

Fyzika

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológia
- 6. prednáška – pevné látky

Obsah prednášky:

- pevná látka (skupenstvo)
- kryštalické a amorfné látky
- väzbové sily
- kryštalizačné sústavy
- mechanické vlastnosti pevných látok
(Hookov zákon)

Pevná látka (skupenstvo)

Pevná látka (tuhá látka, tuhé/pevné skupenstvo) - je jedno z troch hlavných skupenstiev.

- toto skupenstvo sa vyznačuje pevným, často pravidelným usporiadaním častíc,
- teleso z tuhej látky udržiava svoj tvar, aj keď nie je uzavreté do nejakého objemu,
- sily medzi časticami pevnej látky sú obvykle silnejšie ako sily, ktoré by spôsobili jeho rozpad (napr. ťažová sila).

Pevná látka (skupenstvo)

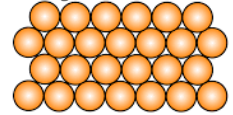
Pevné látky sa rozdeľujú do dvoch hlavných skupín:

kryštalické a amorfné

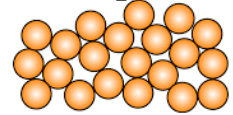
Kryštalické pevné látky sú charakterizované usporiadaním častíc (molekúl, iónov, ...) do stavbených mriežok a ďalekodosahovým usporiadaním základných stavebných elementov.

Amorfné látky sú pevné látky, vyznačujúce sa krátkodosahovým usporiadaním (podskupinu amorfných látok tvoria polyméry).

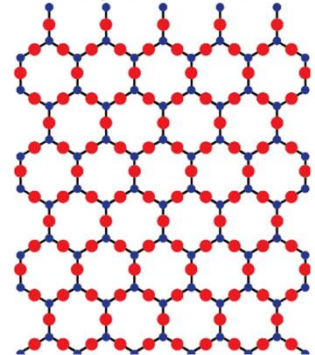
crystalline



amorphous

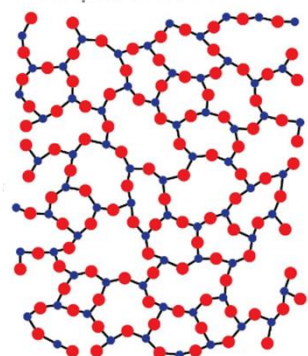


Crystalline Solids



Example: Rock salt

Amorphous Solids



Example: Glass

Pevná látka (vlastnosti)

Homogénne a heterogénne

VS

Izotropné a anizotropné látky

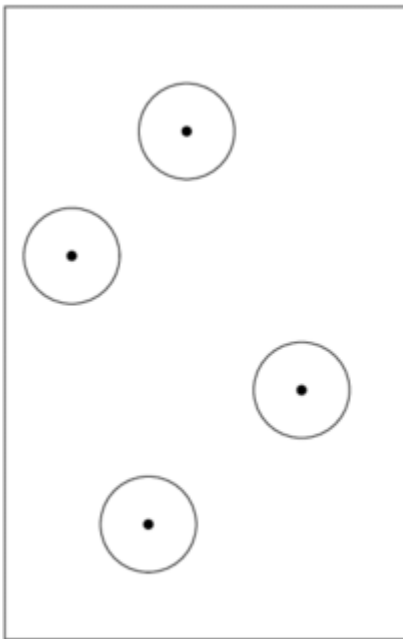
Pevná látka (vlastnosti)

Homogénne a heterogénne

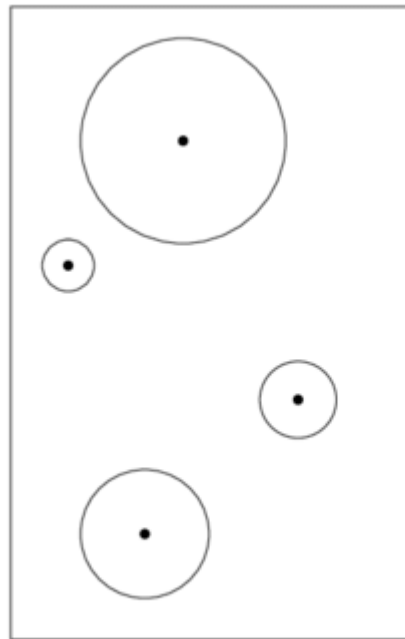
VS

priestorové a smerové vlastnosti látok

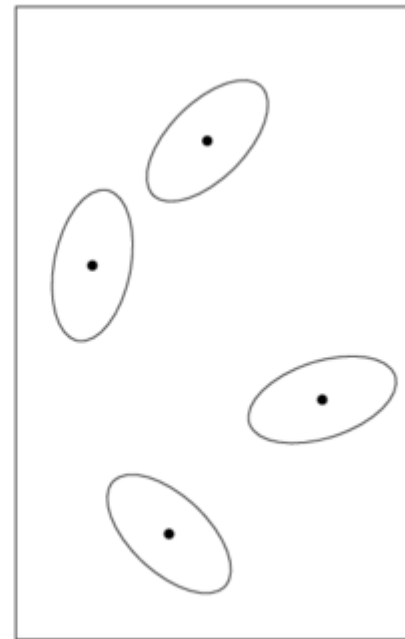
Izotropné a anizotropné látky



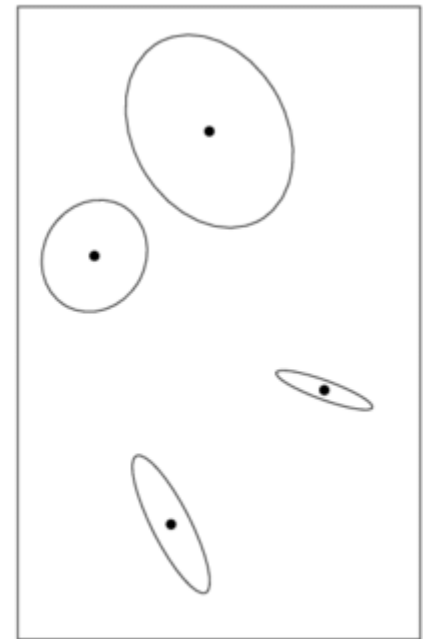
(a)



(b)



(c)

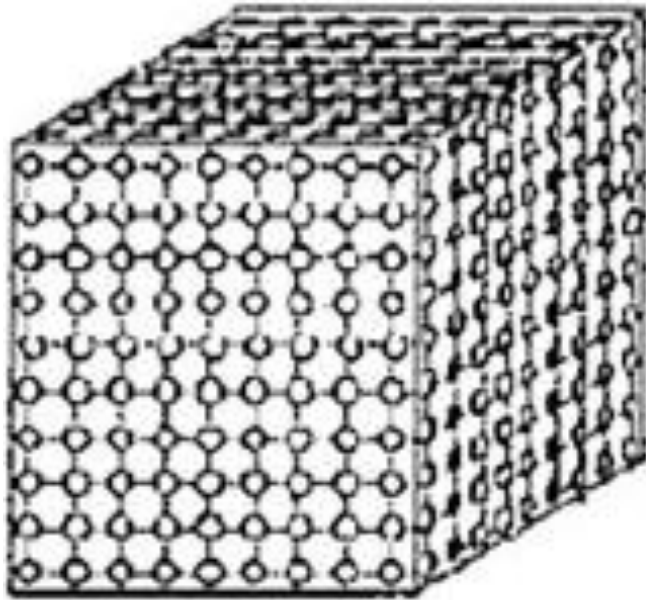


(d)

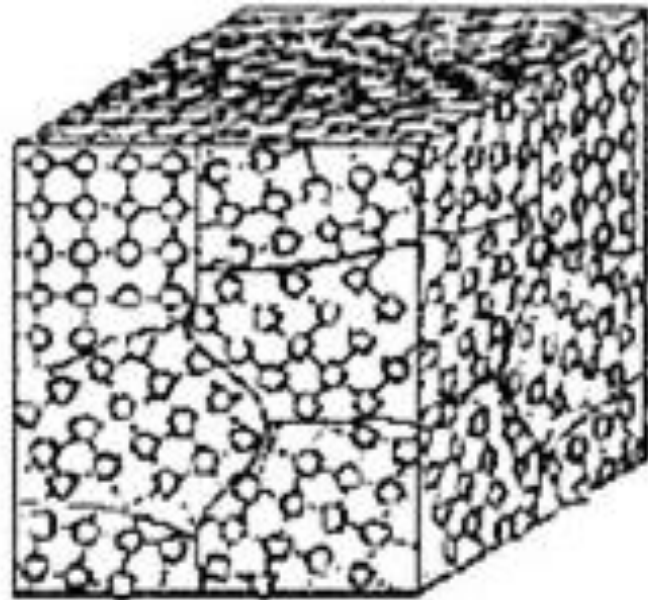
Kryštalické pevné látky

Kryštalické pevné

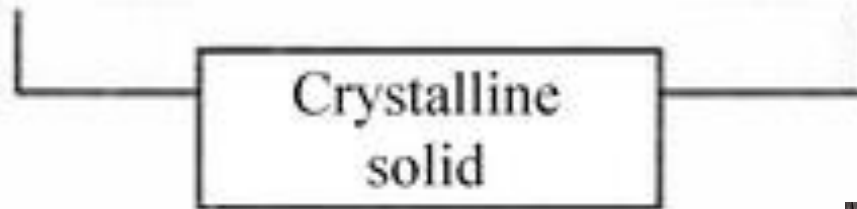
- a) monokryštály - látky v ktorých sa pravidelne opakuje isté rozloženie častíc,
(prejavujú často anizotrópne vlastnosti)
- b) polykryštály - sú to väčšinou väčšie kryštály, skladajúce sa z menších kryštálov (ktoré majú izotrópne vlastnosti).



Single crystal



Polycrystal

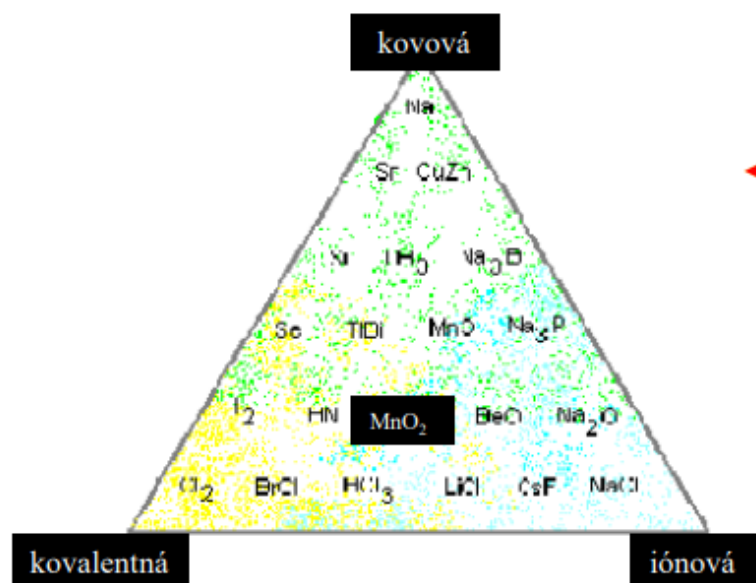


Väzby v pevných látkach:

Existencia pevného skupenstva je daná tým, že – za určitých podmienok! – *usporiadaná sústava častíc* má – ako celok – **nižšiu energiu** ako ich *chaotický zhluk*. Aby sa tak stalo, musia medzi stavebnými časticami látky pôsobiť **väzbové sily**.

Sú **4 základné typy** väzieb v pevných látkach (hoci v nijakej látke nevystupujú „v čistom stave“, vždy sa uplatňujú – v rôznom stupni - všetky):

- ▶ **iónová**
- ▶ **kovalentná**
- ▶ **kovová**
- ▶ **väzba disperznými silami (van der Waalsove sily, vodíkové mostíky)**



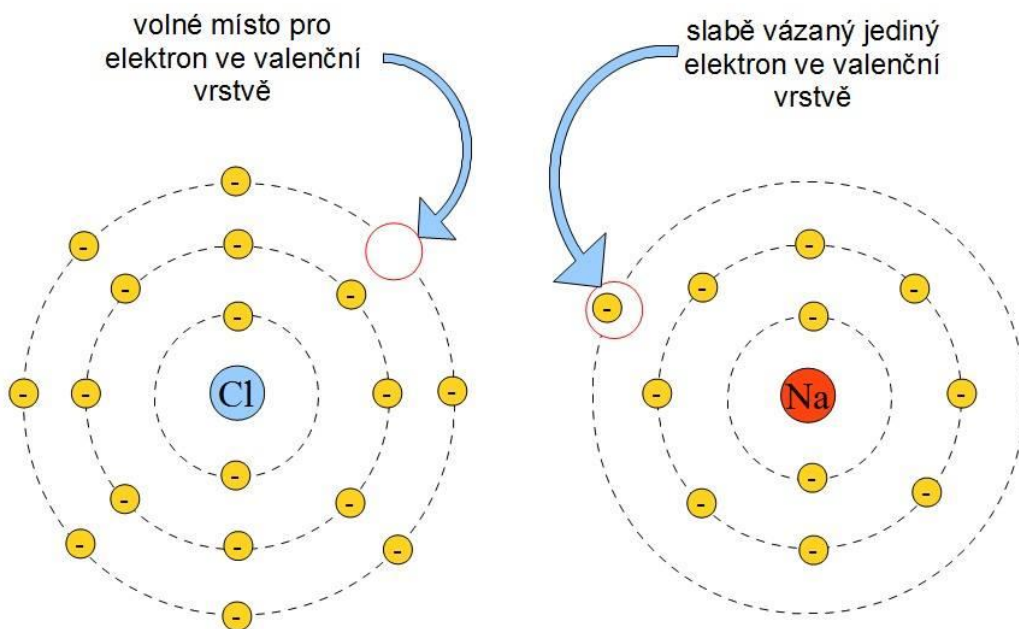
◀ obrázok ukazuje **prechodové typy** väzieb pre rôzne chemické prvky (vľavo) a zlúčeniny. „Čisté“ typy väzieb zodpovedajú vrcholom trojuholníka (pre prvky **Cl** a **I** prirodzene máme na mysli skupenstvo pevné).

Iónová väzba:

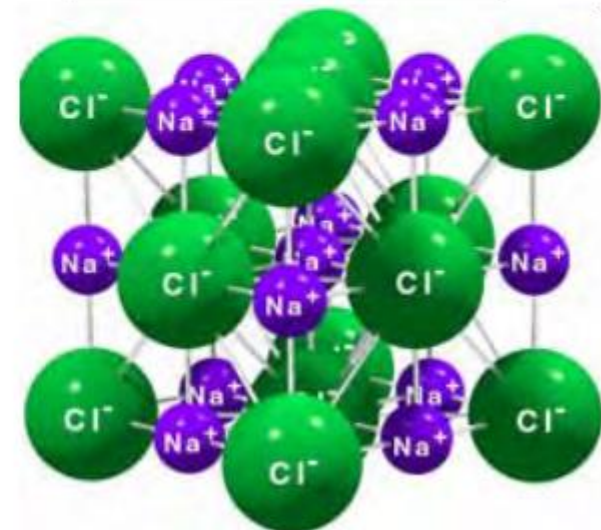
uplatňuje sa **iba** u zlúčenín, najčastejšie prvkov „z opačných koncov periodickej tabuľky“. „školským“ príkladom je *NaCl*.

Vpravo ► je veľmi schematický „rez“ kryštálom *NaCl*. Každý ión je obkolesený v najbližšom susedstve **šiestimi** (pozor, treba uvažovať priestorovo!) **iónmi opačnej polarity**, preto *NaCl* tvorí kubické kryštály.

Látky s väzbami tohto typu sú charakterizované **tvrdosťou**, **vysokým bodom topenia**, **veľmi nízkou tepelnou a takmer nulovou elektrickou vodivosťou** (izolanty).



„Rez“ kryštálom *NaCl*:



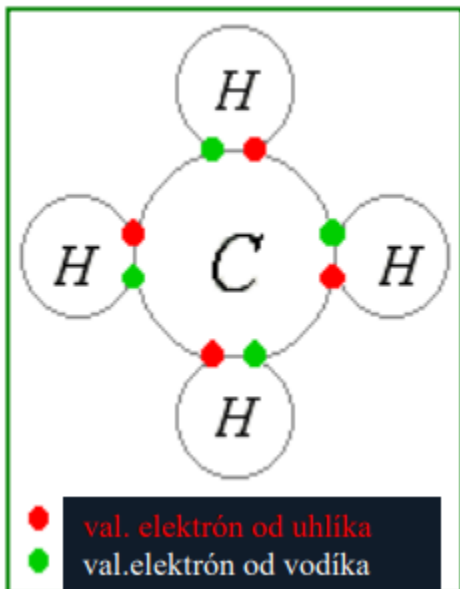
Kovalentná väzba:

(2/4)

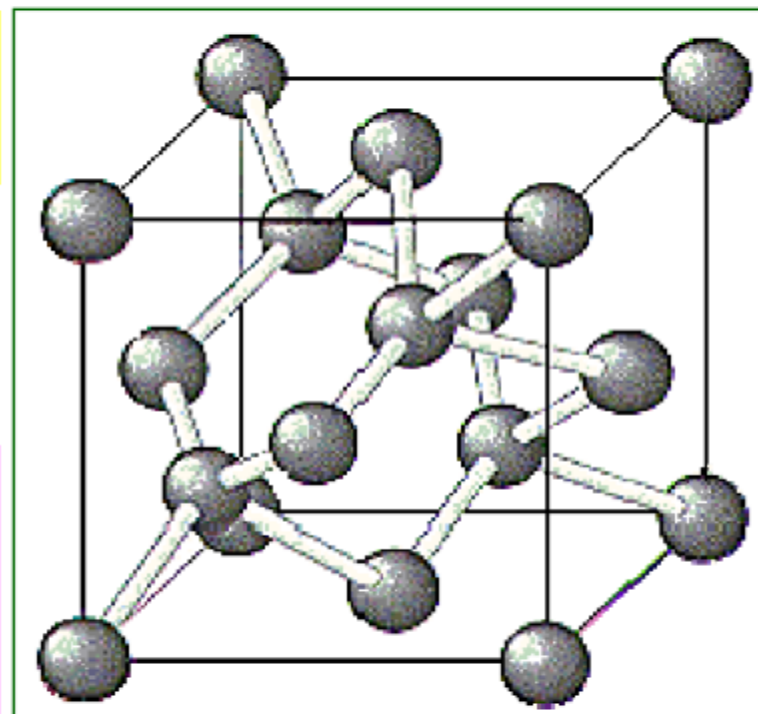
Nastáva u prvkov „zo stredu“ periodickej tabuľky, resp. u zlúčenín prvkov z jej „blízkyh“ skupín. Príklady prvkov: *C* (diamantová štruktúra), *Si*, *Ge* – u zlúčenín: *oxidy*, *sulfidy*, napr. *SiO₂*, *ZnS* a podobné. **Vždy je prítomná väčšia či menšia „prímes“ iónovej väzby.**

Tetraedrická („elementárna bunka“ tvorí štvorsten) ► štruktúra - napr. *diamant*, *kremík*, *α - cín* (sivý) a iné - každý atóm má práve **štyroch** najbližších „susedov“.

▼ Kovalentná väzba môže byť vysvetlená iba pomocou **kvantovej teórie**. Názorne (ale iba približne) si možno predstaviť *zdieľanie elektrónového páru dvomi atómami* (ako keby obaja „obiehali“ okolo dvoch jadier).



◀ Príklad molekuly metánu (*CH₄*). Kovalentnou väzbou sú viazané aj dvojatómové molekuly plynov (*N₂*, *O₂*, *Cl₂* aj *vodík H₂*).

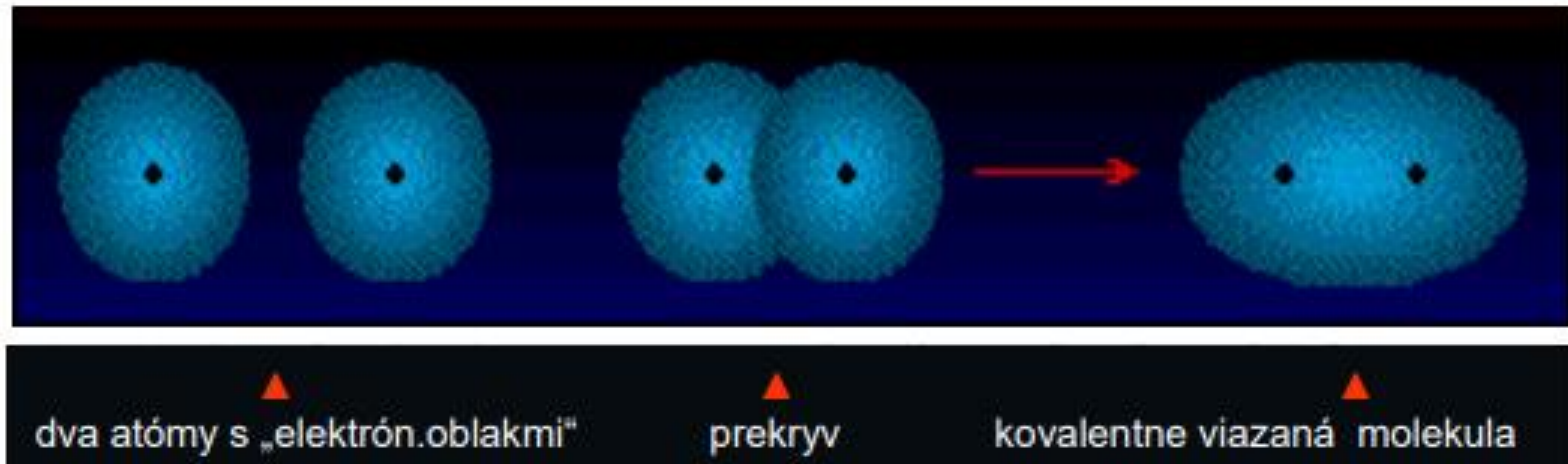


Kovalentne viazané **pevné látky** sa vyznačujú **podobnými vlastnosťami** ako látky viazané iónovo – **tvrdosť**, **vysoký bod topenia**, z elektrického hľadiska sú **izolanty**.

Kovalentná väzba:

Pri tvorení väzby sa elektrónové oblaky nespárených elektrónov navzájom prekryjú a splynú. Spoločný elektrónový oblak sprostredkuje väzbu medzi atómami.

Tým si atómy doplnia počet elektrónov zvyčajne na taký, aký majú atómy najbližšieho vzácneho plynu v periodickej tabuľke.



v kvantovej mechanike sa hovorí o tzv. “prekryve vlnových funkcií”

Kovová väzba:

(3/4)

Je veľmi príbuzná kovalentnej, s tým rozdielom, že valenčné elektróny „nezostávajú“ pri svojich katiónoch, ale vytvoria tzv. „elektrónové more“ a pohybujú sa v kryštálovej mriežke *takmer voľne*.

To sprostredkuje **vysokú elektrickú aj tepelnú vodivosť kovov**.

Sila kovových väzieb sa veľmi líši podľa druhu kovu. Preto aj mechanické a termické vlastnosti kovov sú **veľmi rozdielne**:

na jednom „póle“ napríklad *ortuť (Hg)*:

bod topenia *mínus 38,8 °C*

(pri izbovej teplote kvapalná) ►

bod varu + *629 °C*

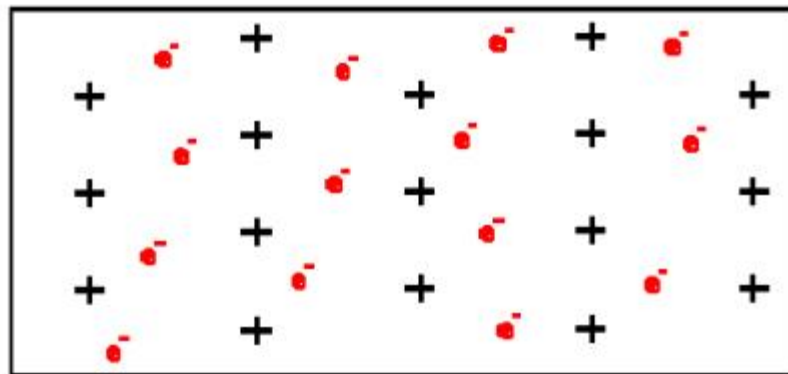
na „druhom póle“ *wolfrám (W)*:

bod topenia + *3422 °C*

bod varu + *5560 °C*

Práve tak mechanické vlastnosti – porovnajme napr. **mäkký hliník** alebo **olovo** s **tvrdým titánom**.

Aj hustoty sú veľmi odlišné – napr. *lítium (Li)* – kov s najnižšou hustotou $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$ (polovica vodnej) oproti *osmiu (Os)* s najvyššou známou hustotou $22,61 \text{ g.cm}^{-3}$.



e^- = delokalizovaný (voľný) elektrón

$+$ = katión kovu



Väzba disperznými silami:

Tieto väzby sú **podstatne slabšie** ako predchádzajúce. Napriek tomu **majú mimoriadnu dôležitosť v biochémií – a pre existenciu života všeobecne**. Navyše veľmi rýchlo klesajú so vzdialenosťou – „**krátkodosahové**“ **sily** (oproti povedzme elektrostatickým – coulombovským).

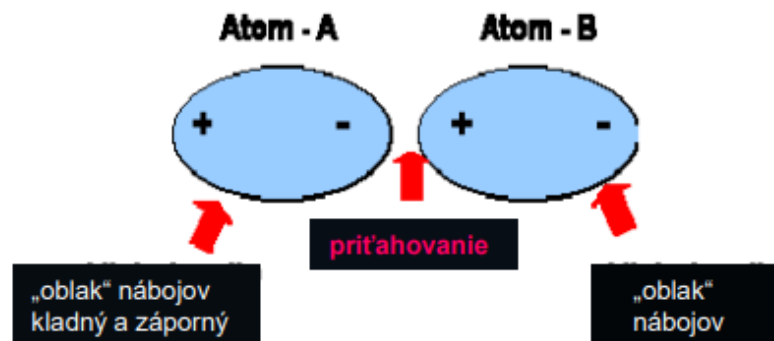
Ich podstatou sú **dipól – dipólové interakcie medzi molekulami**. Atómy, resp. molekuly sú navonok **elektroneutrálne**, ale „ťažiská“ kladného a záporného náboja v nich nemusia byť totožné – **vznikajú elektrické dipóly** (dva rovnaké náboje opačnej polarity v istej vzdialenosti). ▼

Elektrické dipóly môžu byť **indukované** (vybudené prítomnosťou ďalšej blízkej molekuly alebo atómu) alebo **permanentné** (trvale v molekule prítomné).

Prvý prípad – **indukované dipóly - van der Waalsove sily** (označenie **disperzné**, pretože sú zodpovedné za **disperziu svetla** v látkach, čiže zmenu optických vlastností, napr. indexu lomu, s vlnovou dĺžkou svetelného – elektromagnet. žiarenia).

Typické prípady – **inertné plyny v pevnom skupenstve** (veľmi nízke body topenia), **uhlíkovodíky** (napr. parafín), iné molekulárne kryštály. Často viažu zložité **molekuly (organických zlúčenín)**. Sú rozhodujúce pre vlastnosti a štruktúru **termoplastov**.

Druhý prípad (**permanentné dipóly**) – **vodíkové mostíky** (ďalšia str.)

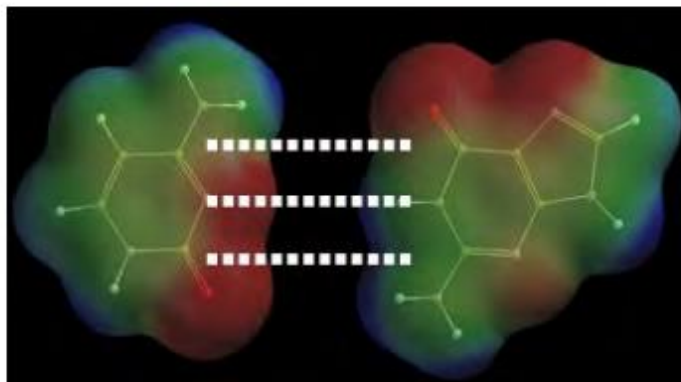


Vodíkové mostíky:

(4/4)

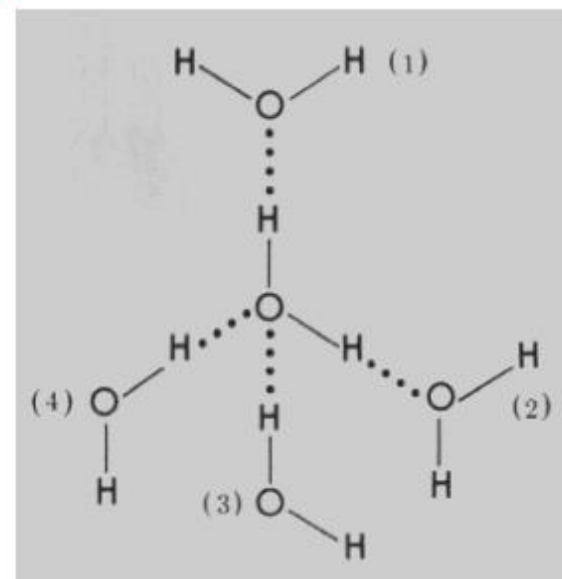
Vodík (máme na mysli ľahký izotop ^1H) je formálne *jednomocný*, ale môže okrem „hlavnej“ väzby byť navyše slabo viazaný na atóm výrazne elektronegatívneho prvku (napr. **O**, **N**, **F**, niekedy **S**). Je teda v istom zmysle „*jeden a pol*“ *mocný*, ako to znázorňuje obrázok napravo ►

Väzby tohto druhu („vodíkové mostíky“) spoluurčujú vlastnosti a štruktúru vody v pevnom aj kvapalnom skupenstve („anomália vody“). Sú mimoriadne dôležité v zložitých bioorganických molekulárnych systémoch (napr. **DNA**, **RNA** ..)



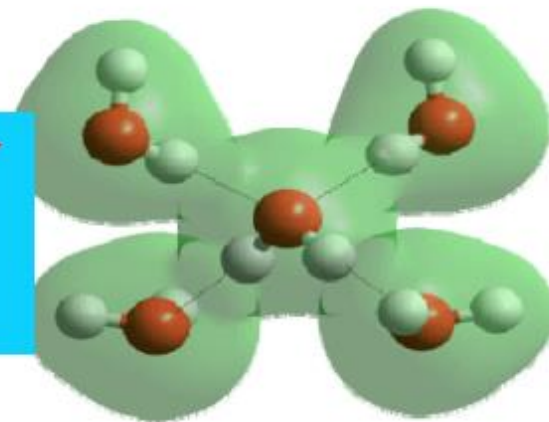
◀ znázornenie väzieb medzi molekulami *aminokyselín* vodíkovými mostíkmi.

To má **zásadný význam** pre štruktúry *enzýmov*, **DNA** a veľa biologicky aktívnych molekúl a ich agregátov.



▲
Väzby cez vodíkové mostíky sú *slabé* – preto **biomolekuly a biopolyméry** strácajú svoje vlastnosti už pri pomerne nízkych teplotách – u bielkovín už okolo + 50 °C dochádza k nevratnej degradácii a strate biologickej aktivity.

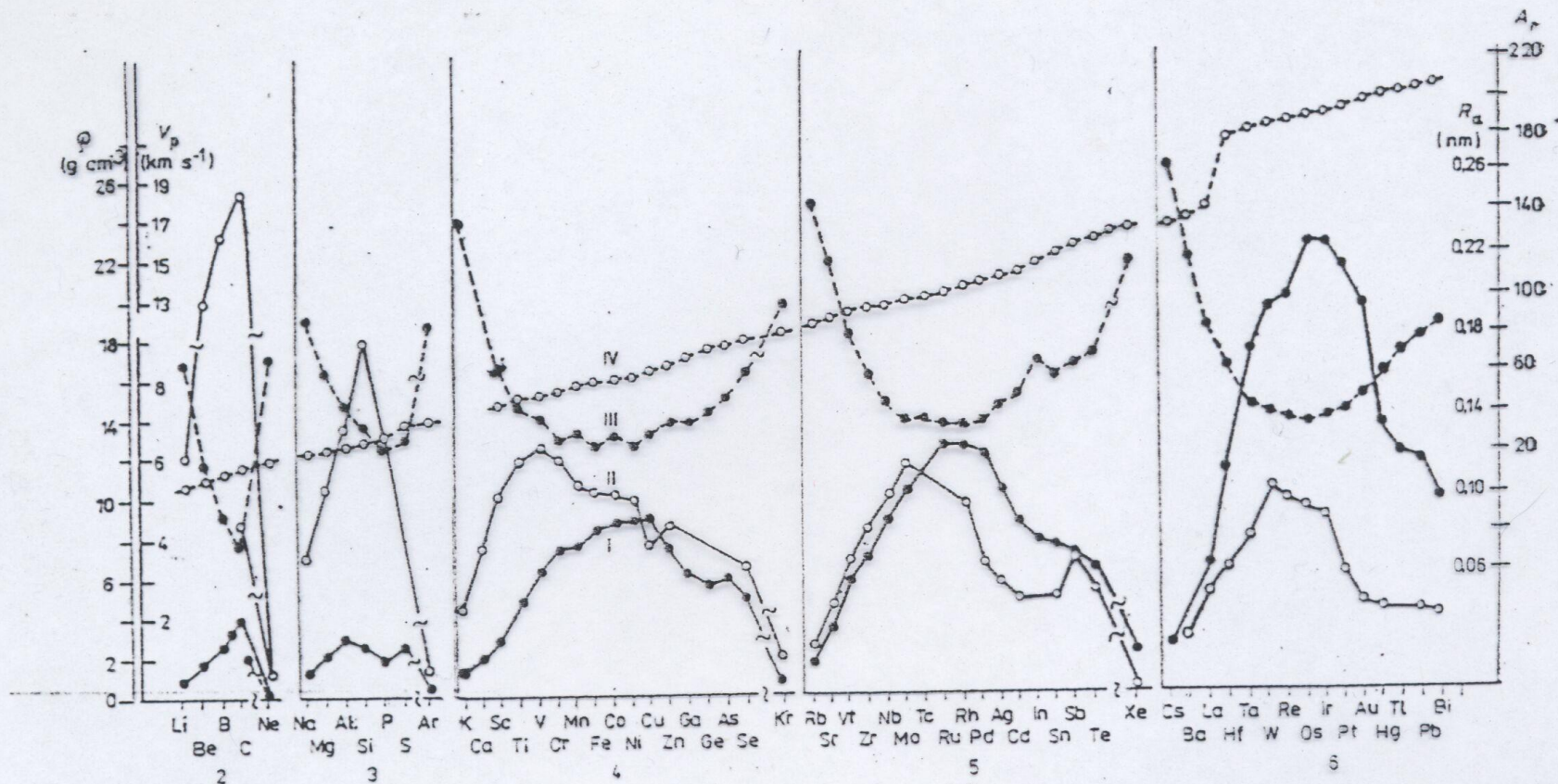
Fragment štruktúry vody (H_2O) ►
červene – atómy kyslíka
svetlé – atómy vodíka
bodkované – „vodíkové mostíky“



Klasifikácia podľa typu (povahy) väzby

Typ	základná (molekulová) jednotka	dominantné sily	typické vlastnosti
ionový	ióny	elektrostatické	vysoká taviteľnosť, tvrdosť, krehkosť
kovalentný	atómy elektronegatív- nych prvkov	chemická väzba	netaviteľnosť (rozklad), extrémna tvrdosť
kovový	atómy elektropozitív- nych prvkov	mobilné elektróny	stredná až vysoká taviteľnosť, deformovateľnosť, elektrická vodivosť, kovový lesk
molekulový	molekuly	van der Waals	nízka-stredná teplota topenia, nízka tvrdosť

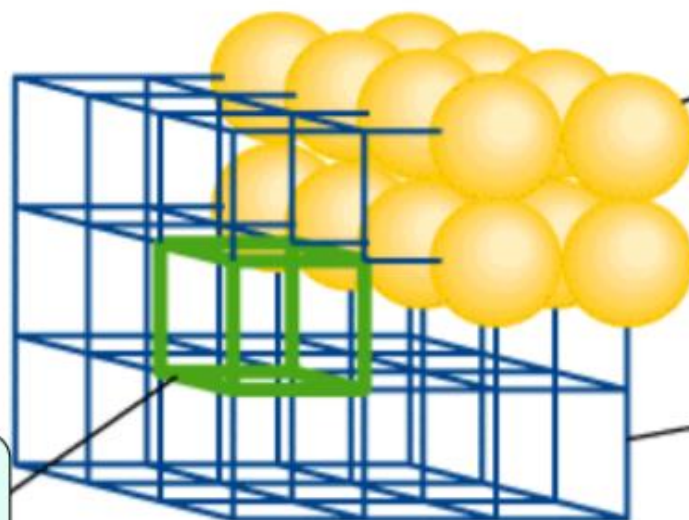
hustoty prvků – vlastnosti, súvislosti



Obr. 2. Závislost fyzikálních vlastností chemických prvků na jejich postavení v periodické soustavě

I — hustota, II — rychlost šíření podélných vln, III — atomový poloměr, IV — poměrná atomová hmotnost; 2 až 6 — periody soustavy prvků (Dortman, Magid 1969)

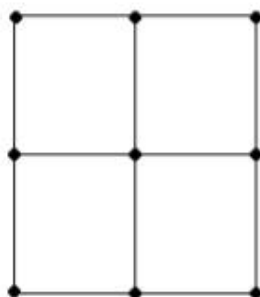
kryštálová štruktúra a kryštálová mriežka



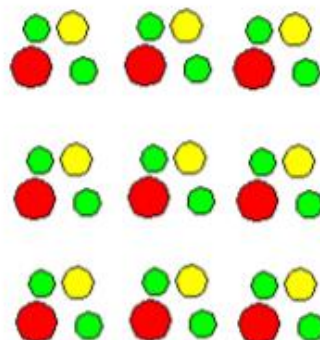
kryštálová štruktúra
- aktuálne usporiadanie
atómov

kryštálová mriežka
-geometrický pojem

**základná
bunka**

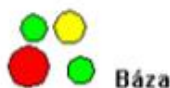


Elementárna
(kryštálová) mriežka



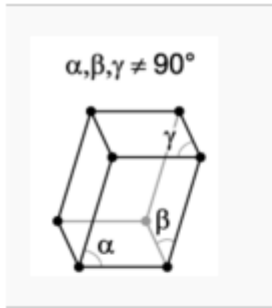
Kryštálová štruktúra (resp. štruktúrna
mriežka)

**uzlové body mriežky
a polohy atómov nie
sú totožné!**
(môžu byť)

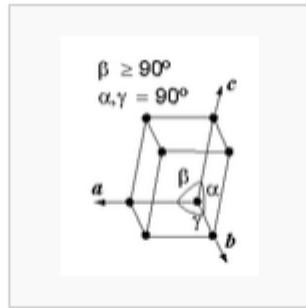


Báza

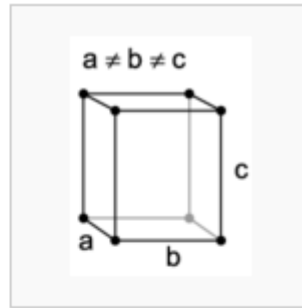
kryštalografické sústavy (mriežky) v mineralógii



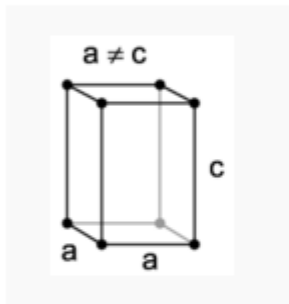
Triklinická sústava



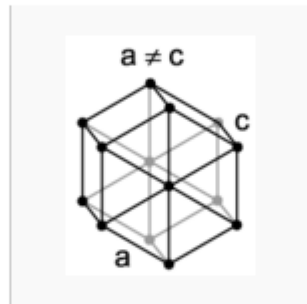
Monoklinická sústava



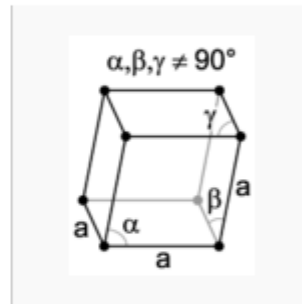
Rombická sústava



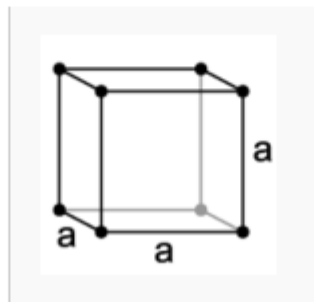
Tetragonálna sústava



Hexagonálna sústava



Trigonálna sústava



Kubická sústava

- triklinická
- monoklinická
- rombická
- tetragonálna
- hexagonálna
- trigonálna
- kubická

Obsah prednášky:

- pevná látka (skupenstvo)
- kryštalické a amorfné látky
- väzbové sily
- kryštalizačné sústavy
- mechanické vlastnosti pevných látok
(Hookov zákon)

mechanické vlastnosti látok

Deformácia:

Deformácia je zmena tvaru (rozmeru, objemu) telesa pôsobením vonkajších síl.

- a) elastická – pružná, dočasná (zmizne ako náhle prestanú pôsobiť vonkajšie sily),
- b) plastická – nepružná, trvalá (nezmizne – pretrváva, aj keď vonkajšie sily prestanú pôsobiť).

Deformácia môže byť spôsobená:

- ťahom,
- tlakom,
- ohybom,
- šmykom,
- krutom,
- alebo ich kombináciou.

Napätie:

Mechanické napätie je stav, ktorý vznikne v telese, ak naň pôsobia účinky síl. Napätie je miera vnútorného rozloženia síl na jednotkovú plochu telesa, ktorá vyrovnáva účinok vonkajšieho zaťaženia, alebo okrajových podmienok pôsobiacich na teleso.

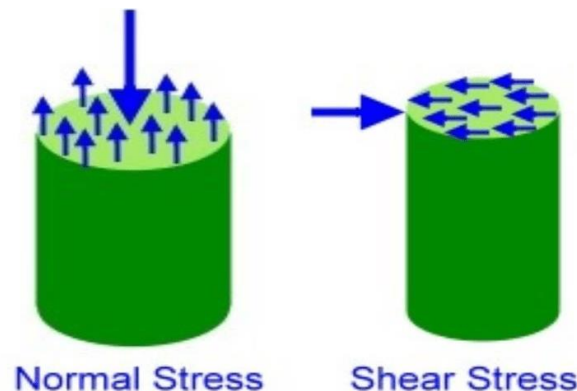
Najčastejšie je spôsobené tlakom alebo ťahom.

Jednotka je identická s jednotkou tlaku [Pa].

Je to tzv. tenzorová veličina (“viacrozmerný vektor”).

Podľa smeru pôsobenia poznáme:

- **normálové napätie** (σ): kolmé k skúmanému prierezu v telese,
- **tangenciálne napätie** (τ): rovnobežné so skúmaným prierezom.



Hookov zákon:

V najjednoduchšom prípade (jednoosové namáhanie) je vzťah medzi mechanickým napätím (σ) a spôsobenou deformáciou (ε) daný tzv. **Hookovým zákonom**:

$$\sigma = E \varepsilon$$

kde σ je normálové napätie (Pa), ε je relatívne predĺženie, E je Youngov modul pružnosti v ťahu, ktorý je charakteristickou konštantou pre rôzne látky (GPa).

Pre relatívne predĺženie ε platí: $\varepsilon = \Delta l / l_0$,
 $\Delta l = l - l_0$ znamená celkové predĺženie objektu pri deformácii;
 l_0 je rozmer pred deformáciou, l je nový rozmer po deformácii.
Relatívne skrátenie η je definované podobne.

Hookov zákon:

Vzťah medzi relatívnym skrútením (η) a relatívnym predĺžením (ε) je daný jednoduchou rovnicou:

$$\eta = \frac{1}{m} \varepsilon = \frac{\sigma}{mE} = \nu \frac{\sigma}{E}$$

kde η je Poissonova konštanta, ν je Poissonovo číslo.
(Poissonovo číslo je prevrátená hodnota Poissonovej konštanty).

Krivka deformácie:

Ukazuje prechod medzi pružnou a plastickou deformáciou.

0-A: **pružná deformácia**

(Hookov zákon),

A - medza úmernosti,

B - medza pružnosti,

A-B: zóna dopružovania,

C - medza klzu (priet'ážnosti)

dochádza ku náhlemu predĺženiu,

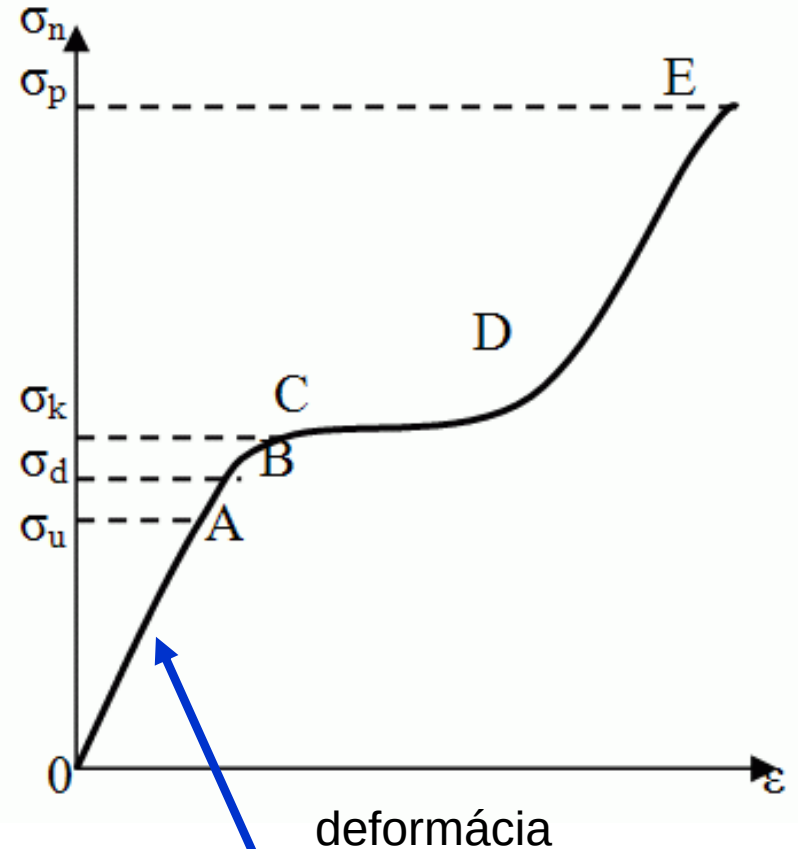
B-E: **plastická deformácia**,

C-D: tečenie materiálu,

D-E: **spevnenie materiálu**,

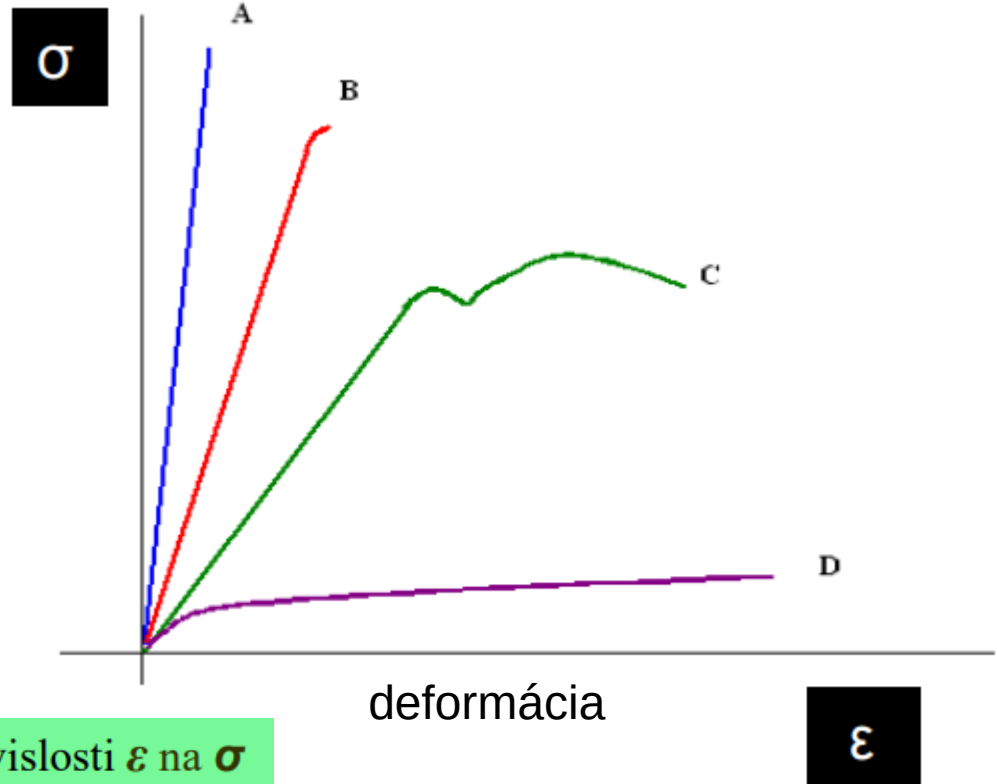
E - medza pevnosti.

napätie



v tejto časti krivky
platí Hookov zákon

Krivka deformácie: napätie



◀ Pre rôzne materiály majú grafy závislosti ϵ na σ veľmi odlišné priebehy:

A – materiál pevný, ale veľmi krehký

B – pevný materiál, viac deformovateľný ako **A**

C – typické pre bežné konštrukčné materiály

D – materiál mäkký, poddajný