:** účinek světelných paprsků

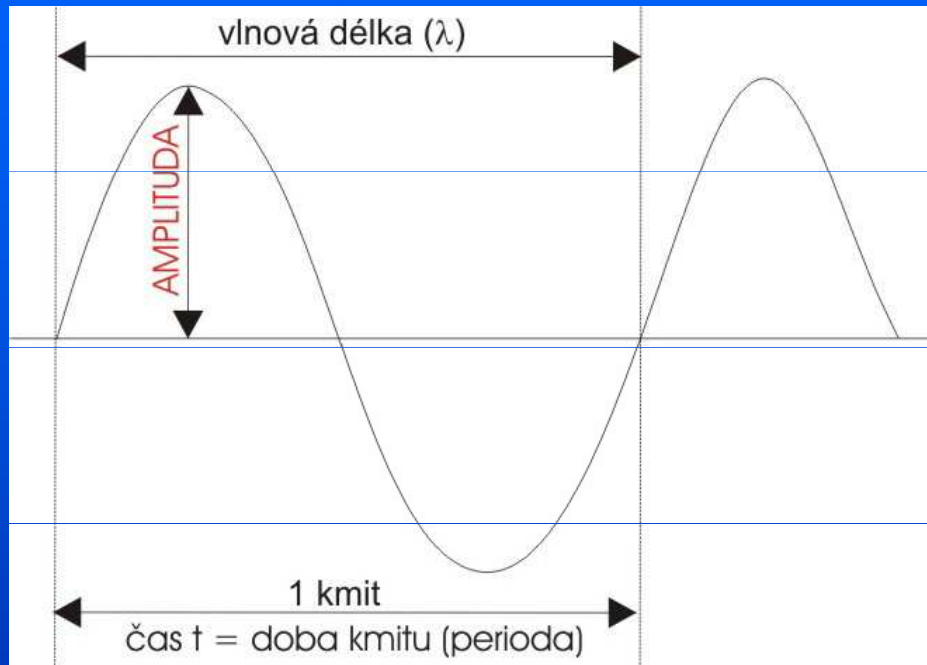
**Fluorescence:** pouze po dobu ozařování  
(fluorit, jantar, chlorofyl, petrolej)

**Triboluminiscence:** mechanické působení  
(sfalerit, křemen, slídy, některé mramory)

**Termoluminiscence:** tepelné působení  
(diamant, fluorit, topas)

**Fosforescence:** samovolné záření ve tmě  
(diamant, pálený baryt, vláknitý sádrovec)

## Optické vlastnosti nerostů



Jedna vlnová délka = světlo jednobarevné (monochromatické)

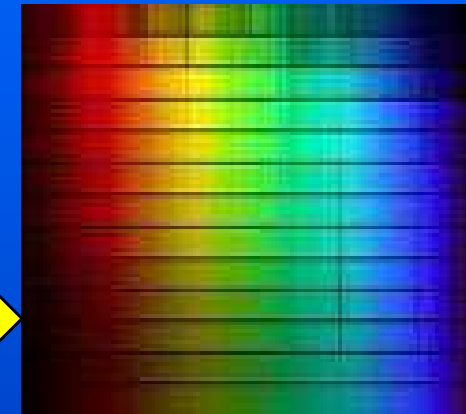
Více vlnových délek = světlo vícebarevné (polychromatické - bílé světlo)

Nejkratší vlnová délka: fialová část spektra

Nejdelší vlnová délka: červená část spektra

## Podstata a charakter světla

Spektrum



červená – oranžová – žlutá  
– zelená – modrá - fialová

### Optická hustota prostředí

- látky opticky izotropní
- látky opticky anizotropní

# Propustnost světla nerostem

Nerosty:

1. průhledné (křišťál, kalcit)



nerosty čiré (průhledné + bezbarvé)

2. průsvitné (opál)

3. neprůhledné (amfibol, pyroxen)

4. opakní (grafit, magnetit)

# Lesk nerostů

## LESK KOVOVÝ



- ryzí kovy
- sulfidy
- sirné soli

## LESK NEKOVOVÝ



• diamantový

• skelný

• perleťový

• mastný

• matný

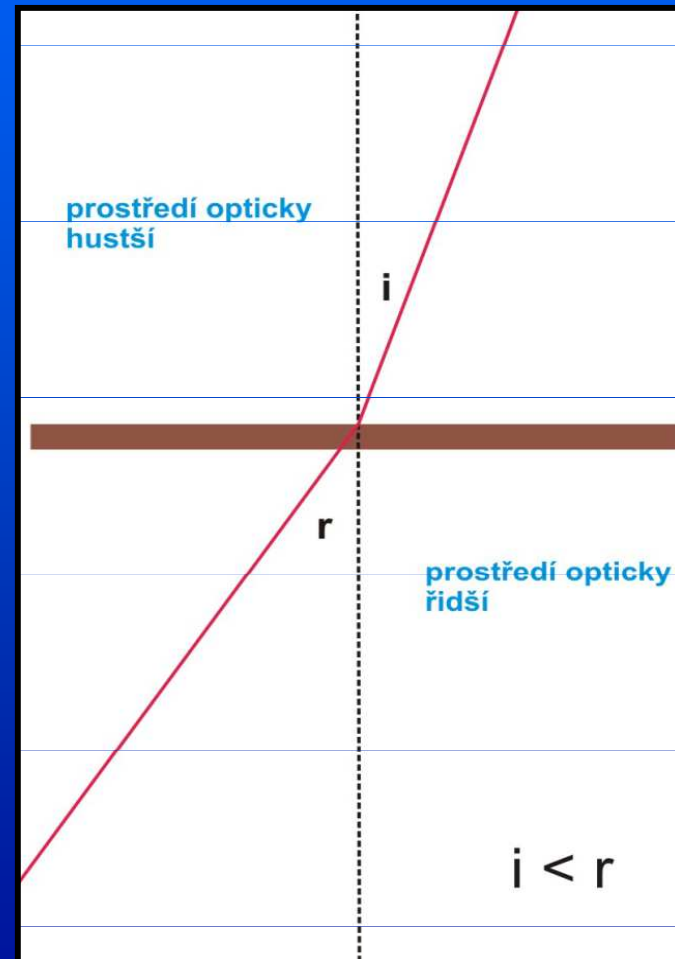
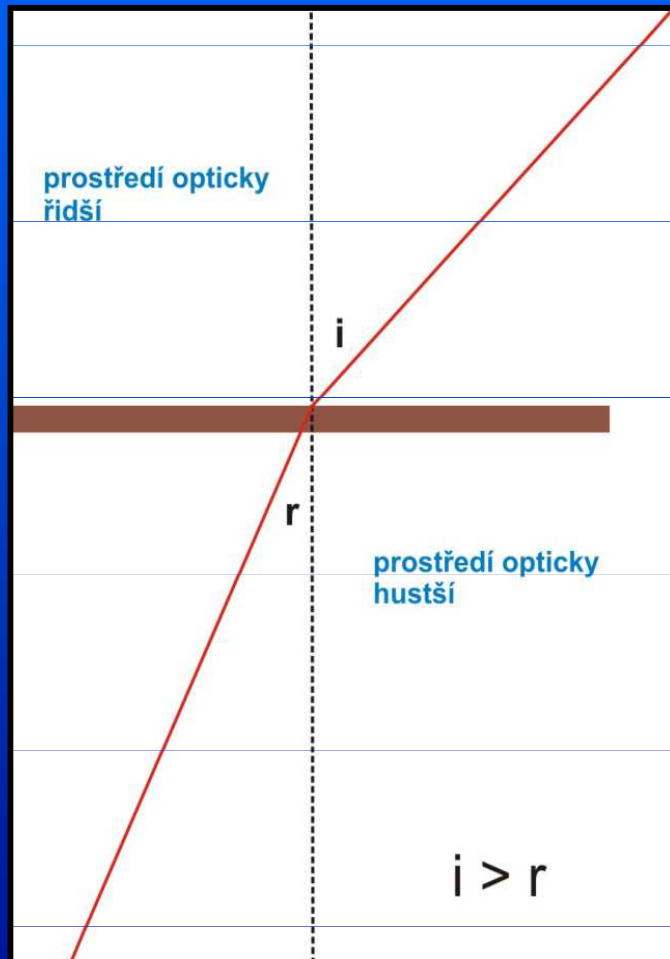
• hedvábný

- diamant
- křemen, silikáty
- slídy
- zeolity, žilný křemen
- krystaly z dutin a žil
- amfibol, sádrovec



# Lom světla

## Optická hustota prostředí



## Snelliův zákon:

$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{konst.}$

- a) pro přechod z opticky řidšího prostředí do prostředí opticky hustšího je konstanta  $> 1$  ( $i > r$ )
- b) pro přechod z opticky hustšího prostředí do prostředí opticky řidšího je konstanta  $< 1$  ( $i < r$ )

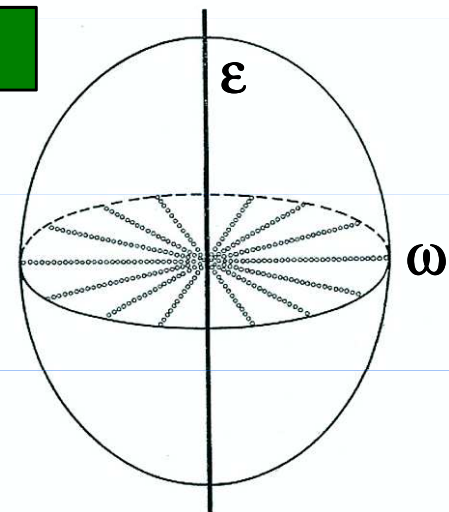
$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_2}{v_1} = \text{konst.}$

## Index lomu:

$\frac{c}{v} = n$

Soustava: tetragonální,  
hexagonální, trigonální

Rotační elipsoid



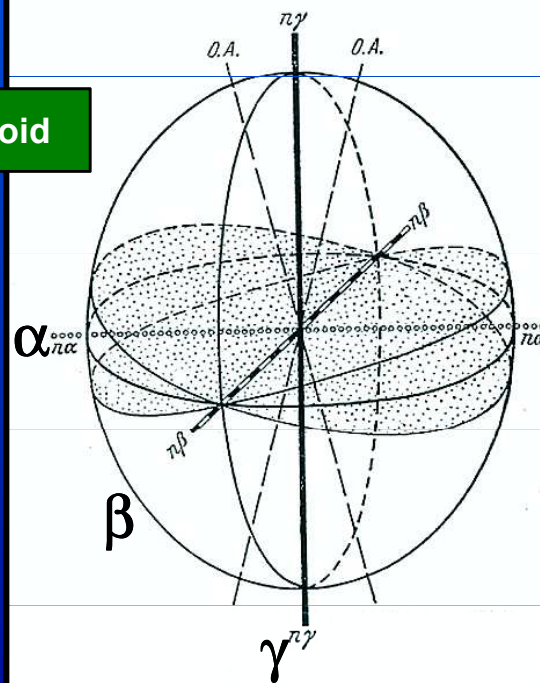
2 indexy lomu  
( $\epsilon$ ,  $\omega$ )

$\omega$  (minimální lom)

$\epsilon$  (maximální lom)

Soustava: triklinická,  
monoklinická, rombická

Trojosý elipsoid

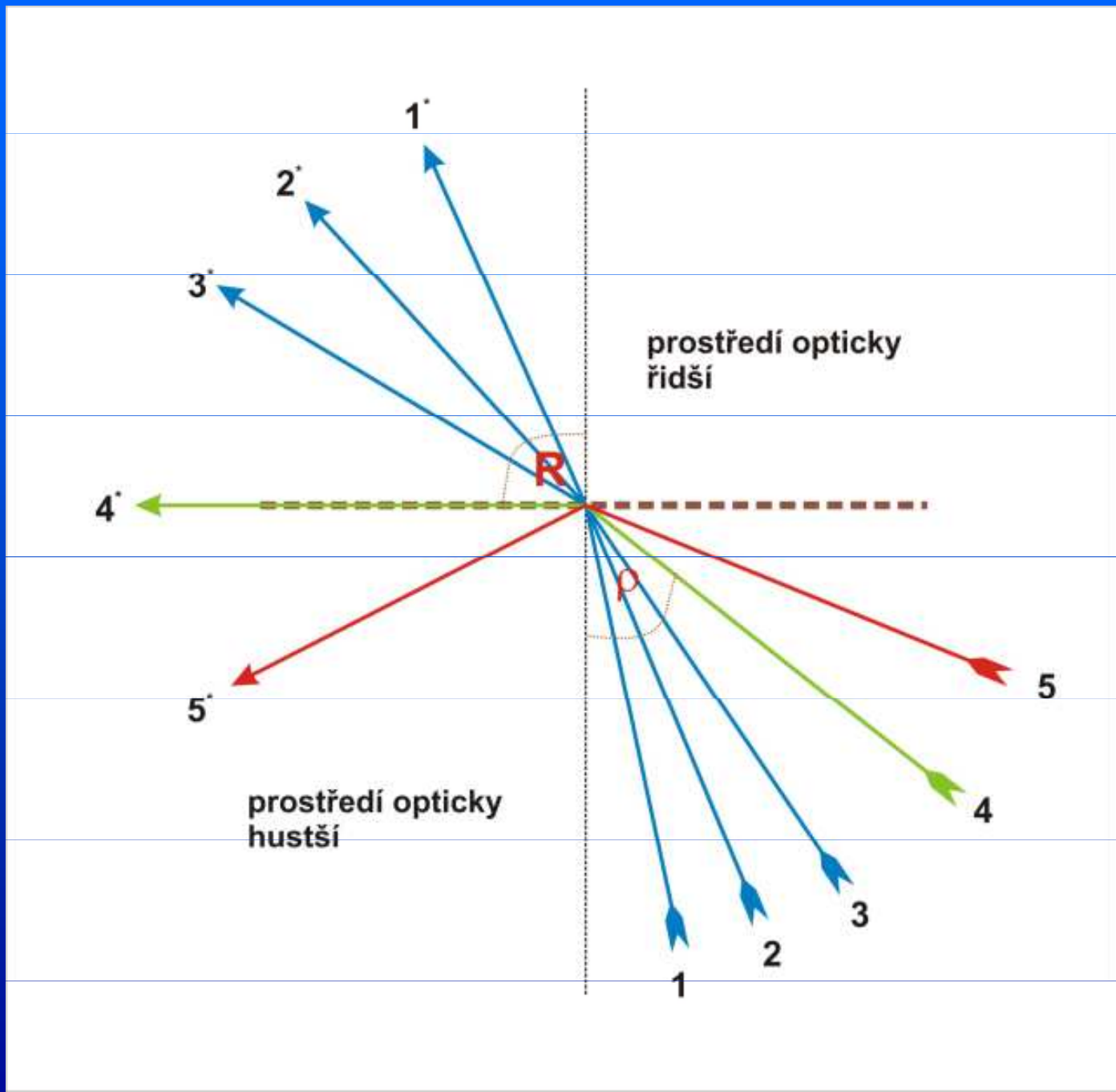


3 indexy lomu  
( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )

$\alpha$  (minimální lom)

$\gamma$  (maximální lom)

# Totální reflexe



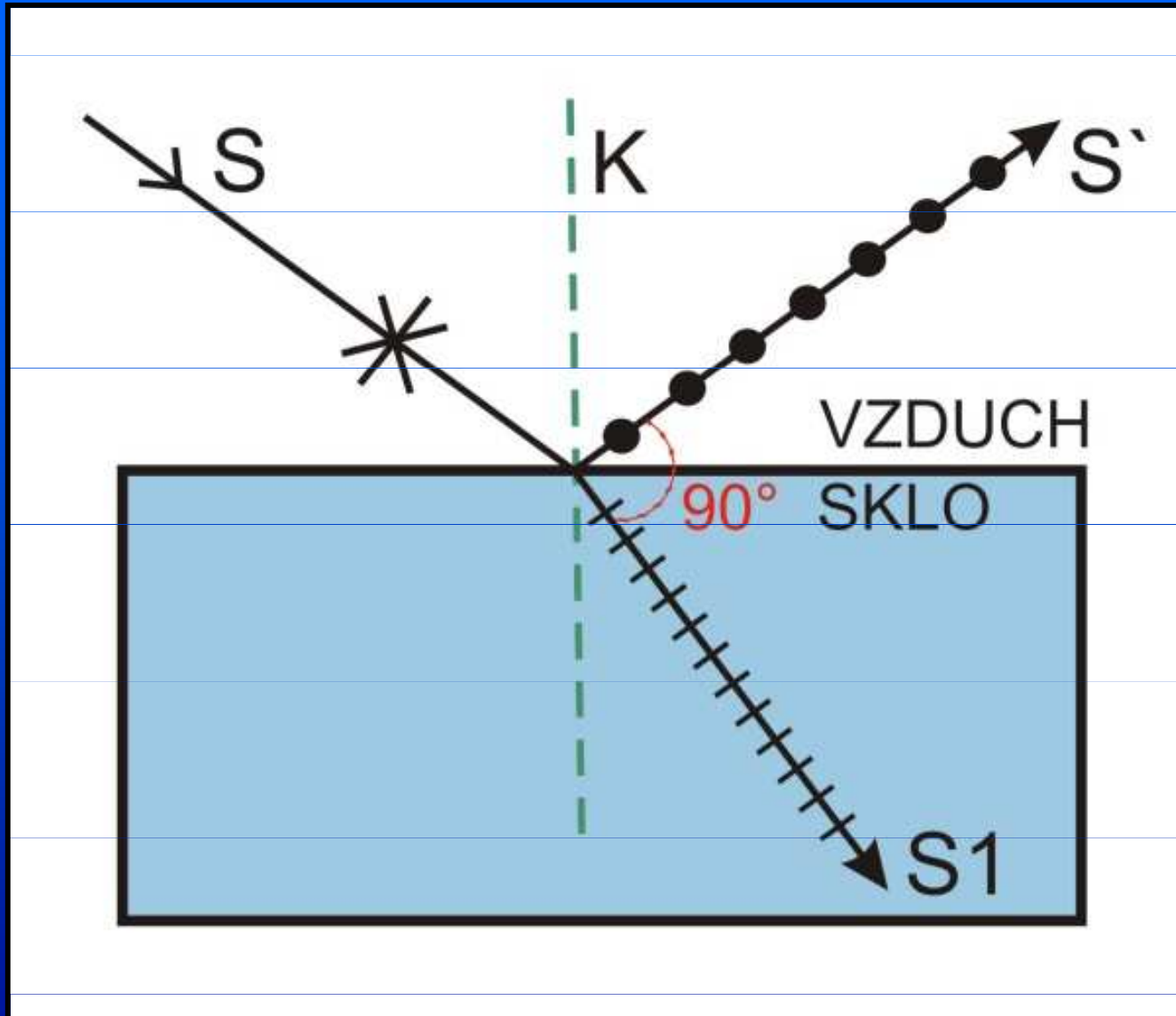
## Totální reflexe:

$$\frac{\sin \rho}{\rho} = n \quad \longrightarrow \quad \sin \rho = \frac{1}{n}$$

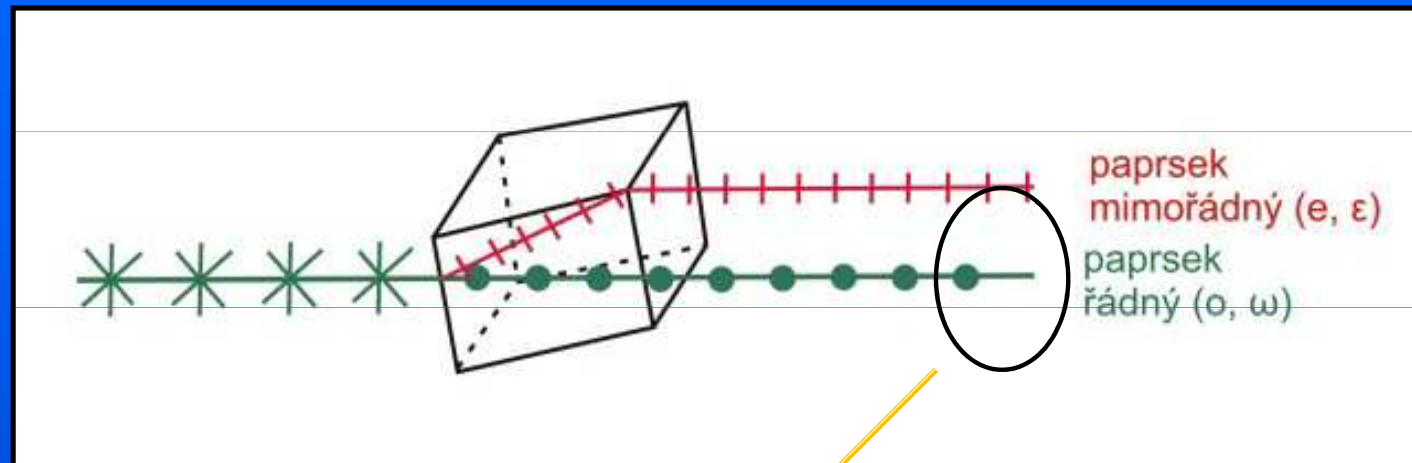
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{n}$$

$n_1$  = index lomu prostředí opticky řidšího  
 $n_2$  = index lomu prostředí opticky hustšího

# Polarizace odrazem a lomem



# Dvojlom



$$r = d \cdot \text{tg } \alpha$$



**Optické osy**

minerály opticky jednoosé

minerály opticky dvojosé

**Optická osa** – krystalograficky daný směr, v němž u opticky anizotropních krystalů nenastává dvojlom.

**Optické osy**

minerály opticky jednoosé

minerály opticky dvojosé

**Minerály opticky izotropní  
(jednolomné)**

amorfní látky, soustava  
kubická

**Minerály opticky anizotropní  
(dvojlomné)**

minerály opticky jednoosé

soustava tetragonální,  
hexagonální, trigonální

minerály opticky dvojosé

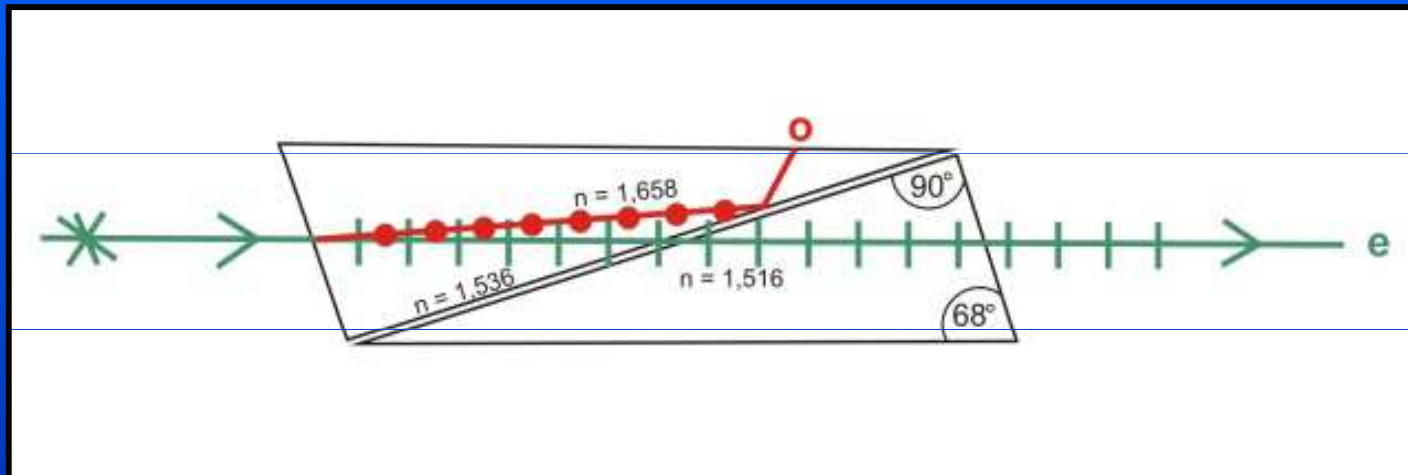
soustava triklinická,  
monoklinická, rombická



## Polarizační přístroje

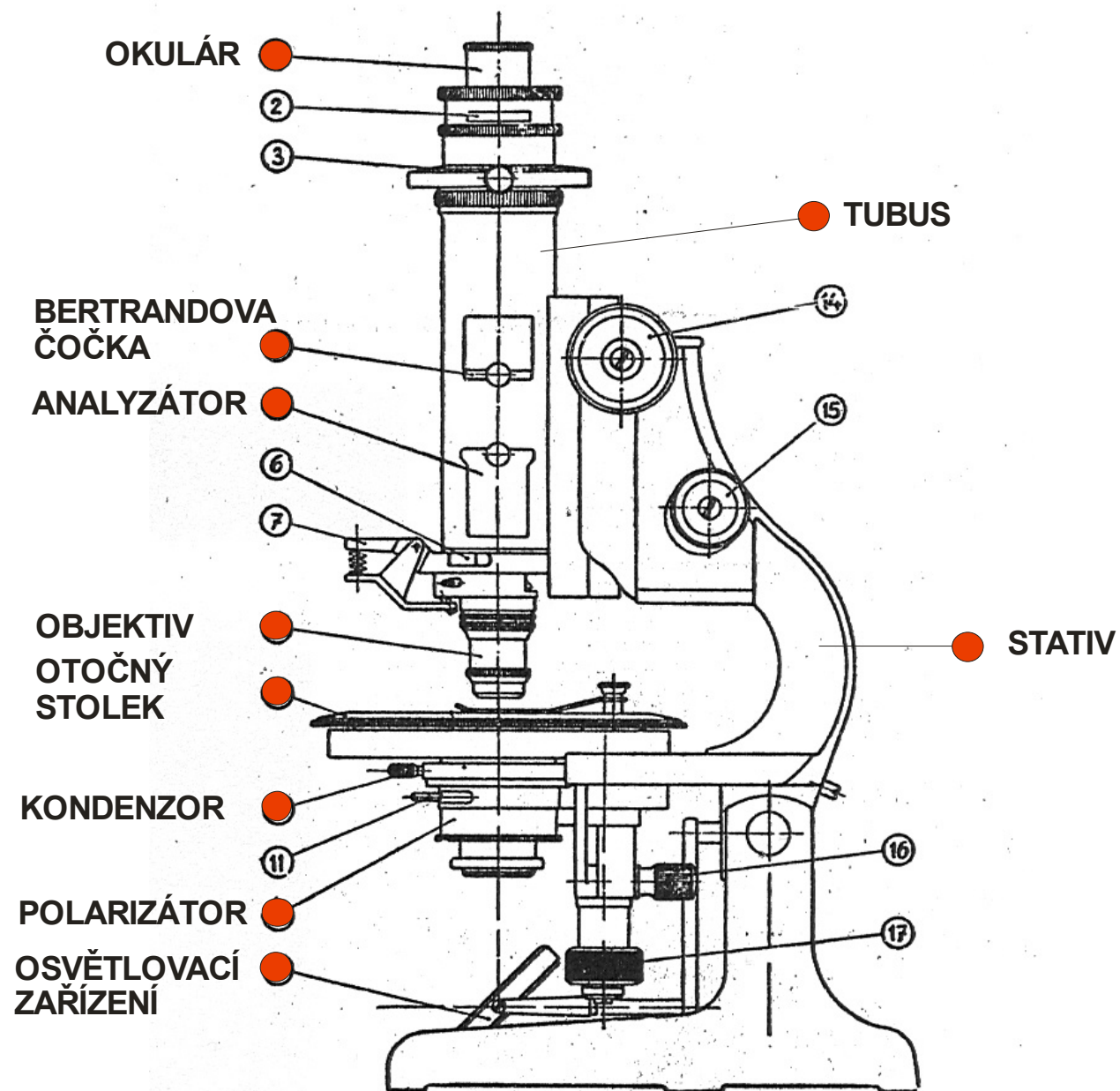


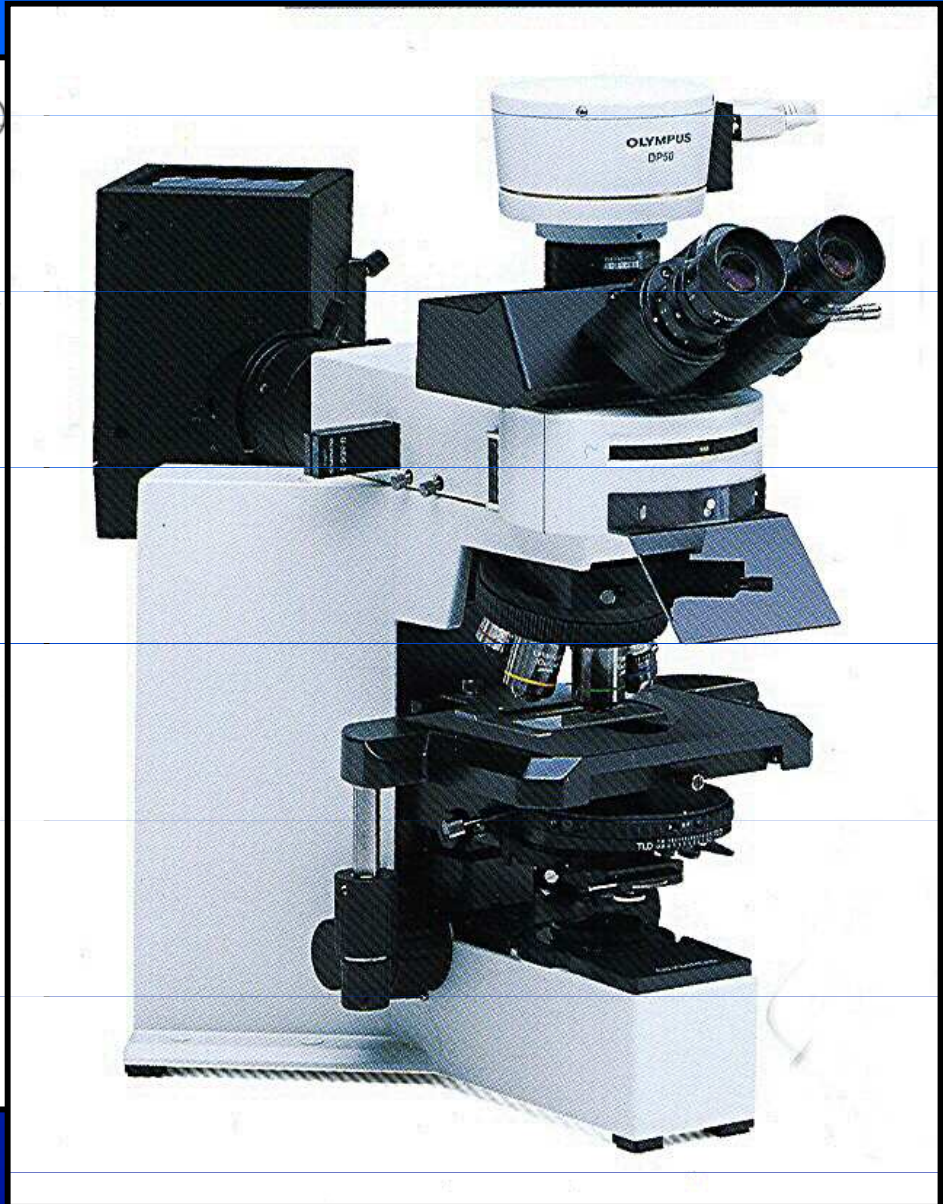
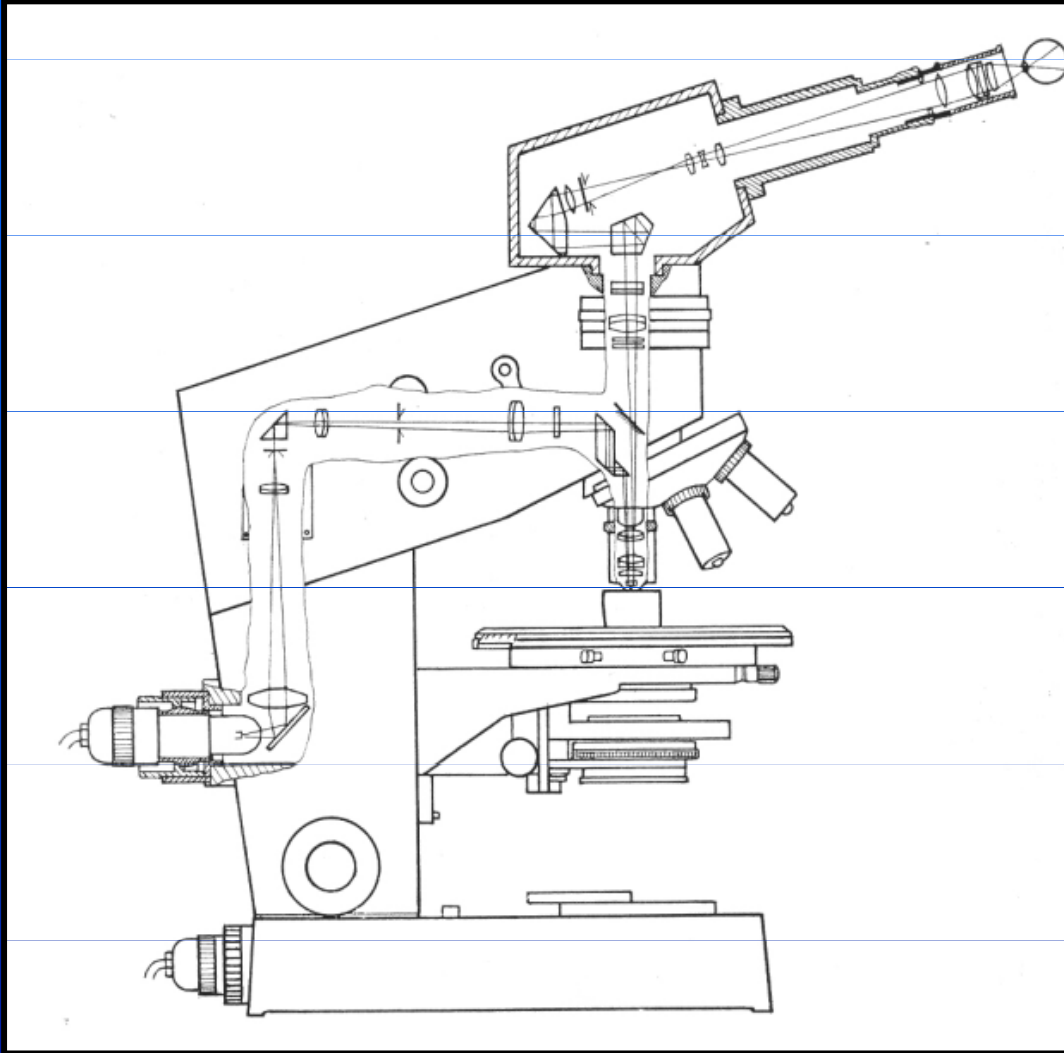
Nicol: (William Nicol 1770 - 1851)



Dnes: – herapatit (polaroid)  
– turmalín

# Polarizační mikroskop





# VZNIK NEROSTŮ

## 1. ENDOGENNÍ PROCESY

– ve svrchním plášti a spodní kůře, spojené s vnitřními geologickými silami.

Procesy:

- magmatogenní
- metasomatické
- metamorfní

## 2. EXOGENNÍ PROCESY

– v připovrchových částech zemské kůry, hydrosféře a atmosféře.

Procesy:

- zvětrávání
- sedimentace

# VZNIK NEROSTŮ MAGMATOGENNÍMI PROCESY

Fáze

1. Magmatická

↳ 2. Pegmatitová

↳ 3. Pneumatolytická

↳ 4. Hydrotermální

## Vznik minerálů krystalizací magmatu

1. Magma: charakter, krystalizace
2. Vylučování minerálů z magmatu: teplota, tlak

### Prvotní krystalizace (1200-900°C)

- minerály v magmatu málo rozpustné s vysokou teplotou tání

ložiska

minerály přídatné  
(akcesorické)

Minerály: magnetit, zirkon, apatit, olivín, chromit

# Vznik minerálů krystalizací magmatu

## Hlavní fáze krystalizace (900-650°C)

- hlavní horninotvorné minerály



**silikáty**



**Minerály: živce, slídy, amfiboly, pyroxeny**



**oxidy**



**Minerály: křemen**

## Vznik minerálů v pegmatitové fázi (650-450°C)

### PEGMATITY



#### Minerály:

- živce (draselné a sodnovápenaté), křemen, slídy (muskovit, biotit)
- turmalín, topaz, fluorit, beryl, Li-slídy
- někdy cínovec, molybdenit
- minerály vzácných prvků (Th, V, Nb, Ta, Zr, Ti, Hf, Sn)



## Pneumatolytický vznik nerostů

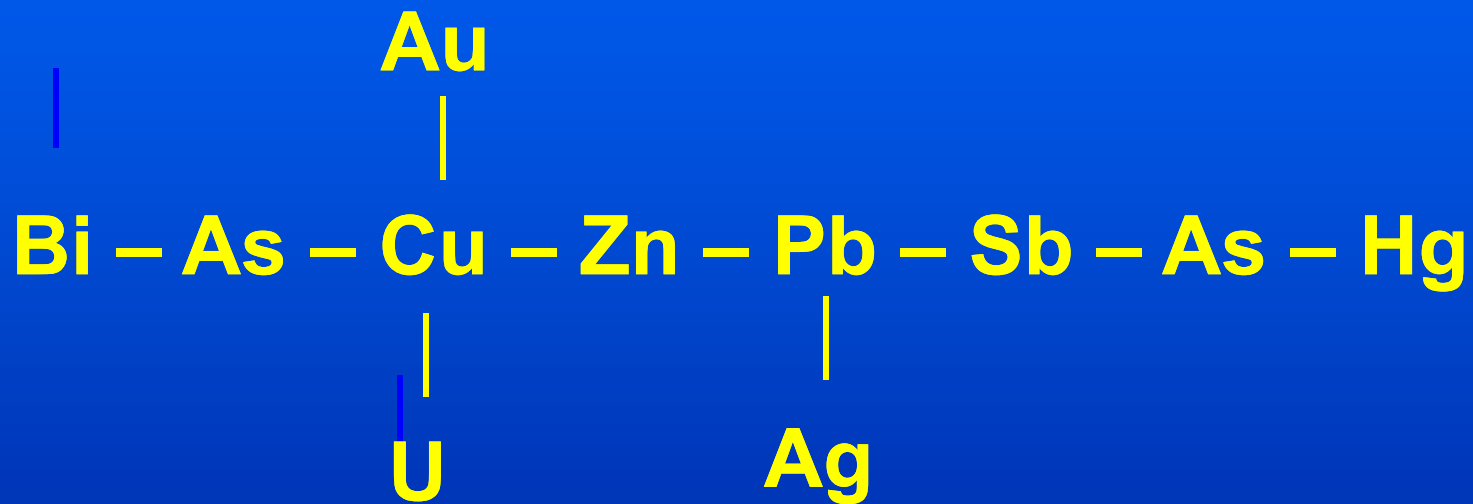
### Vznik cínovce



### Vznik hematitu



## Schéma vzniku sulfidů v závislosti na teplotě



Pokles teploty

## Ložiskové formace sulfidů

1. ZLATÁ A ZLATO-STŘÍBRNÁ FORMACE
2. Ag-Co-Ni-Bi-U FORMACE (pětiprvková formace)
3. PYRITOVÁ A CHALKOPYRITOVÁ FORMACE
4. Pb-Zn-Ag FORMACE
5. Sb-As-Se FORMACE
6. Hg FORMACE

## Vznik nerostů metasomatickými pochody

Dolomitizace



Greisenizace

Epidotizace – minerály sk. zoisitu

Granitizace

Serpentinizace

Kaolinitizace

Sericitizace

# VZNIK NEROSTŮ EXOGENNÍMI PROCESY

## Vznik nerostů zvětráváním

1. OXIDACE

2. HYDROLÝZA

3. HYDRATACE

4. KARBONATIZACE

## OXIDACE

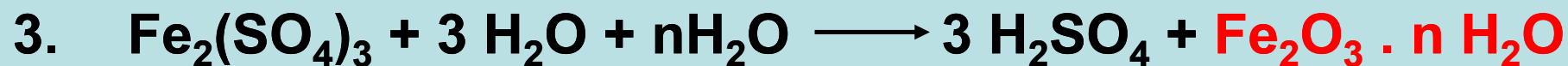
Siderit  $\text{FeCO}_3$   $\longrightarrow$  limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   $\longrightarrow$  hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\longrightarrow$  limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

Ryzí Cu  $\longrightarrow$  cuprit  $\text{Cu}_2\text{O}$   $\longrightarrow$  malachit  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$

Sírníky  $\longrightarrow$  sírany

## Kyzové zvětrávání



Železný klobouk – gossan: malachit, azurit, Cu-arzeničnany a vanadičnany,  
sloučeniny Pb

# PŮSOBENÍ VODY NA HORNINY A MINERÁLY:

1. Hydrolyticky v disociovaném stavu
2. Hydratačně jako molekula s dipólovým momentem

DISOCIACE VODY:

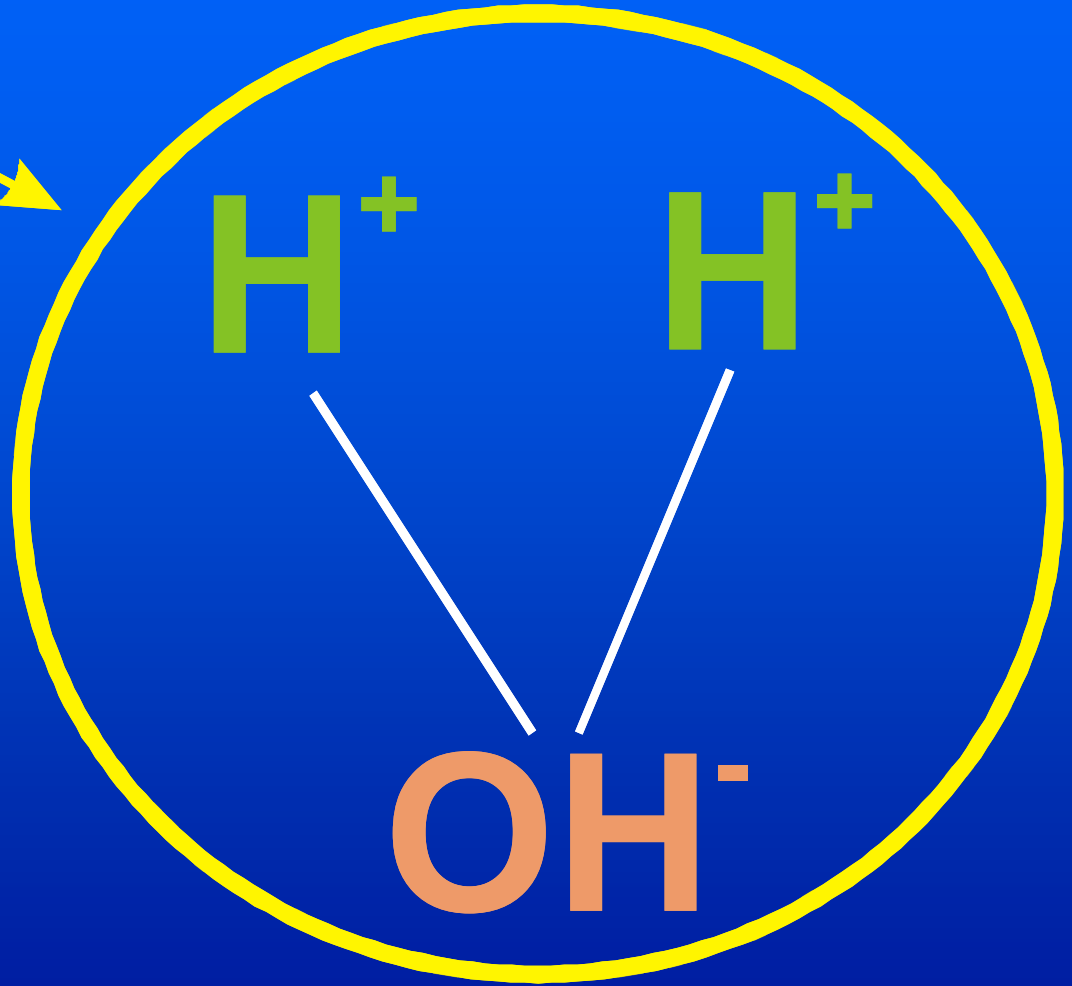
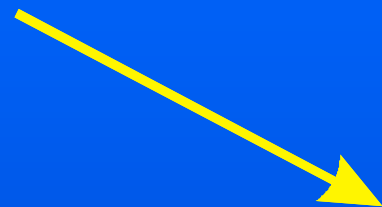




# HYDROLYTICKÝ ROZKLAD SILIKÁTŮ

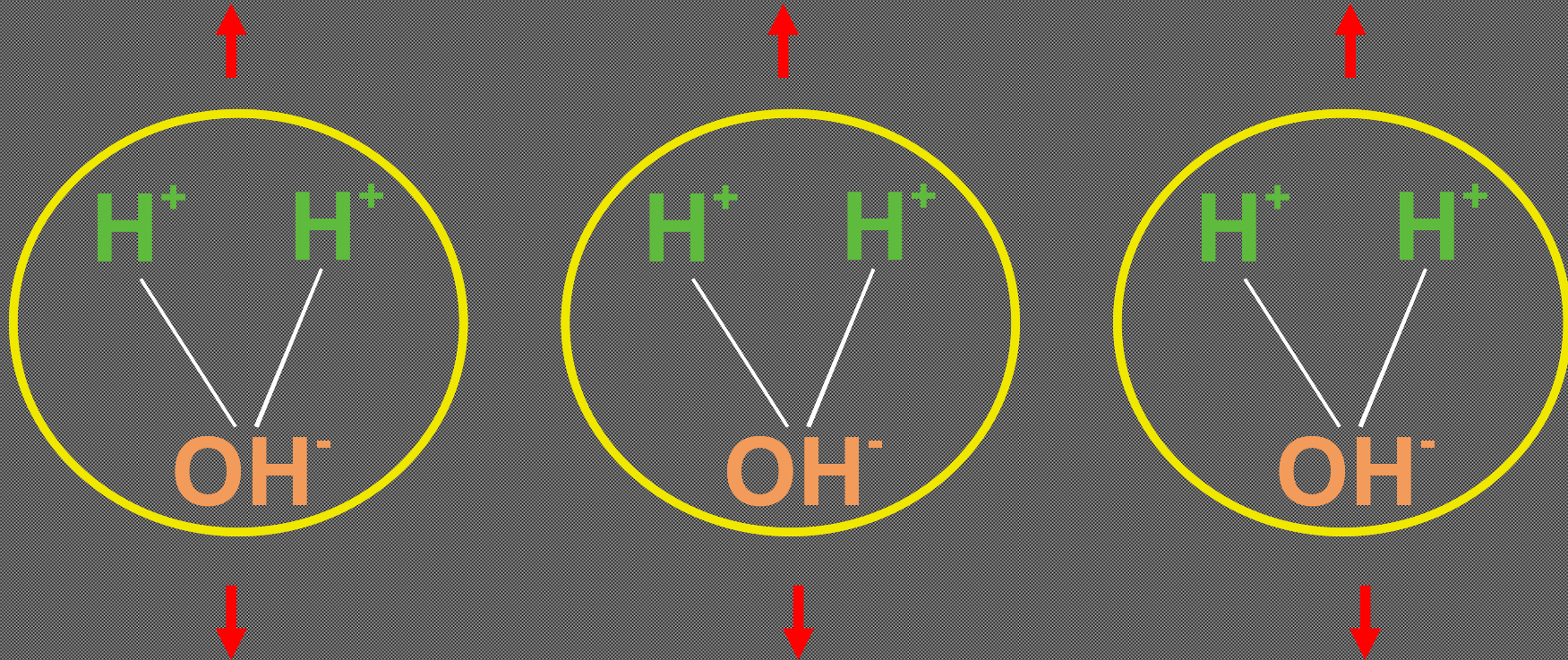
1. **KATIONY (ZÁSADITÉ)** – snadno se uvolňují, slučují se s hydroxylovou skupinou disociované vody
2. **ANIONY (Kyselínotvorné)** – málo pohyblivé, snadno se spojují s vodíkovým kationem z disociované vody

Vznikají: jílové minerály  
Ca-, Mg-, Na-, K- karbonáty  
Fe-, Mn- hydroxidy  
vedlejší produkt: kyselina křemičitá



Elektrostatické pole

NASYCENÉ ANIONY



NENASYCENÉ KATIONY

**Následuje:** vytváření vazeb mezi kyslíkovými aniony (součást struktury minerálu) a vodíkovými kationy (oddělené od struktury vody) – **oslabování vazeb kyslík - alkálie**

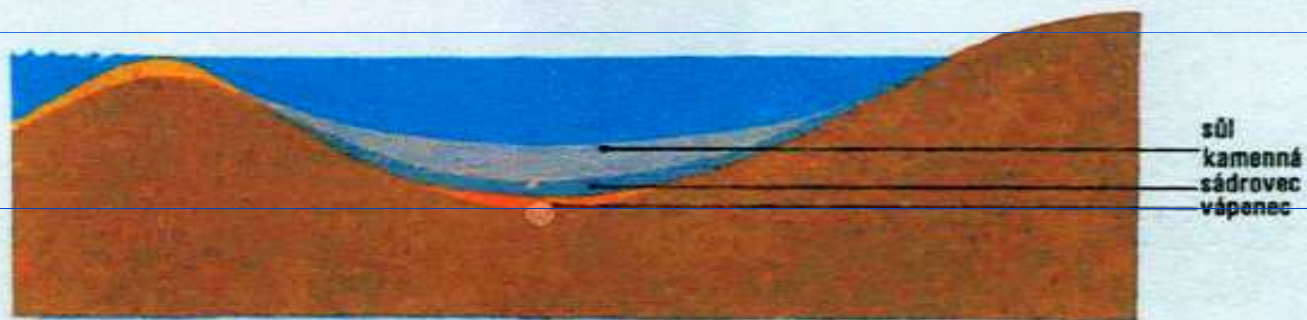
## Zesílené zvětrávání horninotvorných minerálů:

- kaolinizace

- lateritizace

- bauxitizace

# Vznik solných ložisek



# Krystalizace solí při vypařování mořské vody (v závislosti na stupni rozpustnosti)

karbonáty Ca (aragonit, kalcit, dolomit)



anhydrit (nejnižší rozpustnost)



sádrovec (nad hranicí 200 m - hydratace anhydritu)



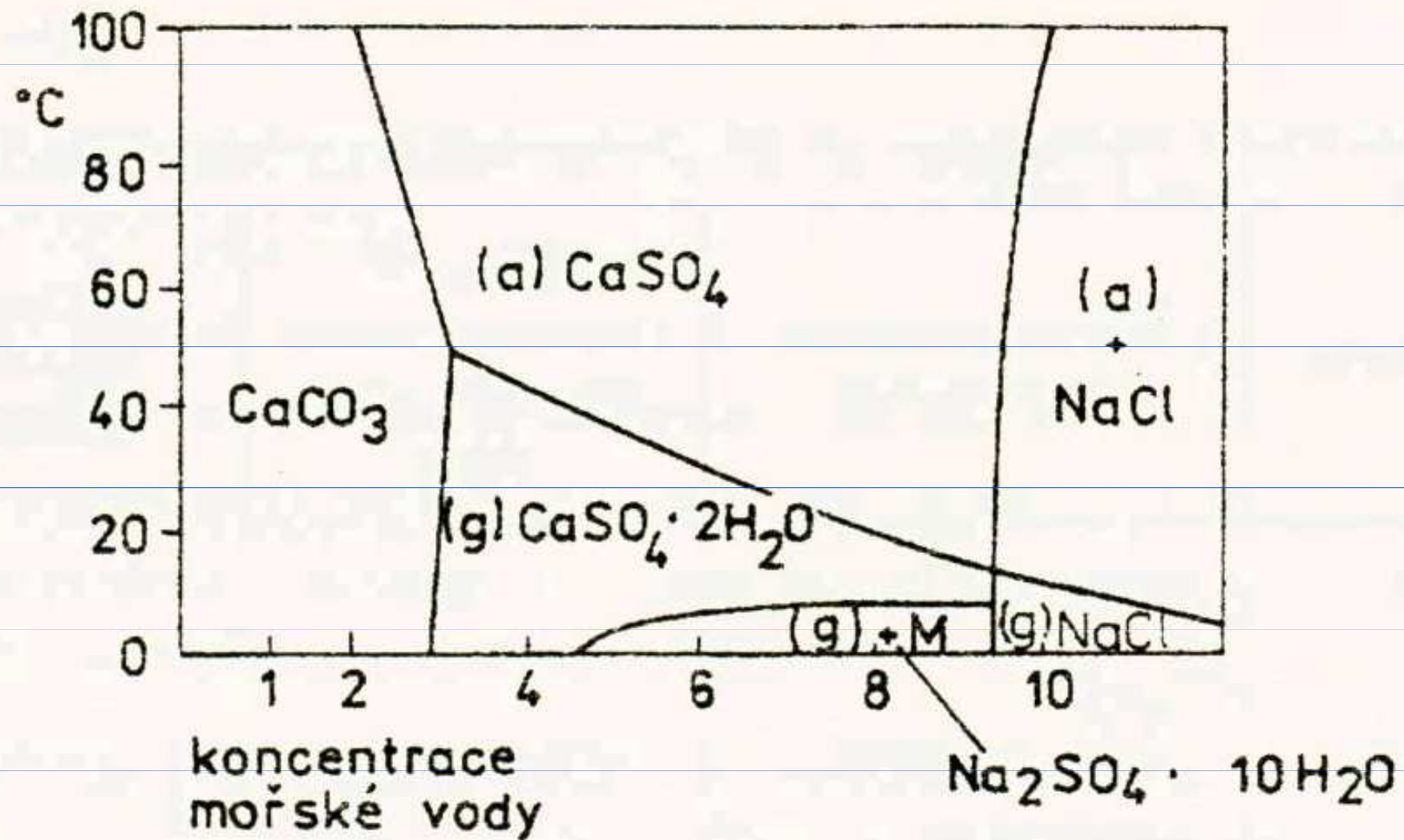
halit



podvojně soli K- a Mg- (polyhalit)



draselné soli (sylvín KCl, carnallit  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )



## Vznik nerostů biochemickými pochody

- vliv organismů na tvorbu minerálů a hornin
- prouhelňovací proces (grafit)
- bitumeny, pryskyřice, uhlovodíky
- vznik vápenců
- vylučování  $\text{SiO}_2$  (rozsivky, radiolarie, houby)
- vznik fosforečnanů (krystalické i koloidní formy)
- sedimentární železné rudy