

**Vodík**

# Historie

**1671 – Robert Boyle** – uvolnění vodíku  
rozpuštěním Fe v HCl nebo  $\text{H}_2\text{SO}_4$

**1766 – Henry Cavendish** – podrobný popis  
vlastností

**1932 – H. C. Urey** – objev deuteria

**1934 – M.L.E. Oliphant, P. Harteck  
a E. Rutherford** tritium získáno  
bombardováním deuteria

# Vlastnosti vodíku

Nejlehčí prvek i nejlehčí plyn

Vyskytuje se hlavně ve sloučeninách (voda a uhlovodíky), volný pouze v horních vrstvách atmosféry a v ropných plynech

## Izotopy

$^1\text{H}$  protium

$^2\text{H}$  deuterium (D, obsah 0,016 hmotn. %)

$^3\text{H}$  tritium (T, radioaktivní,  $t_{1/2} = 12,4$  roku)

# Vlastnosti vodíku

## Deuterium

**těžký vodík, význam jako moderátor v jaderných reaktorech (těžká voda, b.v. 104 °C), velký význam v budoucnosti jako jaderné palivo při jaderné syntéze**

## Tritium

**vzniká jadernými reakcemi (reaktory, jaderné bomby, horní vrstvy atmosféry)**

# Vlastnosti vodíku

	H <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>
Bod tání [K]	13,96	18,73	20,62
Bod varu [K]	20,39	23,67	25,04
Kritická teplota [K]	33,19	38,35	40,6
Kritický tlak [MPa]	1,315	1,665	1,834

# Vlastnosti vodíku

**Molekula  $H_2$**  velmi malá, proniká různými materiály, vazba stabilní, proto je vodík relativně málo reaktivní

## **Přímá reakce**

s  $F_2$  i při  $-240\text{ }^\circ\text{C}$

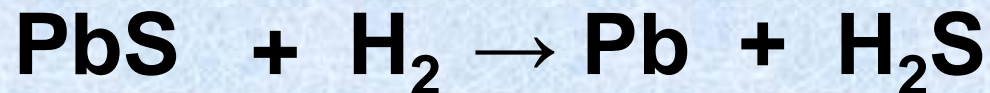
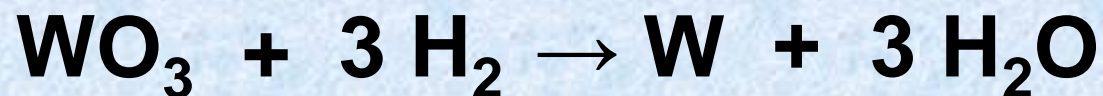
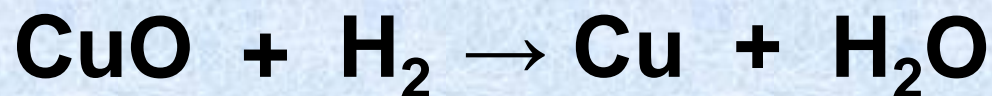
s  $O_2$  nebo  $Cl_2$  až po iniciaci (zapálení, katalyzátory, např. Pt čerň)

s  $N_2$  až při  $400\text{ }^\circ\text{C}$  (výroba amoniaku)

# Vlastnosti vodíku

## Redukční vlastnosti

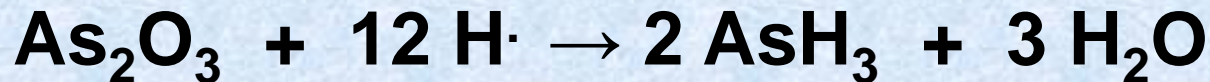
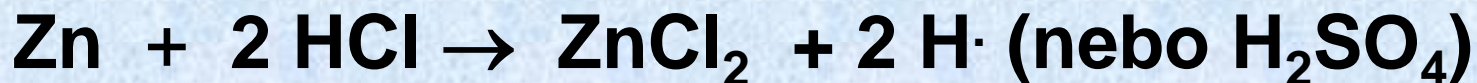
s oxidy a sulfidy kovů



# Atomární vodík

**Velmi silné redukční vlastnosti**

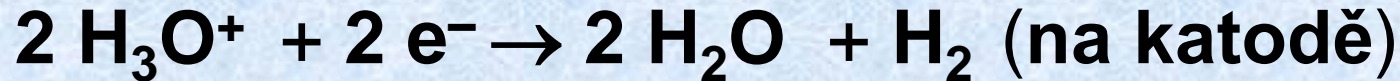
**vzniká při průchodu molekuly vodíku elektrickým obloukem nebo při reakci kovu s kyselinou ( $t_{1/2} = 0,3 \text{ s}$ )**



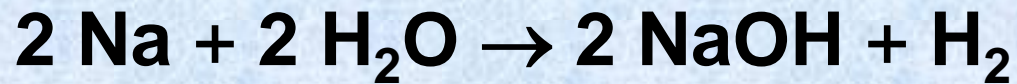


# Příprava vodíku

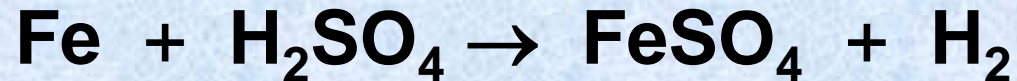
- **Elektrolýza vody**



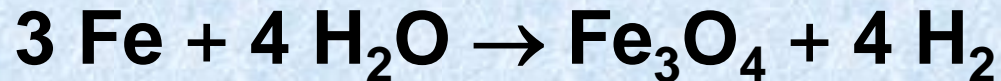
- **Reakce alkalických prvků s vodou**



- **Reakce neúšlechtilých kovů s neoxidujícími kyselinami**

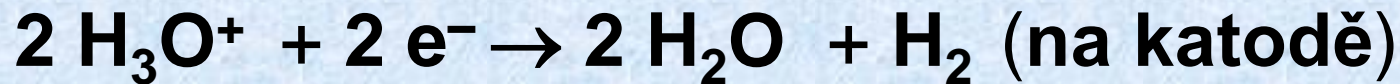


- **Reakce neúšlechtilých kovů s vodní parou**

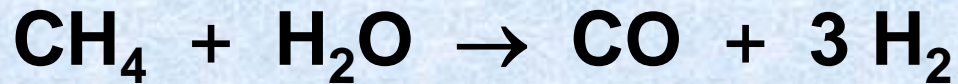


# Výroba vodíku

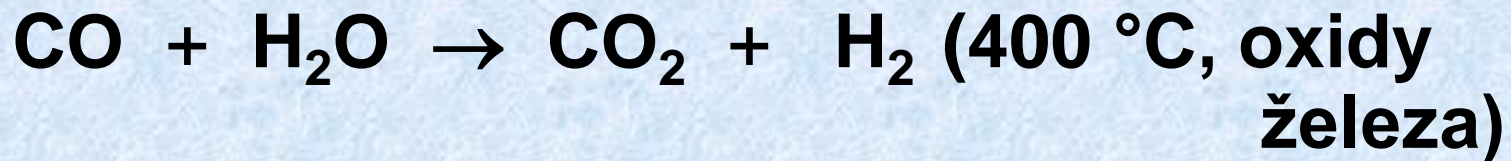
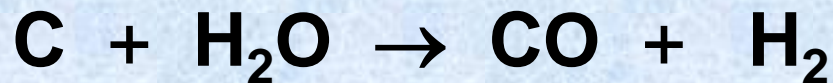
- **Elektrolýza solanky** (vedlejší produkt vedle  $\text{Cl}_2$ )



- **Štěpení krakovacích plynů** (900 °C, Ni)

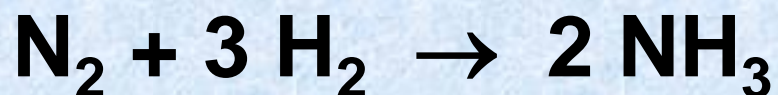


- **Výroba vodního plynu**

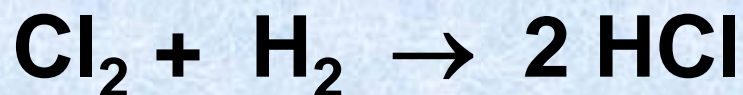


# Využití vodíku

- **Výroba amoniaku**



- **Výroba chlorovodíku**



- **Chemické výroby**

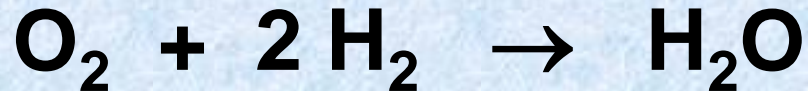
organická chemie, potravinářství

hydrogenace nebo hydroformylace

( $\text{CO} + \text{H}_2$ )

# Využití vodíku

- Autogenní řezání



- Výroba kovů

velmi čisté kovy W, Mo

- Palivo pro spalovací motory
- Palivové články

# ALKALICKÝ PALIVOVÝ ČLÁNEK

Elektrický proud

Přívod vodíku

Přívod kyslíku

$H_2$

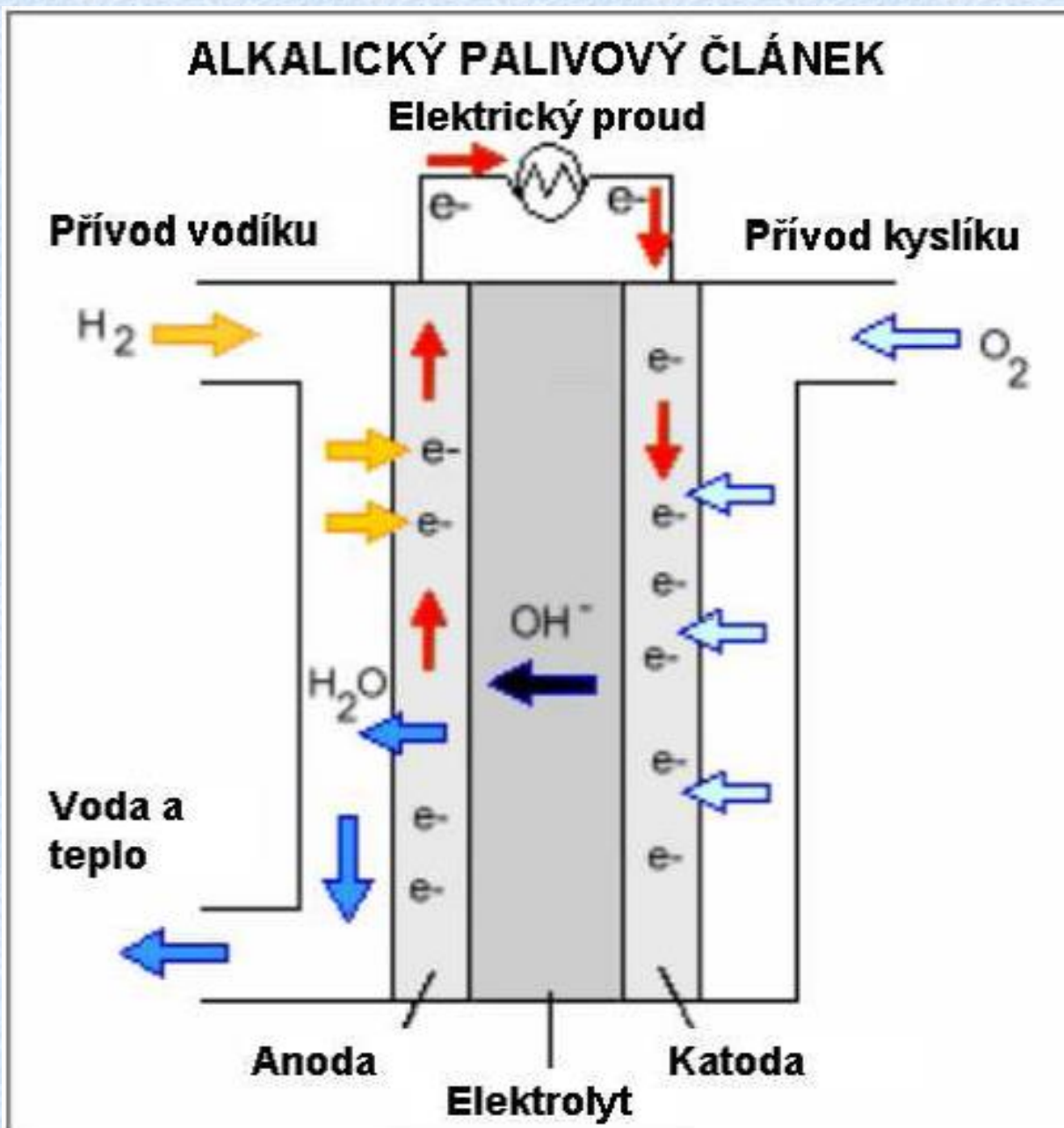
$O_2$

Voda a teplo

Anoda

Elektrolyt

Katoda



# Hydridy

**Binární sloučeniny vodíku se silně  
elektropozitivními kovy**

**jediné sloučeniny s vodíkem  $H^-$**

**LiH – při elektrolýze taveniny se  $H_2$   
vylučuje na anodě**

**výroba přímou syntézou z prvků**

# Hydridy

**Hydridy alkalických kovů a kovů alkalických zemin**

**Dobře definované sloučeniny, průmyslově se vyrábějí ve značném množství pro redukci v nevodném prostředí**

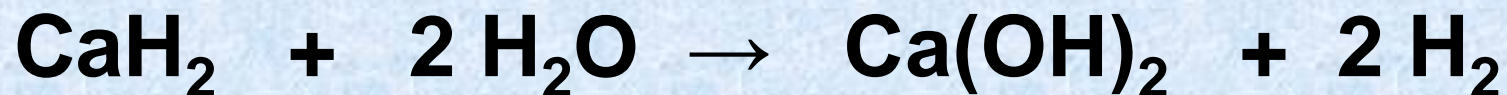
**Pevné iontové látky, poměrně stabilní mimo reakce s vodou**

# Hydridy

**LiH, NaH, CaH<sub>2</sub>**

**hydridokomplexy**

**LiAlH<sub>4</sub>, NaBH<sub>4</sub>**





# Hydridy

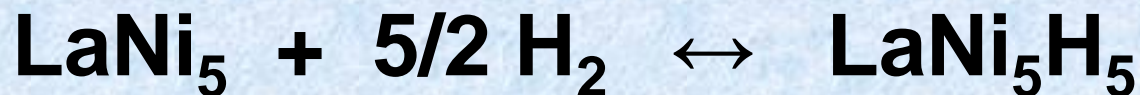
## Hydridy přechodných kovů

většinou nestechiometrické sloučeniny,

vodík se rozpouští jako hydrid, který je intersticiální, nejlépe rozpouštějí vodík

Pd (až 800 x objem H<sub>2</sub>), Pt, Ni a La

hydrogenační katalyzátory, vodíkové baterie



# Kovalentní hydridy

malý rozdíl elektronegativit, nelze mluvit  
o klasickém hydridu (s aniontem  $\text{H}^-$ )

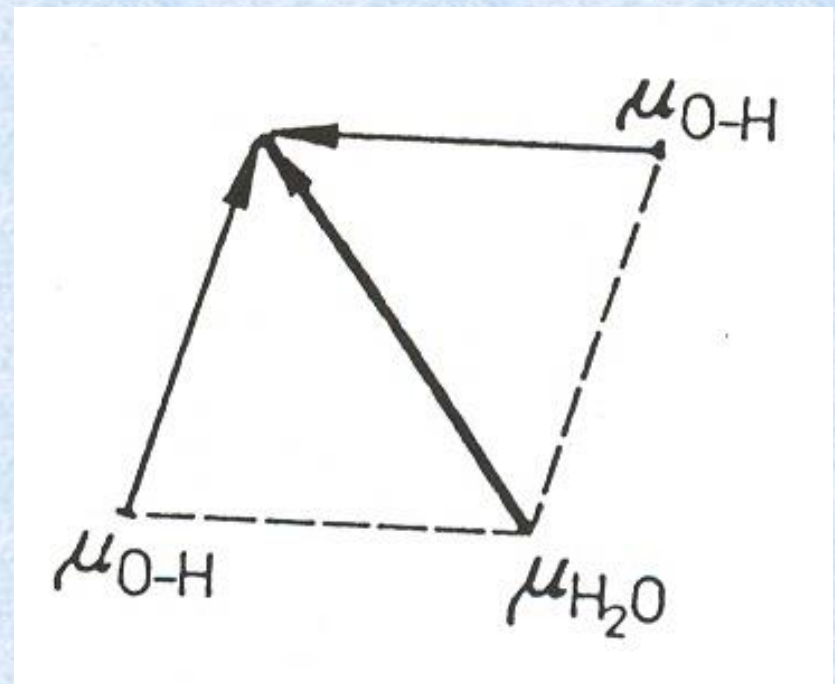
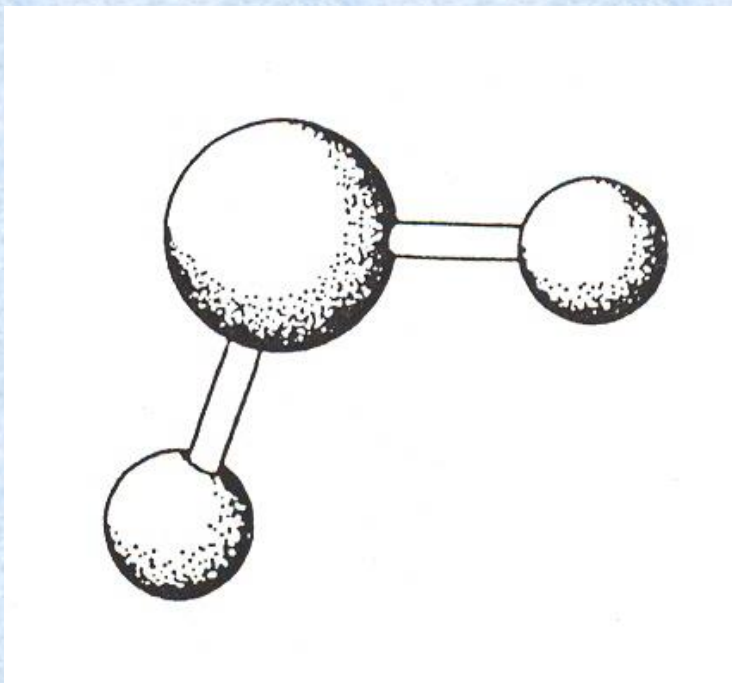
typické kovalentní sloučeniny  
s definovanými molekulami

silany, borany

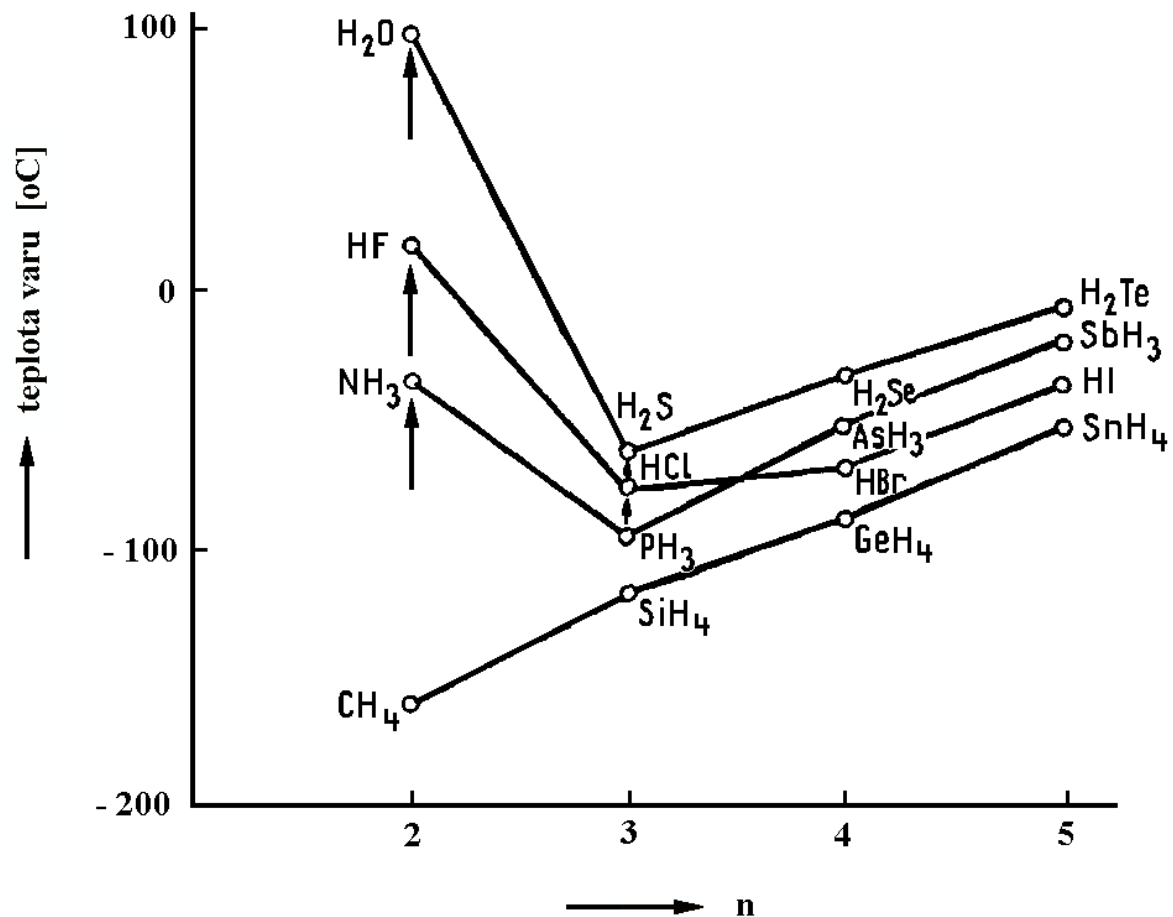
$\text{AsH}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{SnH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$

# Voda

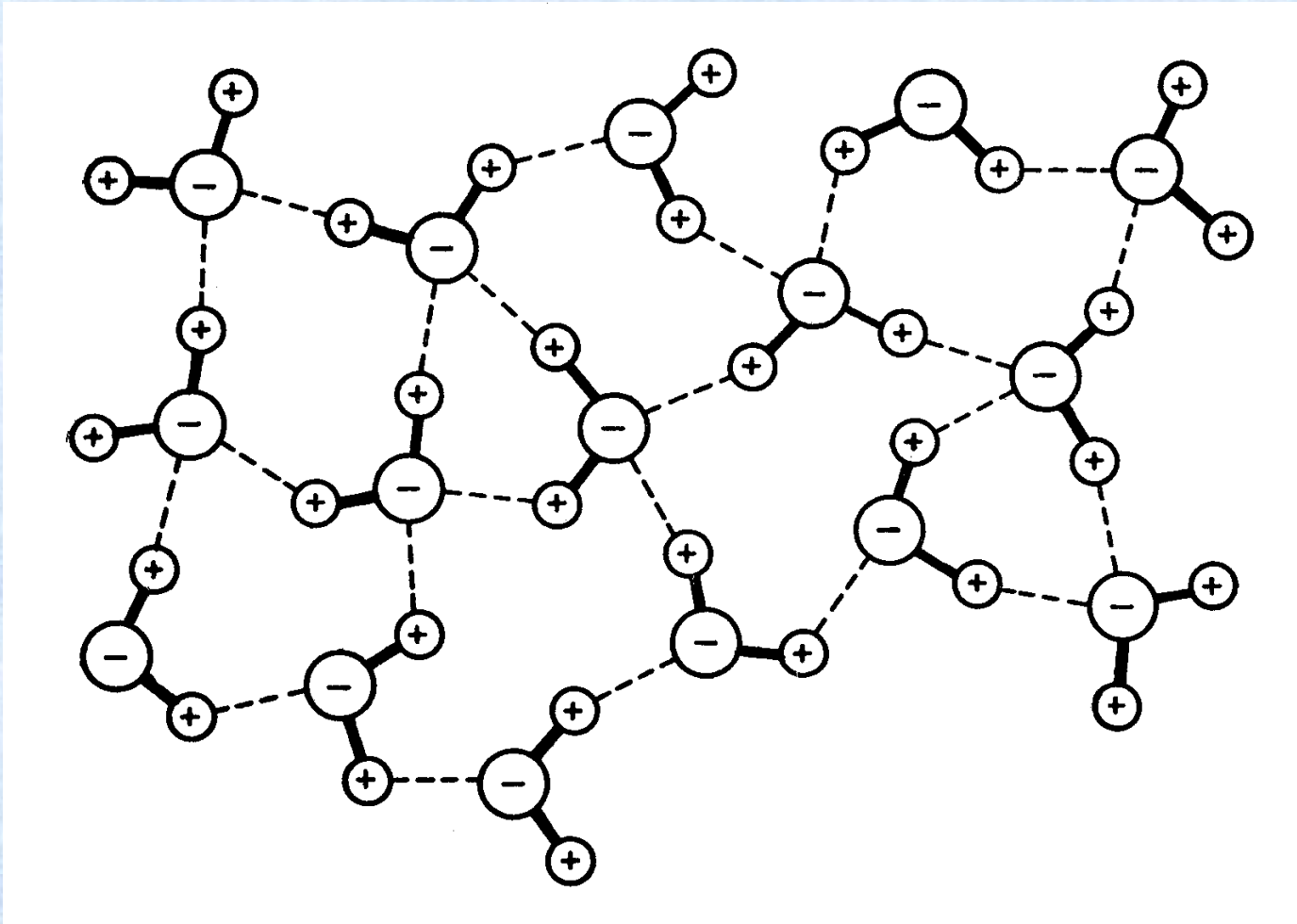
lomená molekula, kovalentní polární vazby  
H – O (rozdíl elektronegativit 1,3), úhel  
 $104,5^\circ$ , dipólmoment  $6,12 \cdot 10^{-30} \text{ C m}$   
(HCl  $3,57 \cdot 10^{-30} \text{ C m}$ )



# Teplota varu vody



# Intermolekulární můstky ve vodě (jak v kapalném, tak v pevném stavu)



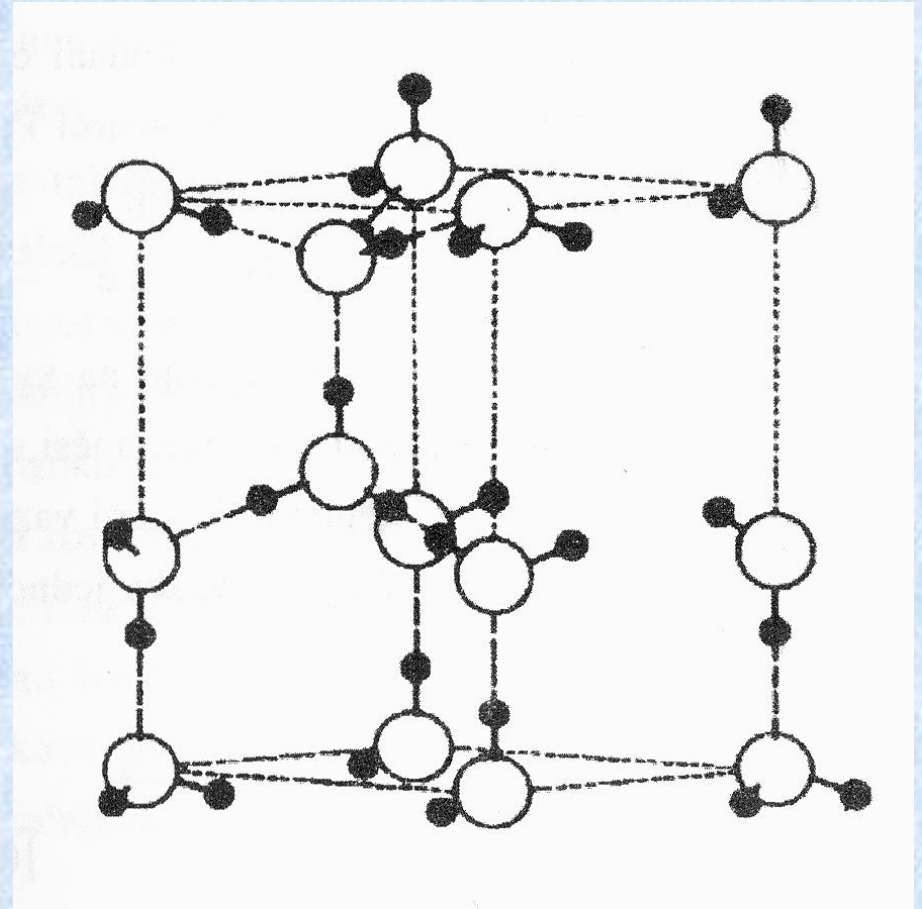
# Led I

**hustota nižší než kapalná voda, souvisí  
s anomálií hustoty vody, při nižších  
teplotách nebo vyšších tlacích dalších  
8 krystalických forem**

# Led I

**O – H 0,101 nm**

**O ··· H 0,175 nm**



# Voda v přírodě

slaná voda moře a oceány	97,3 %
polární ledovce	2,0 %
spodní voda	0,6 %
zbytek (neslaná jezera, řeky)	0,1 %

**Hlavní příměsi:** hydrogenuhličitany, chloridy a sírany Na, Ca, Mg, Fe a Mn, pevné nečistoty, organické látky



# Použití vody

- **pitná voda (optimální obsahy Ca, Mg a Na)**
- **technická voda (co nejnížší obsahy příměsí)**
- **voda pro vysokotlakové kotle**  
**čistota 99,999998 % (0,02 ppm nečistot)**

# Tvrdá voda

- sráží mýdlo
- jejím vařením vzniká tzv. kotelní kámen
- je nevhodná pro praní a průmyslové účely

Tvrdost vody je způsobena rozpuštěnými solemi  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$

## **Přechodná (karbonátová) tvrdost vody (TK)**

rozpuštěné hydrogenuhličitanu  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$   
a  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , zahříváním se rozkládají  
a vylučují se sraženiny  $\text{CaCO}_3$  a  $\text{MgCO}_3$   
(popř.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ )

## **Trvalá (nekarbonátová) tvrdost vody (TN)**

ostatní rozpustné vápenaté a hořečnaté soli

# Celková tvrdost vody (TC)

součet obou tvrdostí       $TC = TK + TN$

**Kvantitativní vyjádření**       $\text{mmol dm}^{-3}$

stupně německé ( $^{\circ}\text{N}$ ): 1  $^{\circ}\text{N}$  odpovídá 1 mg  
CaO (0,87 mg MgO) ve 100 ml vody

Podle tvrdosti rozlišujeme vodu měkkou  
(0 – 8  $^{\circ}\text{N}$ ) a vodu tvrdou (nad 8  $^{\circ}\text{N}$ )

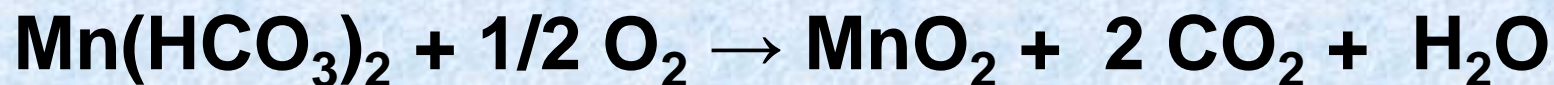
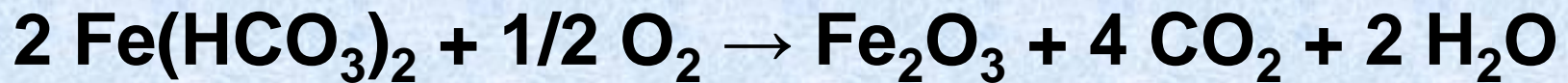
# Čistění vody

**Odstranění plovoucích příměsí**

**vyvločkování přidavkem solí  $\text{Al}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  a poté  
filtrací**

**Odstranění solí železa a manganu**

**soli  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$  se převedou provzdušňováním  
na nerozpustné oxidy, které se odstraní  
následnou filtrací**



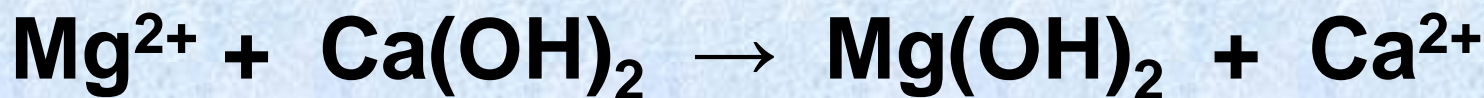
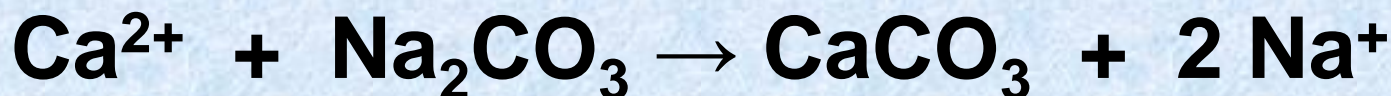
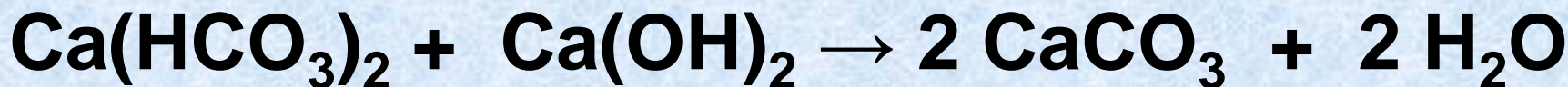
# Změkčování vody

převedením rozpustných solí na nerozpustné (vysrážením) a odfiltrování sraženiny, maskováním nebo iontovou výměnou

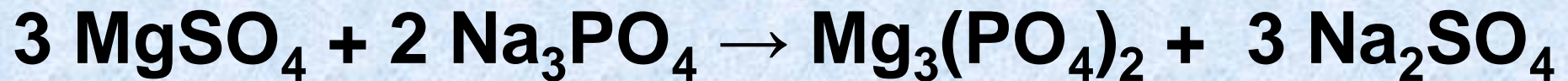
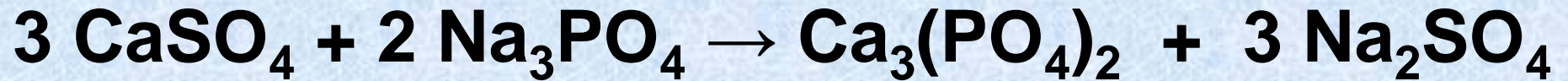
## 1) varem

jen hydrogenuhličitany

## 2) sodou a vápnem



### 3) fosforečnanem sodným



### 4) komplexony

Tvorba rozpustných, ale inertních chelátů

$\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$

## **5) iontoměniče**

### **a) katexový způsob**

**výměna kationtů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  z vody  
za ionty  $\text{Na}^+$  (popř.  $\text{H}^+$ ) na katexech**

### **b) demineralizace**

**postupně katexy a anexy, úplné  
odstranění kationtů a aniontů**



# Výroba čisté vody

1) destilace

2) iontově výměnné techniky

**katexy a anexy**

3) reverzní osmóza

**hyperfiltrace, výroby až 400 tis. tun  
vody za den (Yuma, USA)**