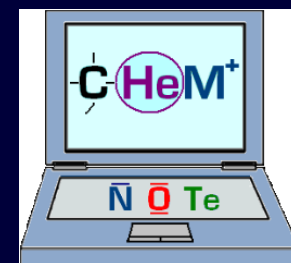


# 4. Stavy hmoty

- **pevný**
- **kapalný**
- **plynný stav**
- **plasmatický**



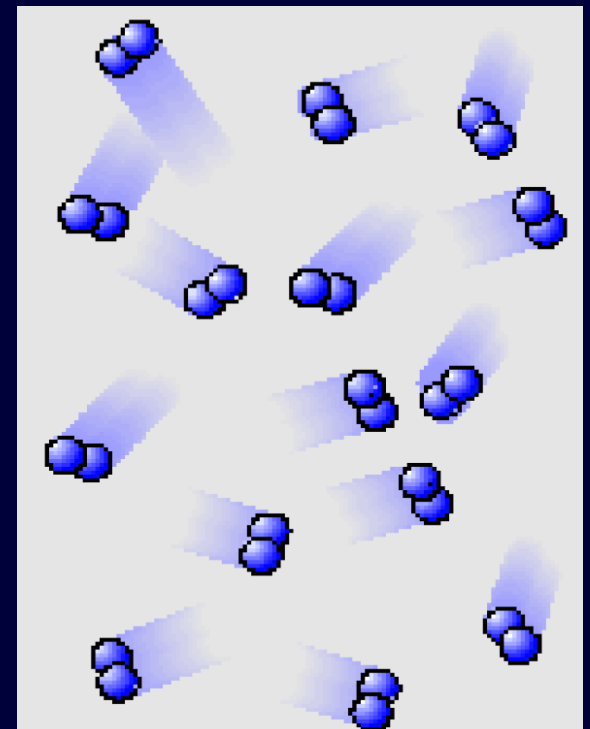
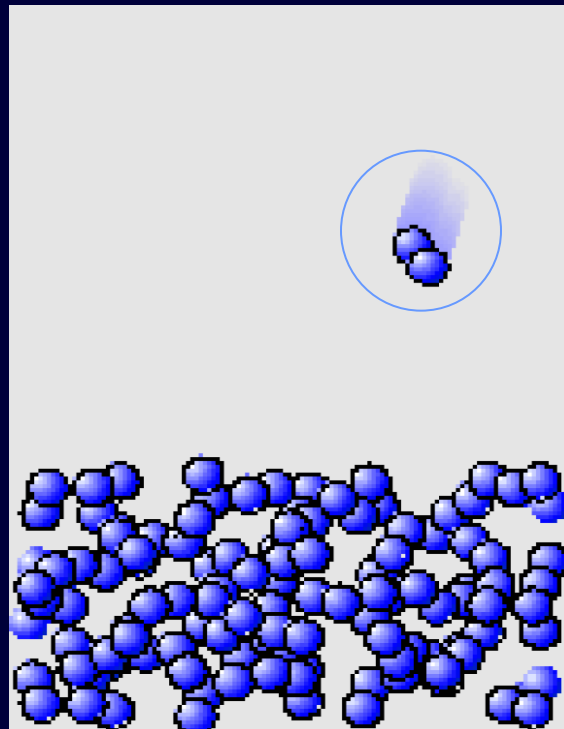
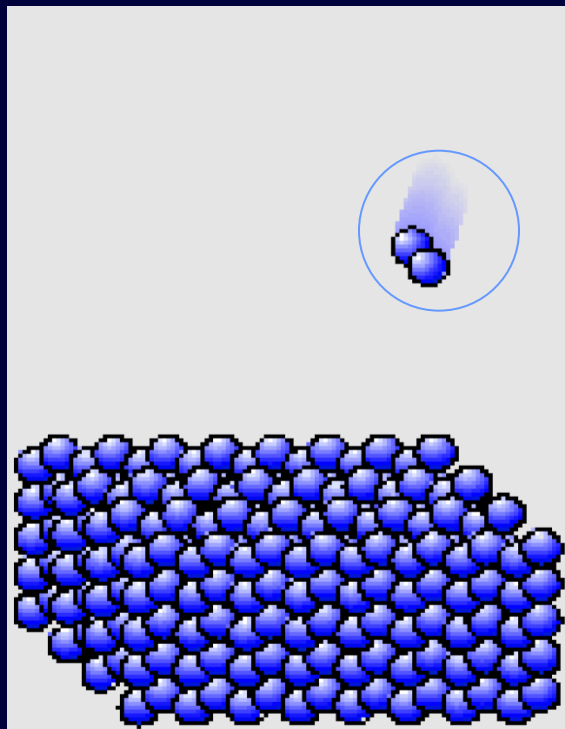
**Evropský sociální fond  
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti**

# 4. Stavy hmoty

• pevný

kapalný

plynný stav



neuspořádanost

# 4. Stavy hmoty

## VLIV TEPLoty A TLAKU NA STAV HMOTY

- **pevný** – tuhý (tuhé skupenství, pevné látky – solid state)
  - „stálé“ atraktivní interakce mezi sousedními molekulami, žádná (?) **translace atomů** – „krystalové vazby“ (?)
- **kapalný**
  - „nestálé“ atraktivní interakce (kohezní síly) mezi molekulami, možný „neuspořádaný“ translační pohyb
- **plynný**
  - téměř nezávislé molekuly volně rozptýlené v prostoru (translační pohyb, srážky), nízká hustota částic
- **plazmatický**
  - vysoká kinetická energie částic – **ionizace** při srážkách, ionizované atomy/molekuly a elektrony
  - studené plazma ( $10^3$  K) a horké plazma ( $10^6$  K)

# 4. Stavy hmoty

## CHARAKTERISTIKY

- **pevný**
  - „stálé“ atraktivní interakce mezi sousedními molekulami, žádná (?) translace atomů
  - těsné „nakupení“ částic bez volné pohyblivosti
    - $\sim 10^{22} - 10^{23} / \text{cm}^3$
    - vzdálenosti  $\sim 10^{-1} \text{ nm}$
  - **kmity** atomů kolem daných rovnovážných poloh v limitovaném prostoru
  - látky zachovávají svůj tvar a objem (bez působení vnější síly)
  - teplo se nemůže šířit prouděním

# 4. Stavy hmoty

## MECHANICKÉ VLASTNOSTI

- **pevný**
  - látky zachovávají svůj tvar a objem (bez působení vnější síly)
  - mechanické DEFORMACE pevných těles
    - pružná – elastická – návrat do původního stavu po odeznění působení sil
    - tvárná – plastická – těleso zůstává v novém tvaru i po odeznění působení sil
    - tah, ohyb, smyk, kroucení
  - vliv teploty, vliv tlaku

# 4. Stavy hmoty

## Pevné látky



- **krystalický stav**

- **uspořádané** seskupení molekul (částic)
  - pravidelné rozmístění rovnovážných poloh atomů
- obvykle energeticky výhodnější než amorfní stav



- **amorfní stav – „beztvarý“**

- náhodné (?), neuspořádané seskupení molekul
  - nepravidelné, neperiodické rozložení rovnovážných poloh atomů

# 4. Stavy hmoty

## Pevné látky



- **krystalický stav**
  - základní pojem - krystal
  - omezeny přirozenými rovinnými plochami - krystalovými plochami (historický vnější pohled)
  - **vnější tvar krystalu** - odrazem pravidelného uspořádání jeho základních stavebních částic (iontů, atomů, molekul)
  - **moderní koncepce** - charakteristiky vnitřní struktury
- **amorfní stav** – skelný stav (*teplota skelného přechodu*)
  - podchlazené kapaliny
  - polymery (za určitých podmínek)
  - amorfní minerály – opál
  - metamiktní minerály - amorfní pseudomorfóza krystalického minerálu - nárazy  $\alpha$ -částic – rozbití struktury minerálu

# 4. Pevné látky

## • krystal

- krystalografie - nauka o krystalech (strukturní, chemická, morfologická, fyzikální)
- pravidelné uspořádání, periodicitu 3D struktury
  - anizotropie – závislost některých fyzikálních vlastností na směru – tvrdost, vodivost (tepelná i elektrická), ...
- homogenní (stejnorodé) anizotropní diskontinuum se zákonitou a **periodicky?** se opakující vnitřní stavbou
- **krystal je každá pevná látka, která vykazuje nespojitý difrakční obrazec**

## • krystalická látka

- pevná látka s vnitřní stavbou charakteristickou pro krystal
  - lhostejno, zda jednotlivá pevná tělesa (individua) tvořící tuto látku jsou nebo nejsou omezena krystalovými plochami, existence vnějších krystalových ploch není podstatná



# 4. Pevné látky

- **krystal**

- homogenní (stejnorodé) anizotropní diskontinuum se zákonitou a periodicky se opakující vnitřní stavbou
  - homogenní - fyzikální veličiny v každém objemovém elementu krystalu jsou konstantní
  - **anizotropní** - závislost fyzikální vlastnosti na směru, natočení (orientaci) krystalu
  - ostrý bod tání
  - definované složení a vlastnosti
- trojrozměrně periodická atomová struktura – klíčová vnitřní struktura nikoli vnější vzhled



# 4. Pevné látky



- **ideální krystal**

- nekonečný, pravidelný, bez poruch
  - užitečná abstrakce (nekonečná mřížka)
    - definována třemi translačními vektory

- **dokonalý krystal**

- konečné rozměry, dokonalá vnitřní stavba
  - nejbližší – krystaly vypěstované ve stavu beztlíže

- **reálný krystal**

- konečné rozměry, poruchy (četnost poruch, pohyb poruch)

# 4. Pevné látky

- **reálný krystal**

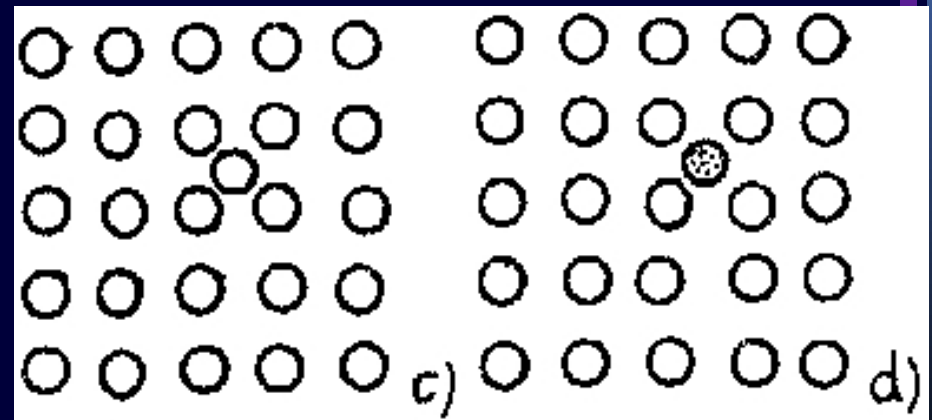
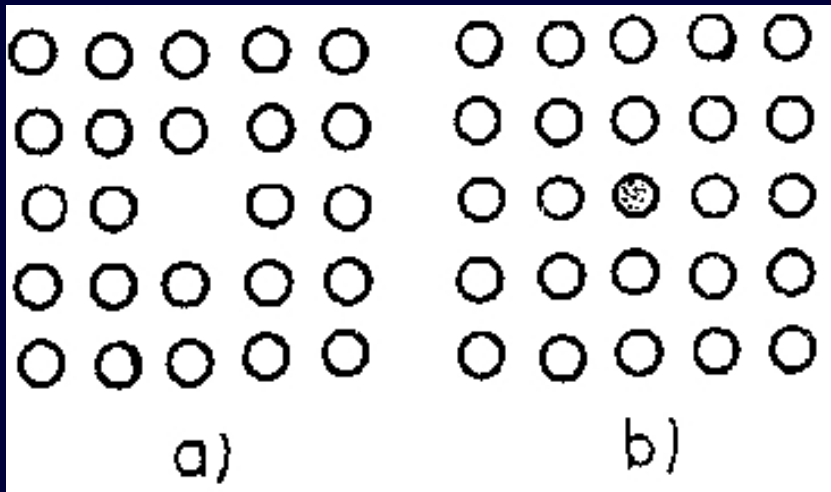
- konečné rozměry, **poruchy** (četnost poruch, pohyb poruch)

- **bodové poruchy** – vliv na mechanické, optické i elektrické vlastnosti

- **vakance** – a)

- **příměsi – cizí atomy** – b)

- **intersticiální polohy částic** – c), d)



# 4. Pevné látky

- reálný krystal

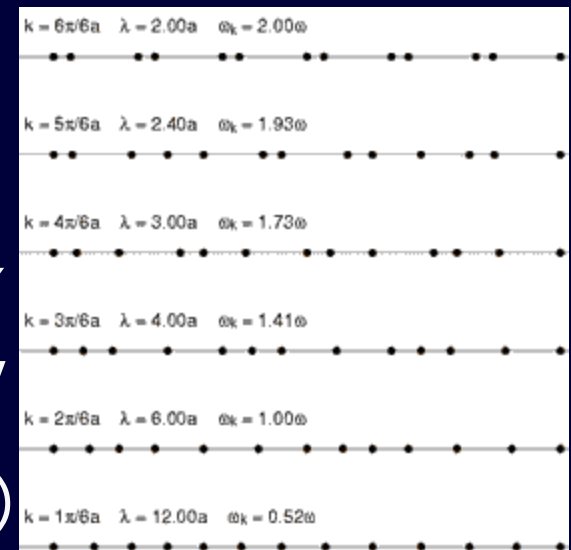
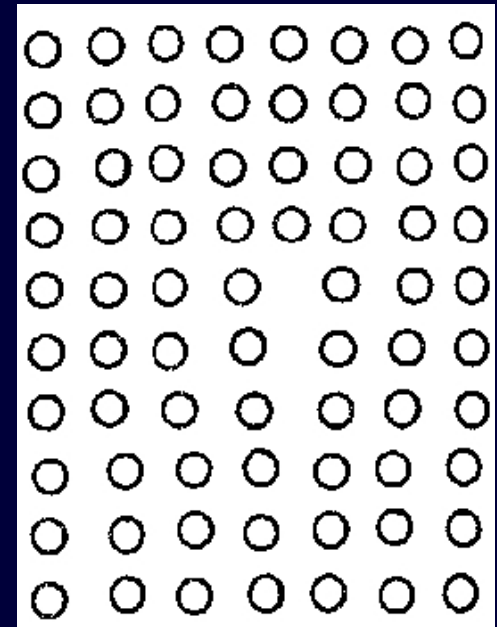
- poruchy – **dislokace** –  
vícedimenzinální

- **hranové dislokace** – vložení další  
mřížkové roviny do části struktury –  
dislokační roviny

- **vliv na mechanické vlastnosti** –  
**skluz rovin**

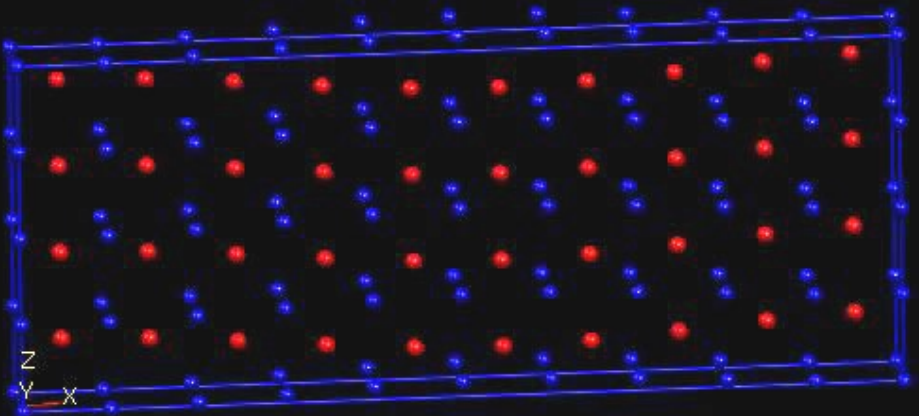
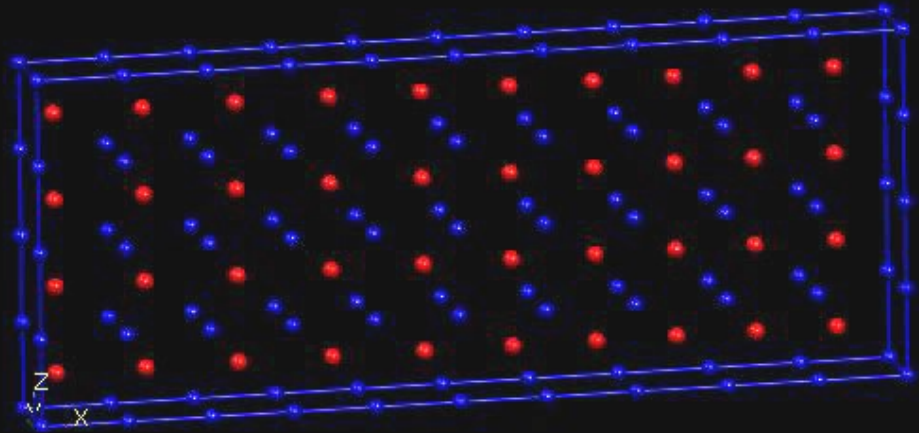
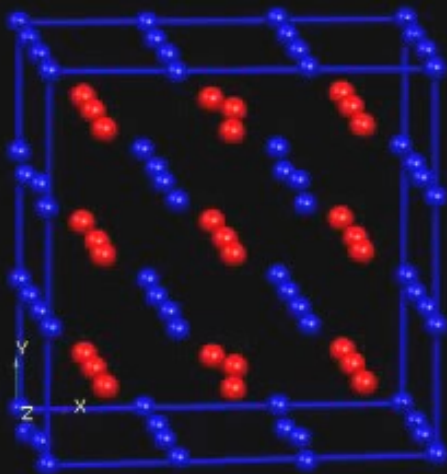
- porušení striktně periodického  
uspořádání → tepelné kmity krystalové  
mřížky – superpozicí kmitů stojaté vlnění

- energie kmitů kvantována – **fonony**  
– jsou mřížkou vyzařovány a  
pohlčovány (excitované stavy mřížky)



# 4. Pevné látky

– mřížkové kmity – longitudinální a transverzální



# 4. Pevné látky

- **krystalické látky**

- trojrozměrně periodická atomová struktura

- v celém krystalu nebo v části krystalu o rozměrech větších než  $10\ \mu\text{m}$  → **dalekodosahové** uspořádání

- **monokrystaly** - všechny částice - v jedné krystalické struktuře, která není přerušena, rozložení částic se periodicky opakuje v celém krystalu (celém objemu pevné látky).

- Celý monokrystal má pravidelný geometrický tvar.

- **polykrystaly** – složeny z velkého počtu drobných krystalků – zrn (rozměry **od  $10\ \mu\text{m}$  po několik mm**). Částice uvnitř zrn - opakující se struktura. Ale zrna uspořádána nahodile, vzájemná poloha neuspořádaná, proto polykrystalické látky bývají **navenek izotropní**.

- Patří sem všechny kovy.

## 4. Pevné látky

- **krystal**

- **polykrystaly** – složeny z velkého počtu drobných krystalků – zrn
- rozměry „zrn“ od cca **10 nm** do cca **1 μm**
  - **nanokrystalické látky** – moderní směr materiálového výzkumu
    - nanodiamant
    - nanokrystalické polovodiče – CdS, CdSe
    - nanoferroelektrika

## 4. Pevné látky

- **krystal**

- **kovalentní krystal**

- **diamant, křemen ...**

- **iontový krystal**

- **NaCl, KBr, CsF, ...**

- **molekulový krystal**

- **obvyklé pro organické látky  
(nízkomolekulární)**



## 4. Pevné látky

- **amorfní stav**

- periodické uspořádání těchto částic je omezeno na vzdálenost méně než  $10^{-8}$  m (10 nm). Pro větší vzdálenosti je struktura látky porušena.
- struktura amorfních látek má **krátkodosahové** uspořádání
- sklo, pryskyřice, vosk, asphalt, mnohé makromolekulární materiály, ..., amorfní kovy (kovová skla)
  - i když vybrousíme ze skla dokonalý krystalový tvar, není výsledkem krystal – chybí trojrozměrná periodická vnitřní stavba

## 4. Pevné látky

- látka v různých modifikacích (různé vnitřní struktury)
  - různé krystalické modifikace jedné látky – **polymorfismus**
  - $\text{ZrO}_2$  – tetragonální, monoklinický
  - uhlík
    - diamant – kubická plošně centrovaná mřížka
    - grafit - hexagonální
    - saze – amorfní materiál

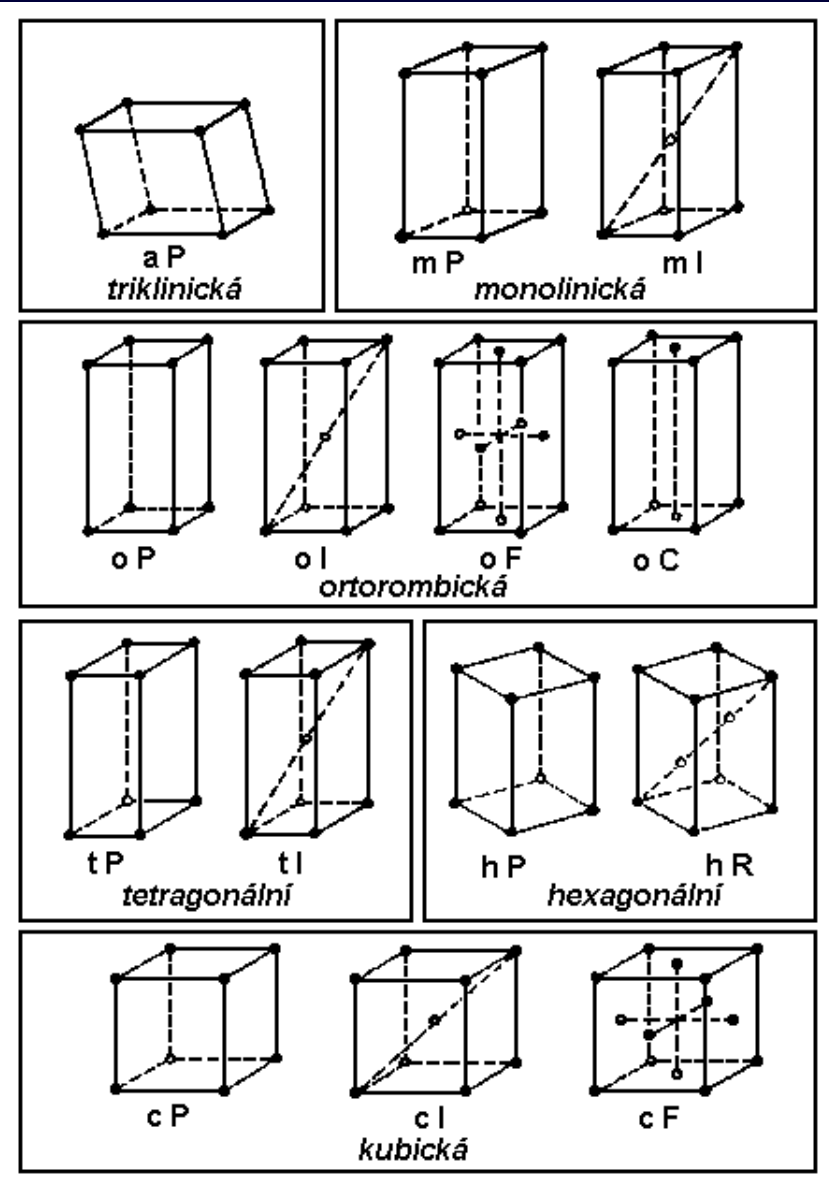
## 4. Pevné látky

- látky v různých modifikacích (různé vnitřní struktury)
  - 14 typů Bravaisových mřížek v 3-D prostoru
    - lze uspořádat do sedmi soustav
  - sedm krystalových soustav
    - **triklinická** – 1 mřížka
    - **monoklinická** – 2 mřížky
    - **(orto)rhombická** – 4 mřížky
    - **tetragonální** – 2 mřížky
    - **kubická** – 3 mřížky
    - **trigonální** (romboedrická) – 1 mřížka
    - **hexagonální** – 1 mřížka

jedna  
rodina

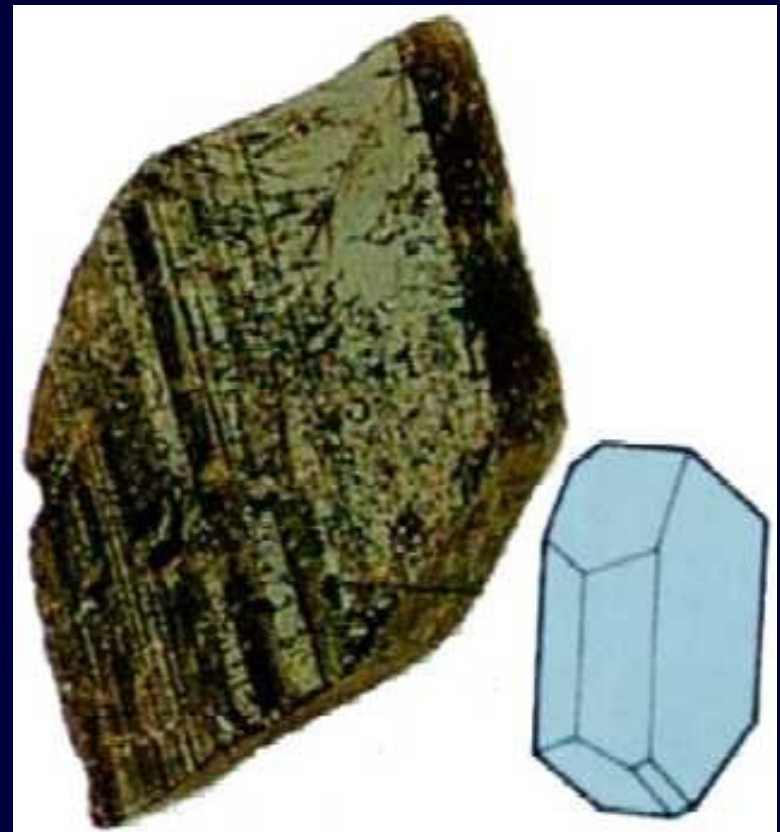
# 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - sedm krystalových soustav
    - triklinická – 1 mřížka
    - monoklinická – 2 mřížky
    - (orto)rhombická – 4 mřížky
    - tetragonální – 2 mřížky
    - kubická – 3 mřížky
    - trigonální (romboedrická) – 1 mřížka
    - hexagonální – 1 mřížka



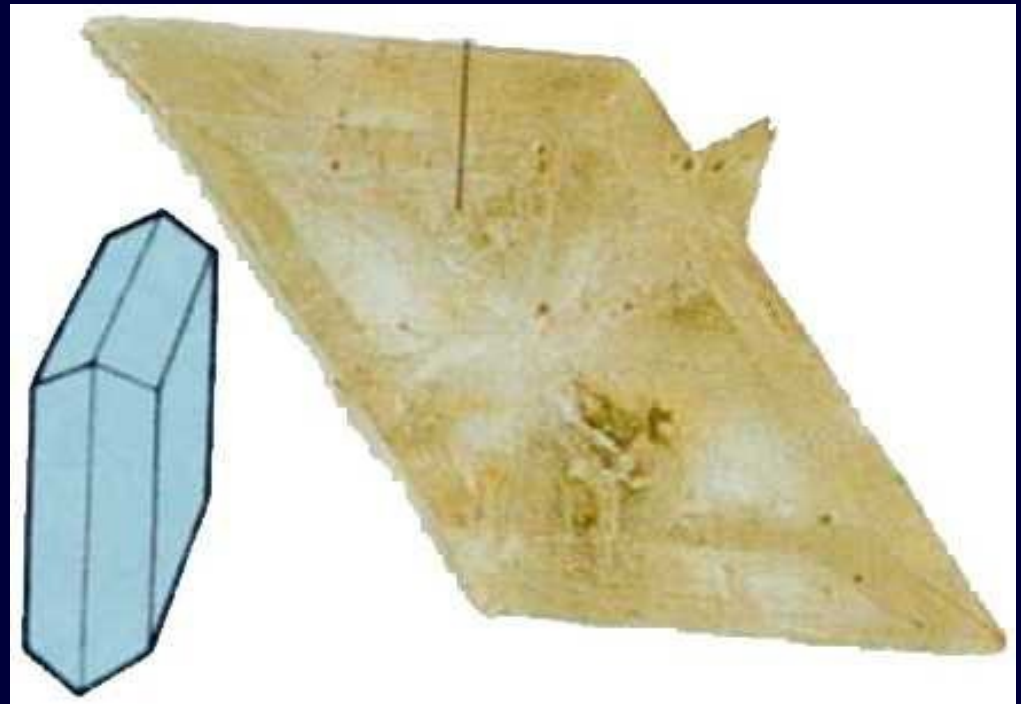
# 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - triklinická (trojklonná)
    - nejméně souměrná
    - 3 různocenné osy
    - kosé úhly



# 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - monoklinická (jednoklonná)
    - dvě ze tří různocenných os libovolný úhel, třetí k nim kolmá
    - hojně zastoupená



## 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - rhombická (kosočtverečná)
    - kolmo protáé různocenné osy
    - tabulkovité tvary, prizmata



# 4. Pevné látky

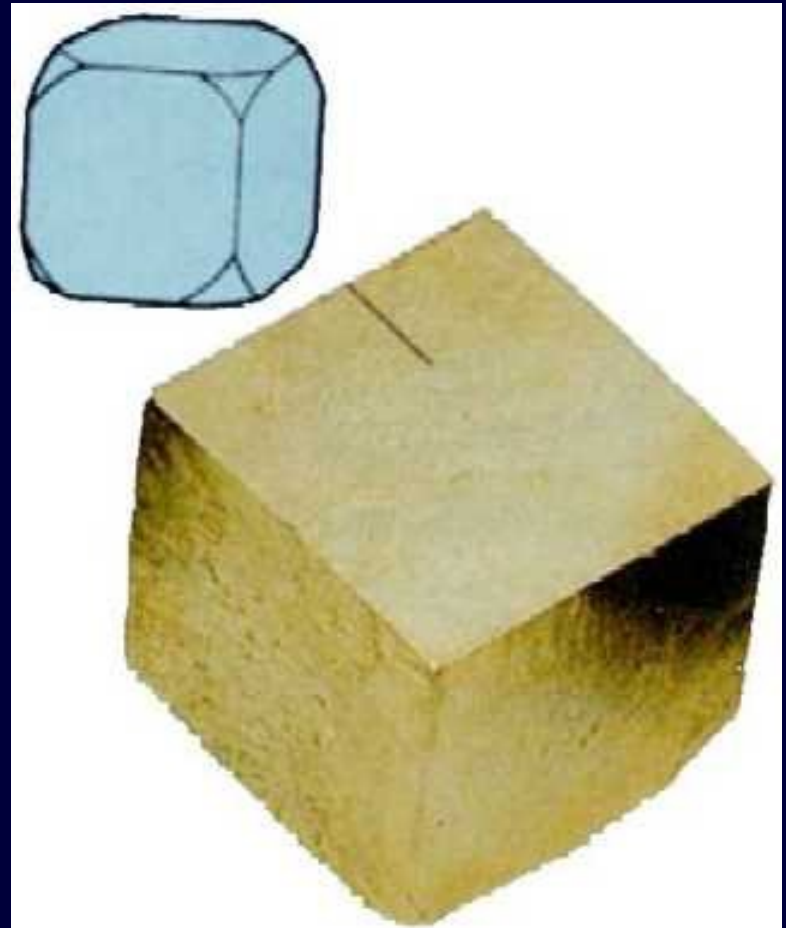
- sedm krystalových soustav
  - tetragonální (čtverečná)
    - tvar protaženější než krychle
    - dvě stejnocenné a jedna odlišná osa na sebe kolmé





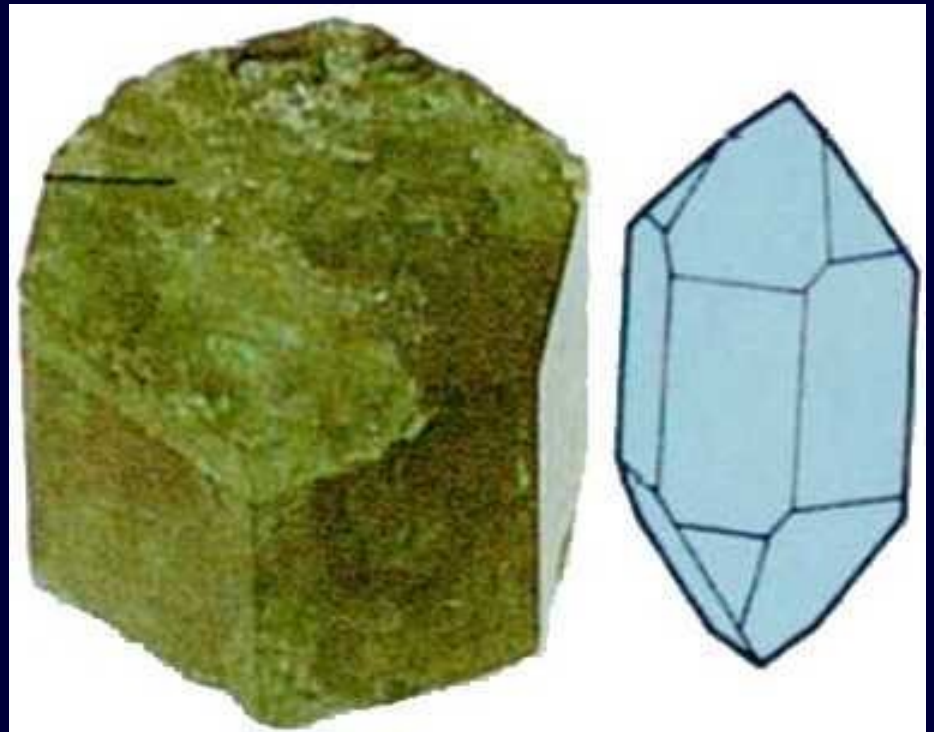
# 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - kubická (krychlová)
  - krychlovité krystaly
  - zahrnuje i osmistěnné a dvanáctistěnné
  - 3 mřížky
    - plošně centrovaná
    - prostorově centrovaná



# 4. Pevné látky

- sedm krystalových soustav
  - hexagonální/trigonální
    - tři stejnocenné osy v rovině a na ně kolmá odlišná osa
    - šesterečná/trojčetná osa



## 4. Pevné látky

- vlastnosti fyzikální – fyzika pevných látek
  - mechanické – deformovatelnost, tvrdost, křehkost, pevnost, kujnost
  - elektrické / dielektrické – elektrická vodivost, schopnost polarizace (izolanty, polovodiče, vodiče, supravodiče)
  - magnetické – magnetizace magnetik
    - optické – odraz - reflexe (reflektivita), lom - refrakce (index lomu), absorpce (absorpční koeficient), luminiscence, rozptyl – (elastický, nelastický), difrakce a interference

## 4. Pevné látky

- vlastnosti chemické
  - reakce v pevné fázi – cementy, keramika, výroba kyseliny sulfanilové, ftalocyaninu, modifikace zeolitů
  - reaktivita systémů „krystalický hostitel-host“
  - **povrch pevných látek** – rozhraní s plynou či kapalnou fází – adsorpce – chemisorpce či fyziisorpce – adsorpční izotermy
    - koroze (atmosferická, voda, plyny ...)
    - heterogenní katalýza
    - elektrodové děje
    - fotochemické povrchové děje

## 4. Pevné látky

- vlastnosti chemické
  - reakce v pevné fázi – aluminotermie
  - hliník (jako redukční činidlo) a oxid kovu
    - např.  $\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$

