

# Chalkogeny

# O, S, Se, Te, Po

The Chalcogens	
8 O 15.9994	$1s^2, 2s^2, 2p^4$
16 S 32.064	$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^4$
34 Se 78.96	$[\text{Ar}], 4s^2, 3d^{10}, 4p^4$
52 Te 127.60	$[\text{Kr}], 5s^2, 4d^{10}, 5p^4$
84 Po (210)	$[\text{Xe}], 6s^2, 4f^{14}, 5d^{10}, 6p^4$

Směrem od nejlehčích k nejtěžším chalcogenům:

- roste at. poloměr,
- klesá IE,
- klesá elektronegativita,
- roste kovový charakter,
- rostou body tání (s výjimkou Po)

**Po** = radioaktivní

Kapalný O<sub>2</sub>



O



S



Se



Te

Property	Oxygen	Sulfur	Selenium	Tellurium	Polonium
atomic symbol	O	S	Se	Te	Po
atomic number	8	16	34	52	84
atomic mass (amu)	16.00	32.07	78.96	127.60	209
valence electron configuration*	$2s^2 2p^4$	$3s^2 3p^4$	$4s^2 4p^4$	$5s^2 5p^4$	$6s^2 6p^4$
melting point/boiling point (°C)	-219/-183	115/ 445	221/685	450/988	254/962
density (g/cm <sup>3</sup> ) at 25°C	1.31 (g/L)	2.07	4.81	6.24	9.20
atomic radius (pm)	48	88	103	123	135
first ionization energy (kJ/mol)	1314	1000	941	869	812
normal oxidation state(s)	-2	+6, +4, -2	+6, +4, -2	+6, +4, -2	+2 (+4)
ionic radius (pm) <sup>†</sup>	140 (-2)	184 (-2), 29 (+6)	198 (-2), 42 (+6)	221 (-2), 56 (+6)	230 (-2), 97 (+4)
electron affinity (kJ/mol)	-141	-200	-195	-190	-180
electronegativity	3.4	2.6	2.6	2.1	2.0

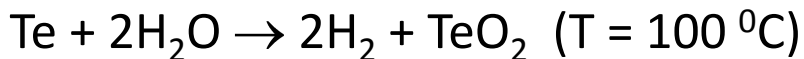
\*The configuration shown does not include filled *d* and *f* subshells.

<sup>†</sup>The values cited for the hexacations are for six-coordinate ions and are only estimated values.

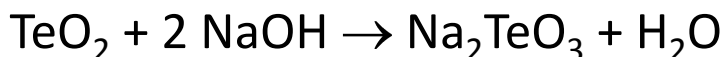
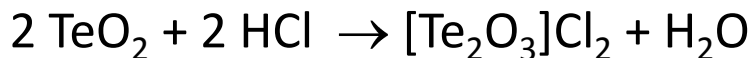


Prvky se chovají především jako nekovy, u **Se** a **Te** částečný polokovový charakter, u **Po** výrazně kovový charakter.

**Telur** má již výrazný elektropozitivní charakter, např. reakce s H<sub>2</sub>O:



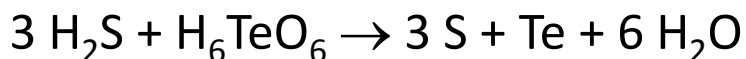
TeO<sub>2</sub> - *amfoterní* oxid:



**Polonium** má ještě výraznější elektropozitivní charakter, nejdůležitější oxidační čísla: +VI, +IV a -II

Ox. číslo VI: důležité pro kyselinotvorné oxidy typu MO<sub>3</sub>, kyseliny H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> a H<sub>6</sub>TeO<sub>6</sub>

- stálost ox.čísla klesá podél skupiny, proto H<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> a H<sub>6</sub>TeO<sub>6</sub> se chovají jako ox. činidla:



$\text{H}_2\text{SO}_4$  a  $\text{H}_2\text{SeO}_4$  - silné kyseliny, koordinace 4 atomů kyslíku kolem centrálního chalkogenu,

$\text{H}_6\text{TeO}_6$  - slabá kyselina, stálý koordinační oktaedr (6  $\text{OH}^-$  skupin kolem velkého atomu Te), obtížná disociace  $\text{H}^+$

Ox. číslo IV: ve čtyřmocenství se projevuje S jako redukční činidlo, Se jako mírné oxidační činidlo (vzhledem k elementárnímu stavu) nebo mírné redukční činidlo (vzhledem k selenovým sloučeninám),

Z jodidů znám pouze  $\text{TeI}_4$  (lehčí chalkogeny by způsobily oxidaci  $\text{I}^-$  na  $\text{I}_2$ )

Halogenidy čtyřmocných těžkých chalkogenů se chovají jako Lewisovy kyseliny, snadný vznik komplexních halogenidů typu  $[\text{M}^{\text{IV}}\text{X}_6]^{2-}$  a  $[\text{M}^{\text{IV}}\text{X}_5]^-$  = potvrzení stálosti čtyřmocenství (k tvorbě komplexu dochází zahříváním tetrahalogenidů s halogenidy alk. kovů)

Ox. číslo -II: charakteristické pro kyslík (základní ox. číslo), u ostatních chalkogenů má význam menší

- základní typy sloučenin: hydridy a chalkogenidy

Vazebné poměry v chalkogenidech závisejí na elektronegativitě příslušného kovu a chalkogenu.

- u silně elektropozitivních kovů (alk. kovy, kovy alk. zemin) se silně elektronegativní chalkogeny (O, S) se tvoří krystalové struktury s iontovým charakterem
- s klesajícím rozdílem elektronegativit ubývá iontový charakter ve prospěch kovalentního charakteru (chemie chalkogenů = především chemie kovalentních sloučenin)

U chalkogenů dochází k **řetězení atomů**:

- hlavně u **síry** ve sloučeninách s vodíkem, halogeny (např. v chlorsulfanech  $S_nCl_2$ ,  $n =$  až 100), v kyslíkatých kyselinách, u samotné síry v kapalném stavu řetězce až  $10^6$  atomů síry
- daleko méně se projevuje řetězení u ostatních chalkogenů
- **kyslík** tvoří ozon, peroxosloučeniny s funkční skupinou -O-O-, nejdelší řetězec nalezen u  $O_4F_2$
- **selen** tvoří  $Se_2Cl_2$

# Kyslík

= plynný chemický prvek, tvořící druhou hlavní složku zemské atmosféry. Je biogenním prvkem a jeho přítomnost je nezbytná pro existenci většiny živých organismů na této planetě

Na Zemi je kyslík velmi rozšířeným prvkem. V atmosféře tvoří plynný kyslík 21 objemových procent.

**Voda** oceánů, které pokrývají 2/3 zemského povrchu, je hmotnostně z 90 % složena z kyslíku.

V **zemské kůře** je kyslík majoritním prvkem, je přítomen téměř ve všech horninách, ve formě oxoaniontů (hlinítokřemičitany, křemičitany, sírany, uhličitany atd.) a oxidů ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  atd.). Jeho obsah je odhadován na 46 až 50 hmotnostních procent.

V **hlubších vrstvách zemského tělesa** zastoupení kyslíku klesá a předpokládá se, že v zemském jádře je přítomen pouze ve stopách.

Ve **vesmíru** je zastoupení kyslíku podstatně nižší. Na 1 000 atomů vodíku zde připadá pouze jeden atom kyslíku. Na Zemi je kyslík velmi rozšířeným prvkem.

Pouze fluor vykazuje větší elektronegativitu než kyslík a tvoří s ním několik fluoridů, v nichž se kyslík vyskytuje v mocenství  $O^{+I}$  i  $O^{+II}$ . Všechny **fluoridy kyslíku** jsou značně nestálé, přesto však existuje reálná možnost jejich využití jako raketového paliva.

Ve svých sloučeninách se kyslík vyskytuje převážně v mocenství  $O^{-II}$ , výjimečně pak jako  $O^{-I}$  a  $O^{+I}$  a také  $O_2^{-}$  v **superoxidech** ( $KO_2$  superoxid draselný) a  $O_3^{-}$  v **ozonidech**.

Záporně dvojmocný kyslík je přítomen ve velmi široké škále sloučenin, především **oxidů**.

Kyslík je přítomen ve většině anorganických kyselin a jejich solí. Z těch nejdůležitějších je možno jmenovat **uhličitany**  $(CO_3)^{-II}$ , **křemičitany**  $(SiO_3)^{-II}$ , **sírany**  $(SO_4)^{-II}$ , **dusičnany**  $(NO_3)^{-I}$  a **fosforečnany**  $(PO_4)^{-III}$ .

Alkalické sloučeniny **hydroxidy** se vyznačují přítomností skupiny  $OH^-$ . Mezi nejznámější patří hydroxid sodný NaOH, draselný KOH a vápenatý  $Ca(OH)_2$  (hašené vápno).



Kyslík vytváří dvojnou vazbu :

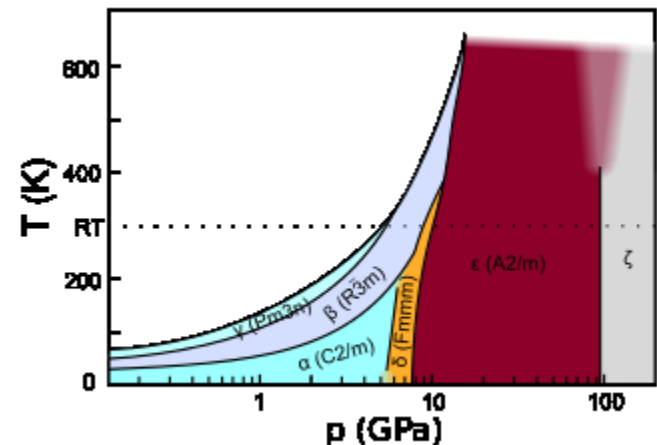
a) *pp-pp* např. v ketonech, karboxylových kyselinách, v oxidech CO, CO<sub>2</sub>, aniontech NO<sub>3</sub><sup>-</sup> apod.

b) *pp-dp* s prvky 3. a vyšších period např.: PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

- ostatní chalkogeny dvojně vazby netvoří
- kyslík má maximální koordinační číslo = 4 (viz oktetové pravidlo)
- ostatní chalkogeny mají maximální koordinační číslo = 6

Kyslík vytváří řadu alotropických modifikací:

- volné kyslíkové radikály
- dikyslík
- trikyslík (neboli ozon)
- pevný kyslík

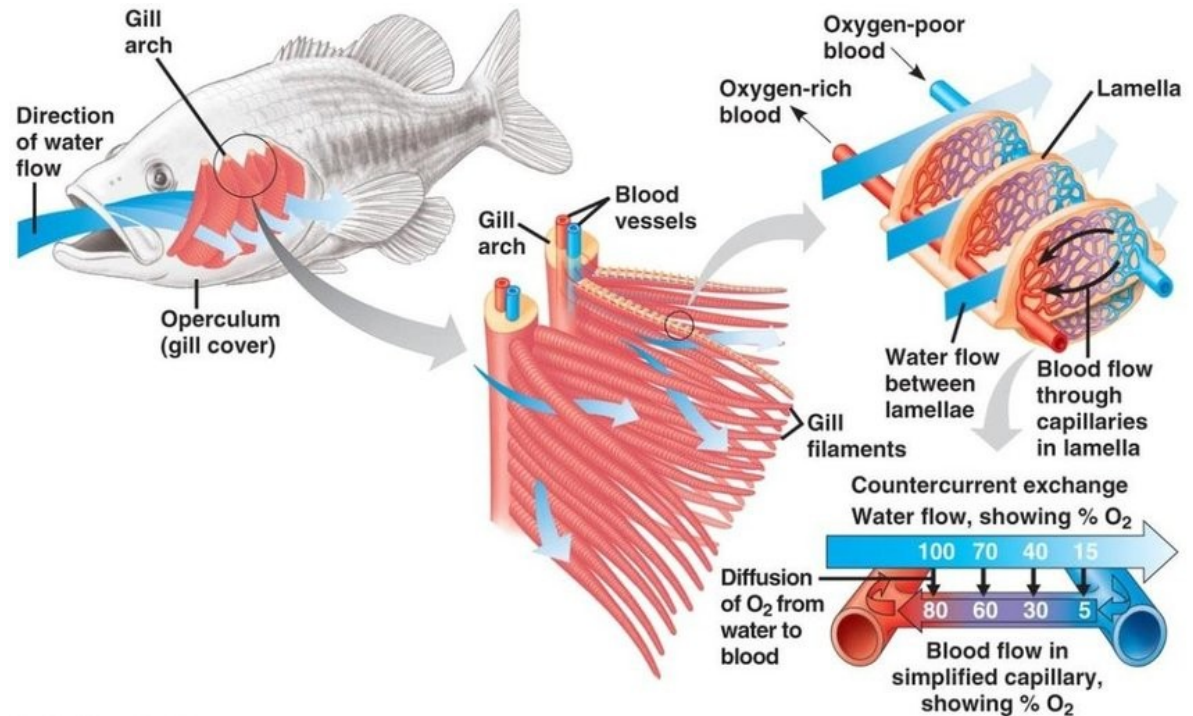


# Kyslík

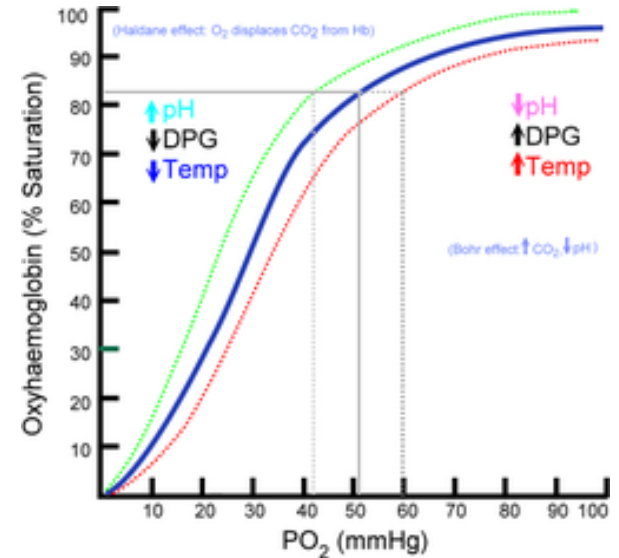
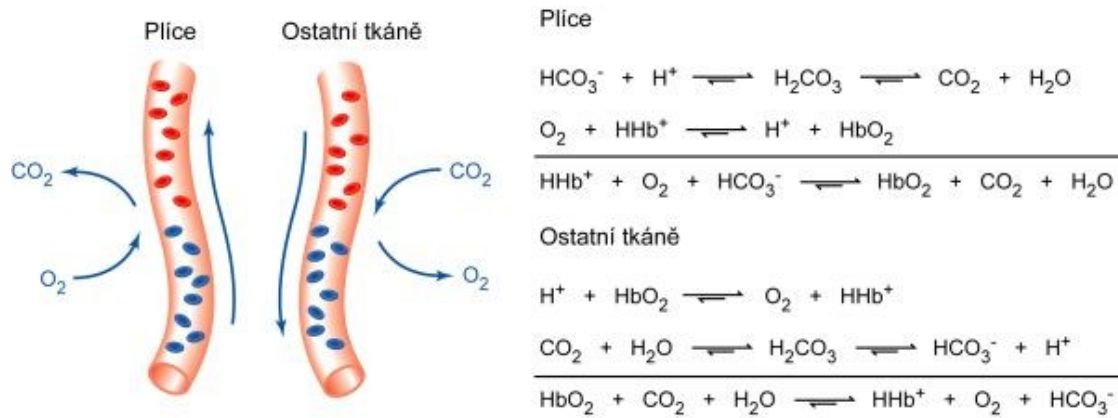
vyskytuje se převážně jako dikyslík ( $O_2$ , 21 % objem. t.j. 23 % hmot.), biatomická molekula s dvojnou vazbou (s a p).

## Dikyslík $O_2$

- bezbarvý plyn, bez zápachu, b.t. =  $-218,4^{\circ}C$ , b.v. =  $-183^{\circ}C$ ; vyskytuje se v atmosféře, ve vodě je mírně rozpustný (cca  $10^{-4}$  mol/l), umožňuje přísun kyslíku pro vodní živočichy



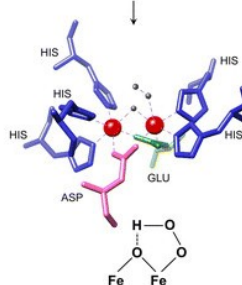
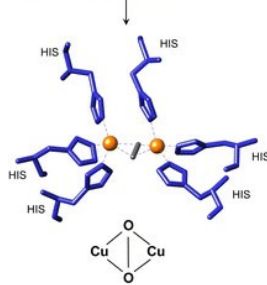
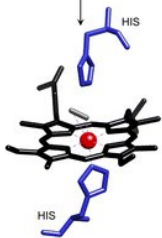
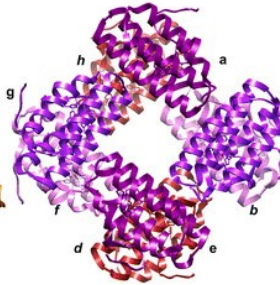
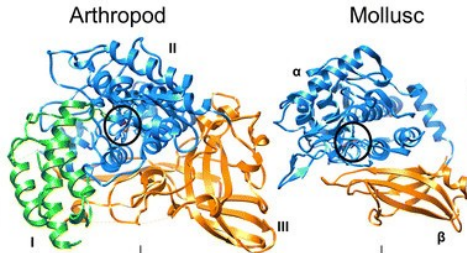
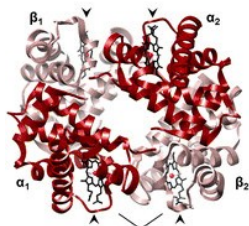
U obratlovců  $O_2$  difunduje z plic do krve. Hemoglobin v červených krvinkách váže  $O_2$ , barva krve se mění z tmavě na světle červenou ( $CO_2$  se z hemoglobinu uvolňuje v důsledku Bohrova efektu).



### Hemoglobin

### Hemocyanins

### Hemerythrin



Fe - O - O

hemocyanin  
(měkkýši, členovci),  
hemerythrin  
(pavouci, korýši)

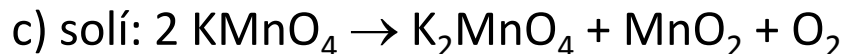
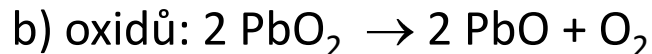
## Laboratorní příprava:

- obvykle se užívá dikyslík z tlakových lahví

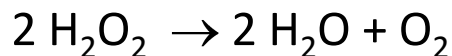
### 1. tepelným rozkladem:



(nad 600 °C je rovnováha posunuta vpravo, pod 550 °C vlevo)



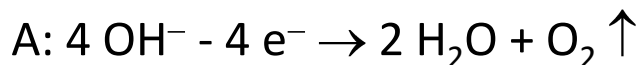
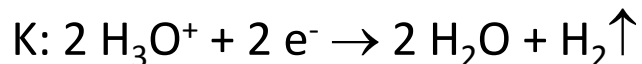
### 2. katalytickým rozkladem:



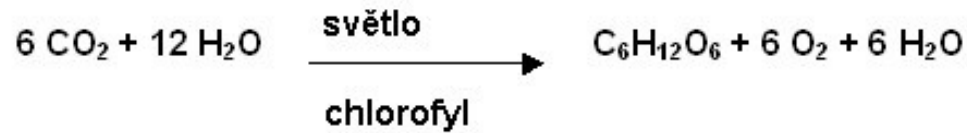
### 3. oxidací $\text{H}_2\text{O}_2$ :



### 4. elektrolýzou vody:

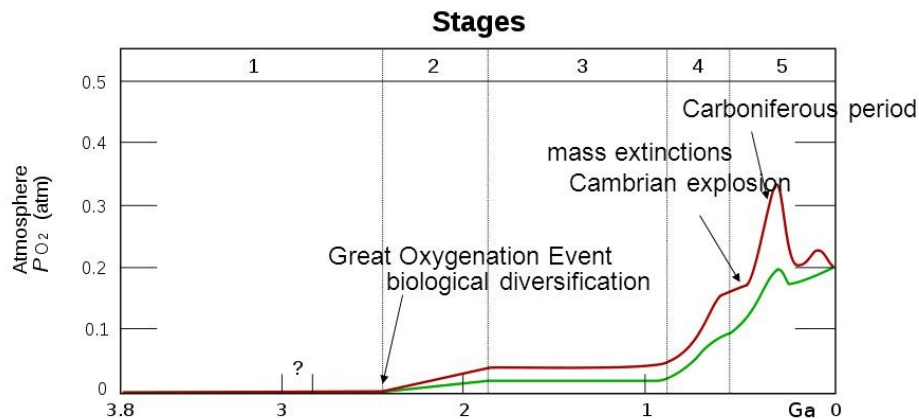


# Hlavním zdrojem dikyslíku na Zemi je fotosyntéza

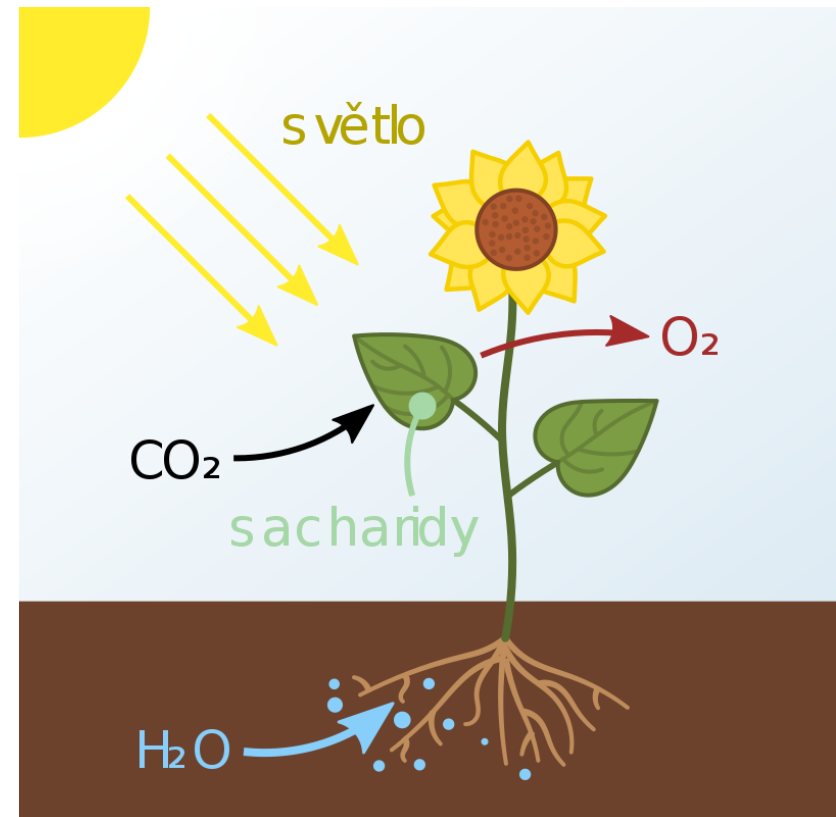


$$\Delta H = 2816 \text{ kJ/mol}$$

## O<sub>2</sub> build-up in the Earth's atmosphere

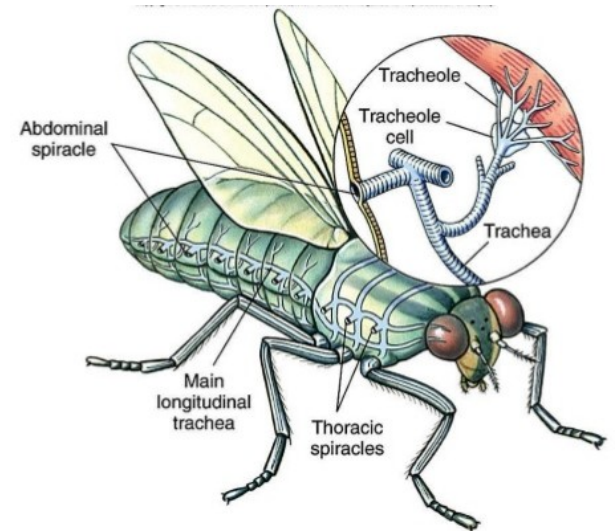
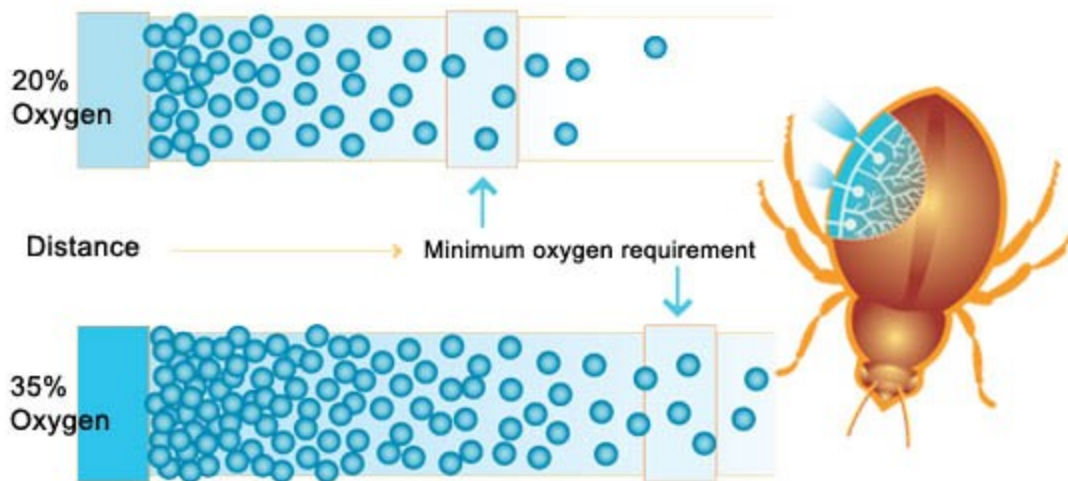


- Red and green lines represent the range of the estimates while time is measured in billions of years ago (Ga).
- Stage 1 (3.85–2.45 Ga): Practically no O<sub>2</sub> in the atmosphere.
- Stage 2 (2.45–1.85 Ga): O<sub>2</sub> produced, but absorbed in oceans & seabed rock.
- Stage 3 (1.85–0.85 Ga): O<sub>2</sub> starts to gas out of the oceans, but is absorbed by land surfaces and formation of ozone layer.
- Stages 4 & 5 (0.85–0.54 Ga) & (0.54 Ga–present): O<sub>2</sub> sinks filled, the gas accumulates

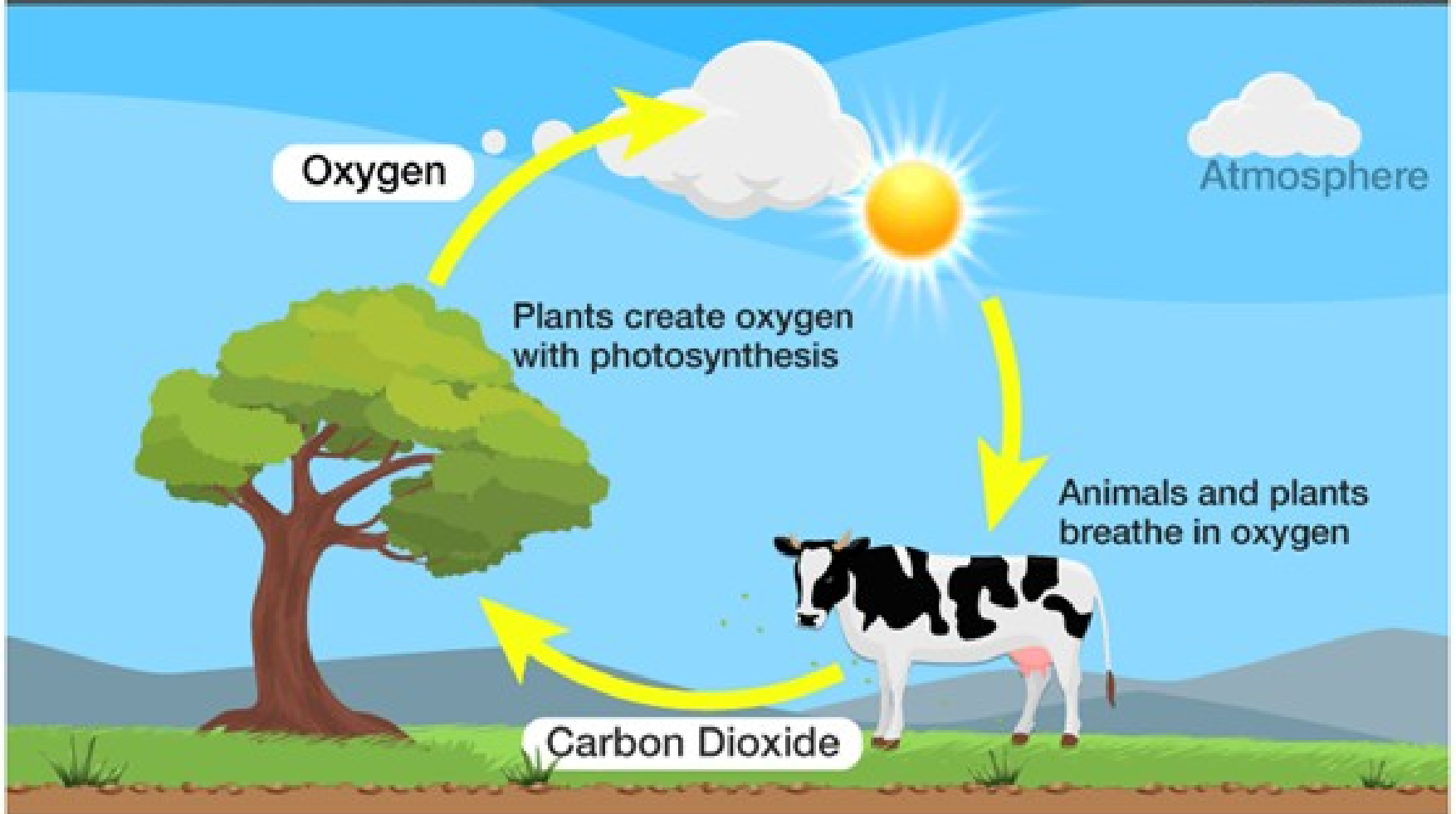


# Život v období karbonu

35 % O<sub>2</sub> v atmosféře

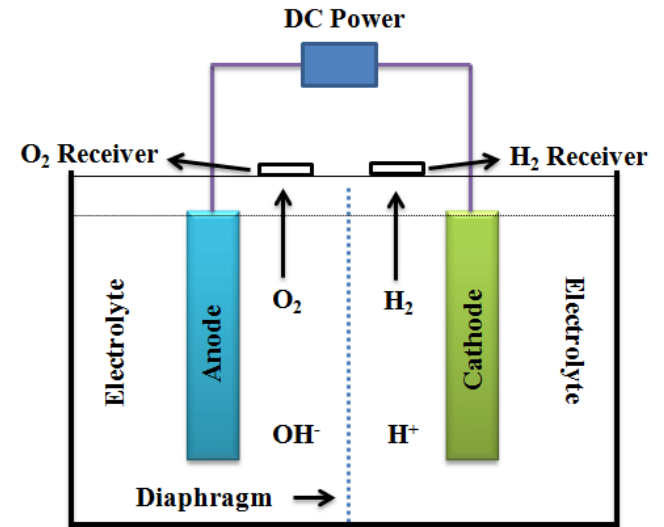
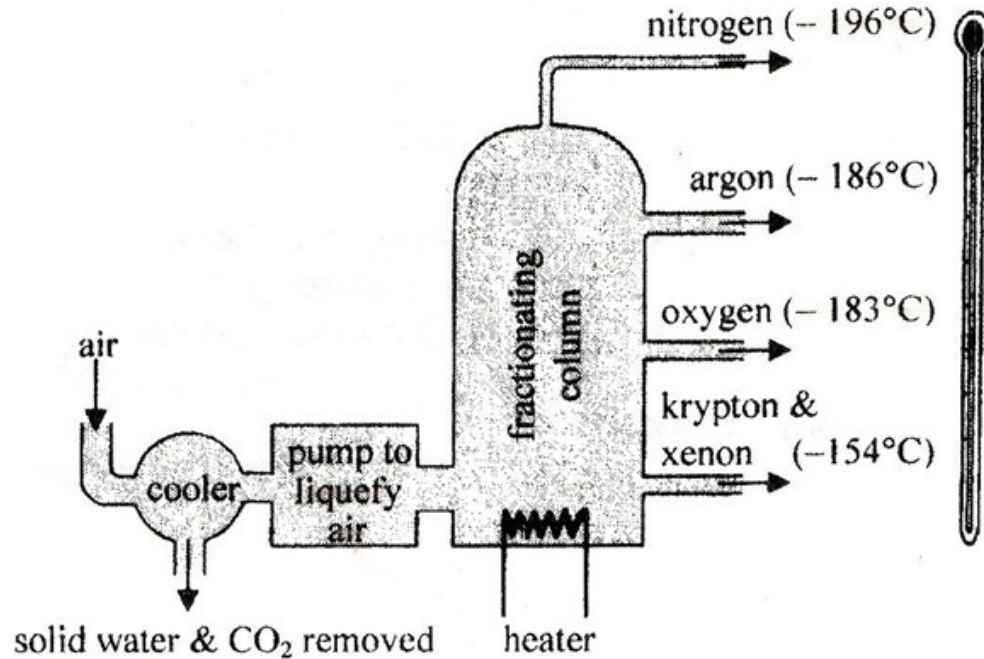


# THE OXYGEN CYCLE



## Výroba:

- zkapalněním a frakční destilací vzduchu
- elektrolýzou vody



Technický kyslík se skladuje v ocelových lahvích označených modrým pruhem, pod tlakem 15 - 20 MPa

Ventily tlakových lahví s O<sub>2</sub> nesmí být mazány ani jinak znečištěny org. látkami, hrozí nebezpečí výbuchu!





## Využití atmosférického kyslíku

= neviditelná složka vzduchu nutnou pro **spalování** prakticky každého fosilního paliva (technologická oxidace fosilních paliv)

- *výroba elektrické energie* – spalování fosilních paliv v tepelných elektrárnách (často v kombinaci s výrobou technologického tepla)
- *výroba technologického tepla* – spalování fosilních paliv v teplárnách (často v kombinaci s výrobou elektrické energie)
- *pohon motorů a turbín* – ve všech druzích spalovacích motorů a turbín
- *vytápění domácností* v domovních kotelnách, kamnech či v krbech
- *příprava pokrmů* (např. plynové sporáky)
- *nouzové osvětlování* (např. svíčky, petrolejové lampy)
- *koroze kovů* je způsobená nežádoucí oxidací kovů a dalšími doprovodnými chemickými reakcemi.

## Použití kyslíku

V medicíně se čistý kyslík používá při operacích a traumatických stavech pro podporu pacientova dýchání a lepšímu okysličení organismu.

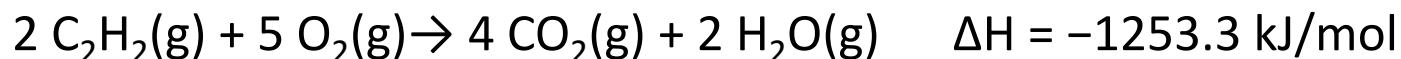
Směsi kyslíku s inertními plyny slouží potápěčům k potlačení dekompresní nemoci. Je součástí i všech ostatních dýchacích plynů, které se používají pro potápění do velkých hloubek.

Také vysokohorští horolezci a letci se v nutných případech uchylují k dýchání čistého kyslíku. To proto, že zvýšením koncentrace kyslíku se zvýší jeho parciální tlak a ulehčí se tak dýchání v řídké atmosféře a předejde vysokohorské nemoci.

I *piloti stíhacích letadel* jsou vybaveni směsmi stlačených plynů, jejichž základní složkou je kyslík.

## Použití kyslíku

Při hoření směsi kyslíku s acetylenem lze dosáhnout teploty cca 3150 – 3200 °C. Proto se kyslíko-acetylenový plamen využívá k **řezání oceli a tavení kovů** s vysokým bodem tání, například platinových kovů.



Při **výrobě oceli** je nutné především odstranit z matrice železa přebytečný uhlík (ve formě karbidu železa). Tento přebytečný uhlík se odstraňuje spálením obvykle v tzv. konvertoru, a to vháněním vzduchu v Bessemerově a Thomasově konvertoru nebo vháněním čistého kyslíku do roztaveného železa v kyslíkovém konvertoru), kde za vysoké teploty taveniny dochází k oxidaci přítomného uhlíku na plynné oxidy, které odcházejí jako spaliny.

Kapalný kyslík většinou slouží jako **okysličovadlo raketových motorů** při letech kosmických lodí.

Kyslík se používá jako jedna ze složek pro náplň některých typů **palivových článků**.

# Singletový kyslík

Vzniká při některých fotochemických reakcích, kdy látka absorbující světlo převede tripletový kyslík na reaktivní kyslík singletový.

## Tripletový kyslík ( $^3\text{O}_2$ )

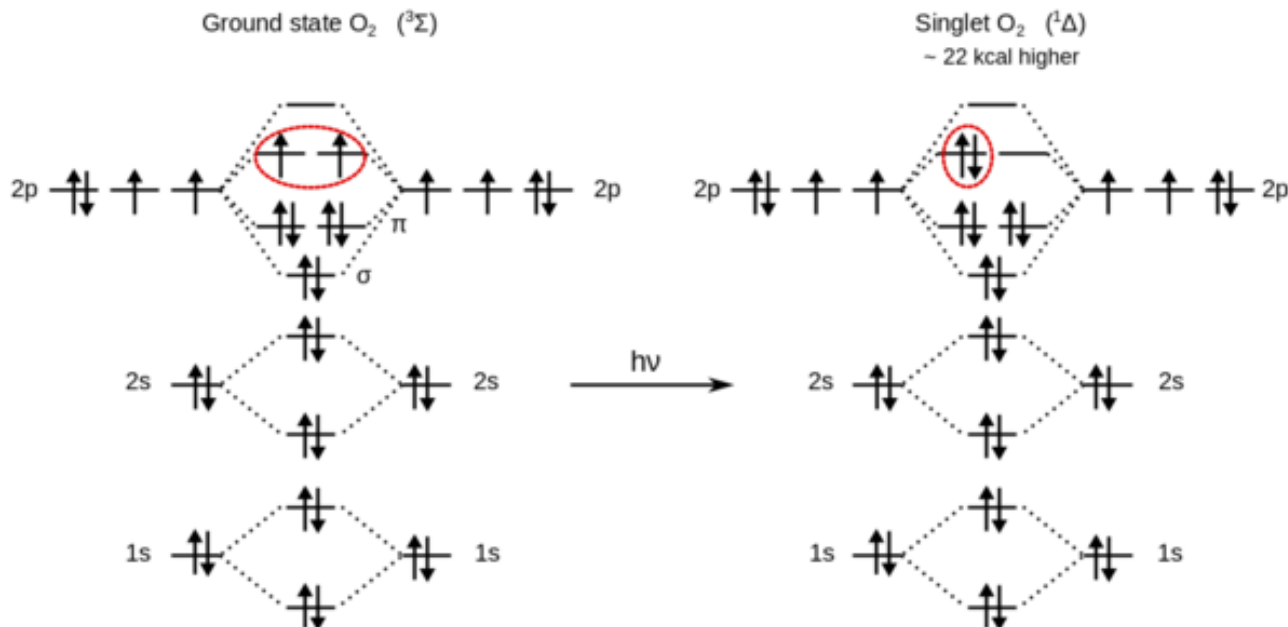
běžná, základní forma kyslíku

(Multiplicita = 3)

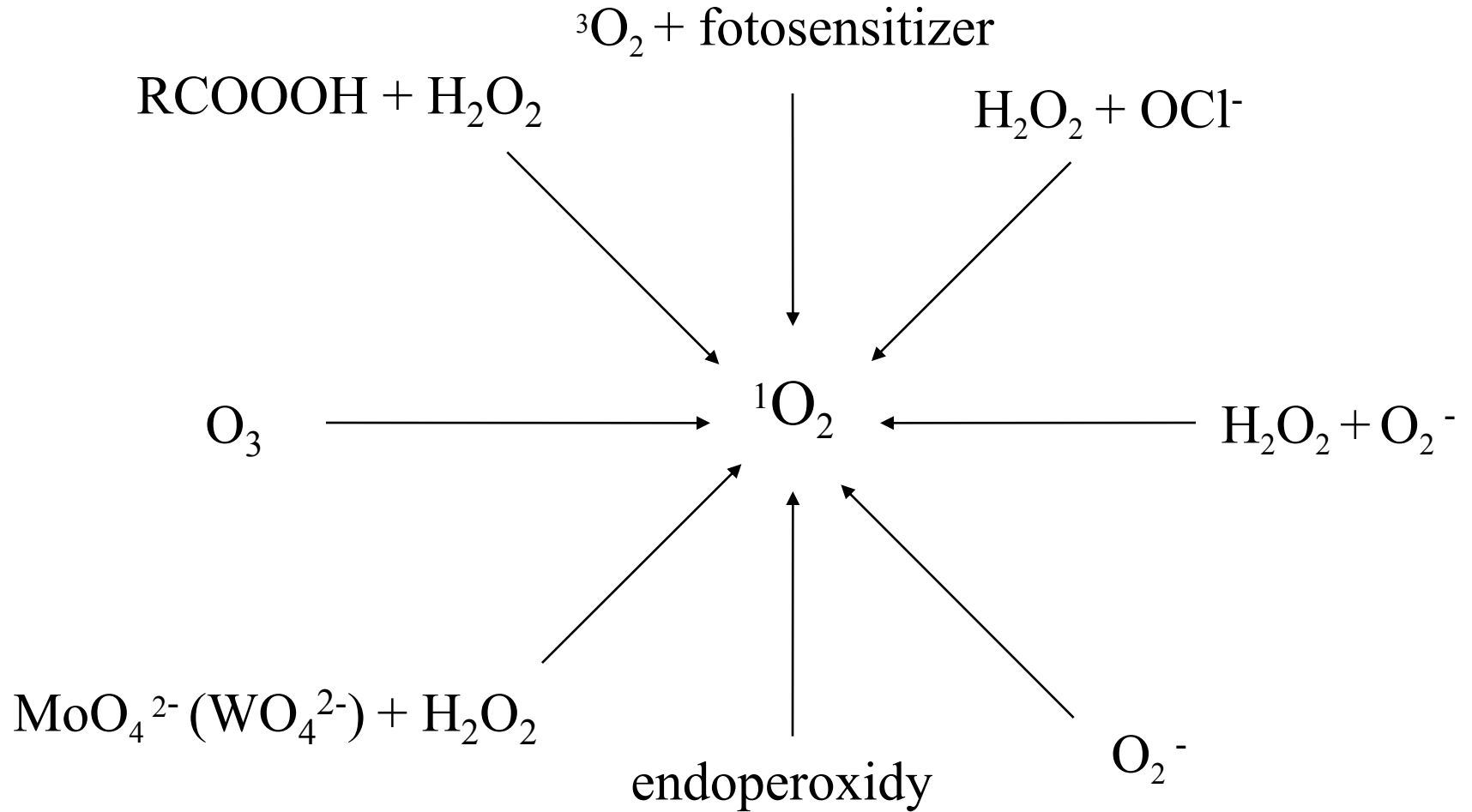
## Singletový kyslík ( $^1\text{O}_2$ )

krátce-žijící, excitovaná forma kyslíku,  
silné oxidační účinky

(Multiplicita = 1)



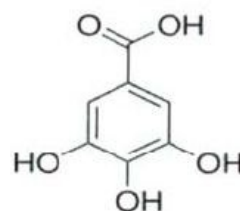
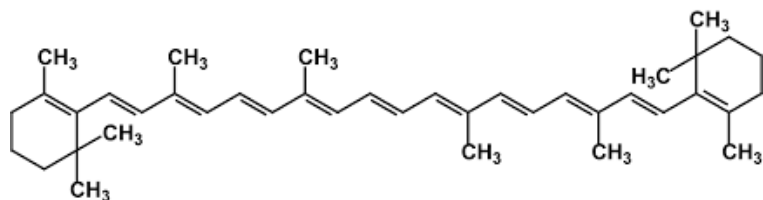
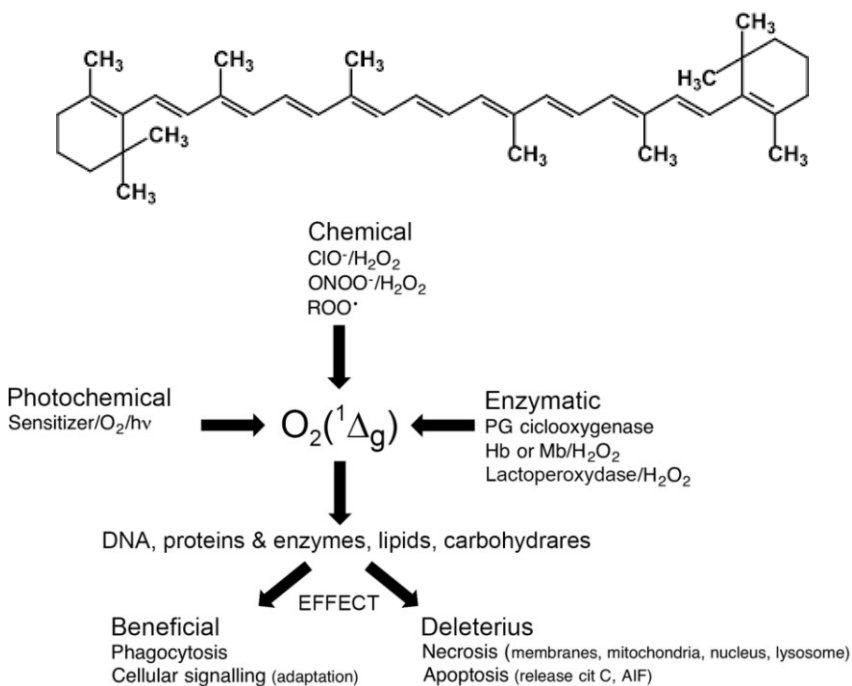
# (Foto)generace singletového kyslíku



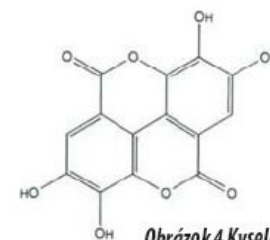
**Singletový kyslík** může být produkován molekulách chlorofylu během fotosyntézy.  $\beta$ -Karoteny působí jako „zhášače“ singletového kyslíku, neboť ho převádějí na stabilnější tripletovou formu.

Při fyziologických **biochemických reakcích** (např. v dýchacím řetězci) vzniká malé množství singletového kyslíku. U savců je singletový kyslík jednou z forem reaktivního kyslíku oxidující LDL cholesterol. Polyfenolické antioxidanty mohou sloužit k eliminaci těchto reaktivních částic.

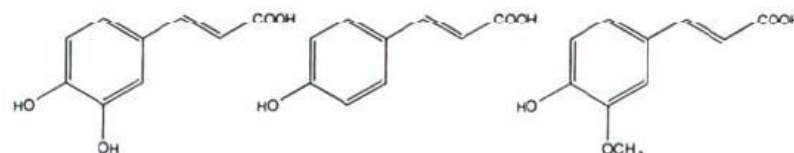
Singletový kyslík se využívá v tzv. **fotodynamické terapii**.



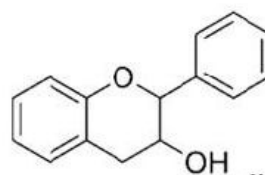
Obrázok 3 Kyselina galová



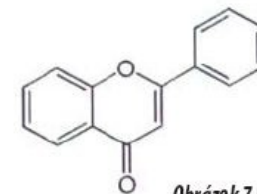
Obrázok 4 Kyselina elagová



Obrázok 5 Kyseliny kávová, kumárová a ferulová



Obrázok 6 Flavan-3-ol



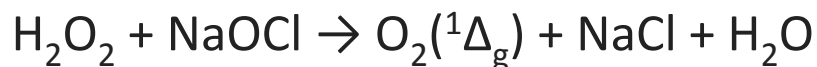
Obrázok 7 Flavón

**Singletový kyslík** může být připraven též chemickými metodami:

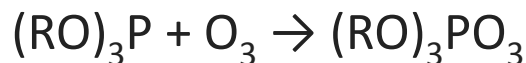
1) Rozklad triethylsilyl hydrotrioxidu generovaného *in situ* z triethylsilanu a ozonu



2) Reakce peroxidu vodíku s chloranem sodným ve vodě:



3) Rozklad P<sup>III</sup> ozonidu generovaného *in situ*:



Metodu lze použít i v nevodném prostředí.

Životnost singletového kyslíku závisí na médiu:

v organických rozpouštědlech mikrosekundy

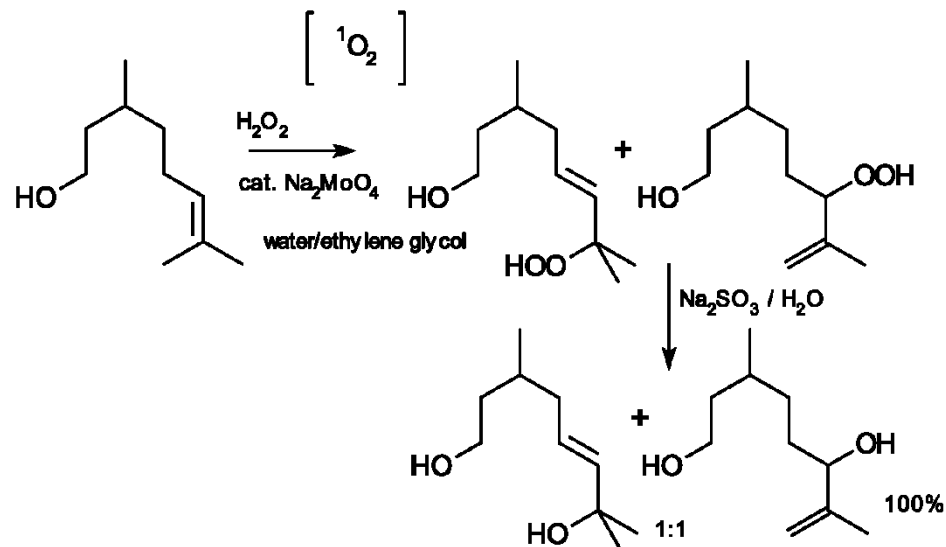
v rozpouštědlech bez C-H vazeb sekundy.

Singletový kyslík umožňuje některé chemické reakce, které neběží s tripletovým  $O_2$ :

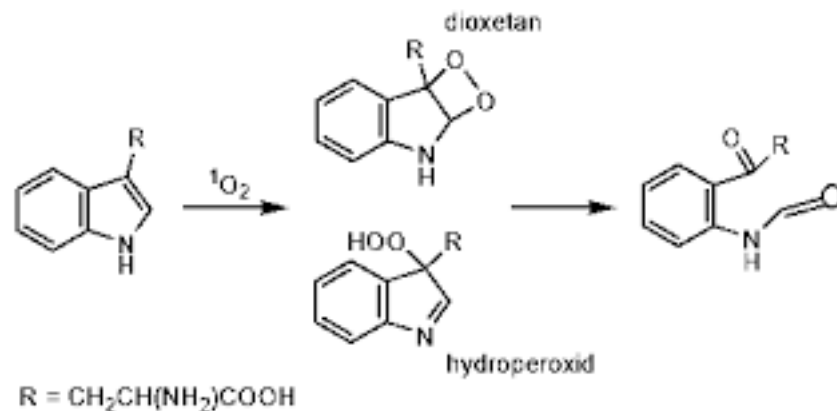
1) Diels–Alderova [4+2]- a [2+2]-cykloadiční reakce .

2) Oxidace thioetherů na sulfoxidy

3) Reakce s alkenovými a allylovými skupinami za vzniku allyl hydroperoxidů  $R-O-OH$  ( $R = \text{alkyl}$ ), který může být následně redukován na odpovídající allyl alkohol.



4) tvorba 1,2-dioxetanes : cyklické dieny jako 1,3-cyklohexadien tvoří [4+2] cykloadukty.



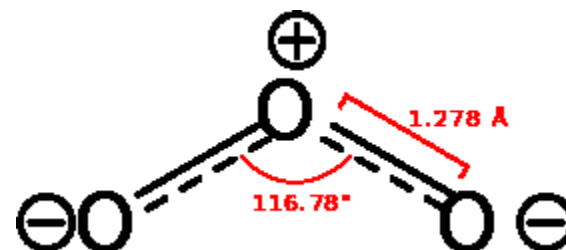
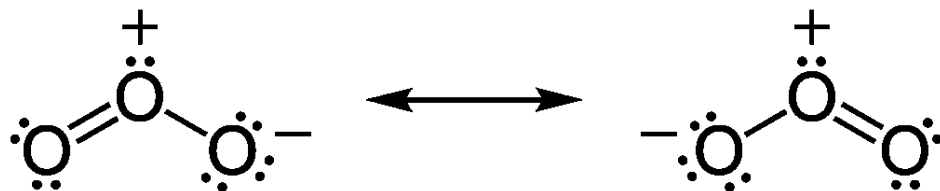




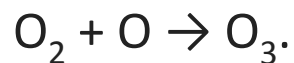
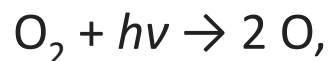
## Ozon (trikyslík O<sub>3</sub>)

= vysoce reaktivní plyn modré barvy a charakteristického zápachu s mimořádně silnými oxidačními účinky. Při teplotě -112 °C kondenzuje na kapalný tmavě modrý ozon a při -193 °C se tvoří červenofialový pevný ozon.

Lomená molekula - úhel 116°, má značný dipólový moment. Přítomnost dipólového momentu přispívá k zesílení van der Waalsových mezimolekulových přitažlivých sil a spolu s vyšší hmotností molekuly ke snížení těkavosti ozonu ve srovnání s kyslíkem. Rozpustnost ozonu ve vodě je cca 10× větší než O<sub>2</sub>.



**Ozon** vzniká působením elektrických výbojů nebo krátkovlnného UV záření (například UV-C) na molekuly obyčejného kyslíku, přičemž tato reakce probíhá ve dvou stupních. V prvním dodaná energie rozštěpí dvouatomovou molekulu dikyslíku na dva atomy, tedy na dva vysoce reaktivní jednoatomové radikály, které se okamžitě spojí s další molekulou dikyslíku za vzniku ozonu:



Ozon je silné oxidační činidlo. Je nestabilní a reakcí



se rozkládá na obyčejný kyslík. Průběh reakce se zrychluje se stoupající teplotou a stoupajícím tlakem. Přeměnu ozonu na kyslík urychlují také některé chemické sloučeniny a radikály, například atomy fluoru a chloru.

### Příprava:

1) rozkladem  $\text{KMnO}_4$  kys.sírovou ( $\Rightarrow$  směs  $\text{O}_2$  a  $\text{O}_3$ ):

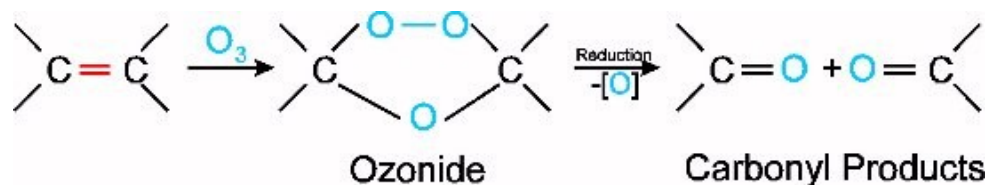


2) působením el. výboje na  $\text{O}_2$  v ozonizátorech

Elektrickým výbojem v atmosféře čistého kyslíku vzniká směs kyslíku s ozonem, kde podíl O<sub>3</sub> dosahuje obvykle 10 %. Čistý ozon lze pak připravit frakční destilací této plynné směsi.

## Použití

V chemických laboratořích slouží jako oxidační činidlo, zejména v organické syntéze a při přípravě některých peroxidických sloučenin.



V průmyslu se používá především k bělení textilních látek nebo celulózy při výrobě papíru.

Baktericidní účinky ozonu se někdy využívají k dezinfekci pitné vody místo plynného chloru, chlornanů, chloraminu nebo oxidu chloričitého, resp. jako první fáze před použitím uvedených látek (tzv. *preozonizace*). Výhodou je, že i při malých dávkách inaktivuje parazitické prvky a že oxiduje organické látky, aniž by docházelo k tvorbě karcinogenních halogenovaných molekul.

V potravinářském průmyslu k **dezinfekci** provozoven a k **povrchové konzervaci** potravinářských výrobků, v zemědělství k **povrchovému ošetření** zeleniny a ovoce (zejména zabránění růstu plísní a kvasinek).

V medicíně se využívá například pro **léčbu** akné, atopických ekzémů a dalších kožních defektů. V medicíně slouží ke **sterilizaci nástrojů**.

Ve vysokých koncentracích je ozon jedovatý a protože v lidském těle způsobuje tvorbu volných radikálů, je pro člověka a některé živočichy karcinogenní. U řady druhů bakterií byla pozorována při nízkých koncentracích i mutagenicita (ve vyšších koncentracích ozon mikroorganismy zabíjí).

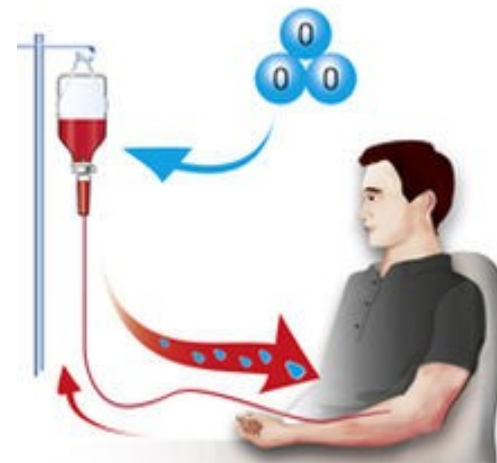
Ozon jako silné oxidační činidlo může reagovat s celou škálou biologicky významných látek a způsobuje vznik peroxidů polynenasycených mastných kyselin a aminokyselin enzymů a koenzymů atd. Proto působí negativně na buněčné membrány.

Ozon poškozuje **rostlinné pletiva**. Příznakem jsou žluté chlorotické skvrny, nebo drobné červené skvrnky, bronzovité zbarvení horní vrstvy, zatímco žilky zůstávají zelené.



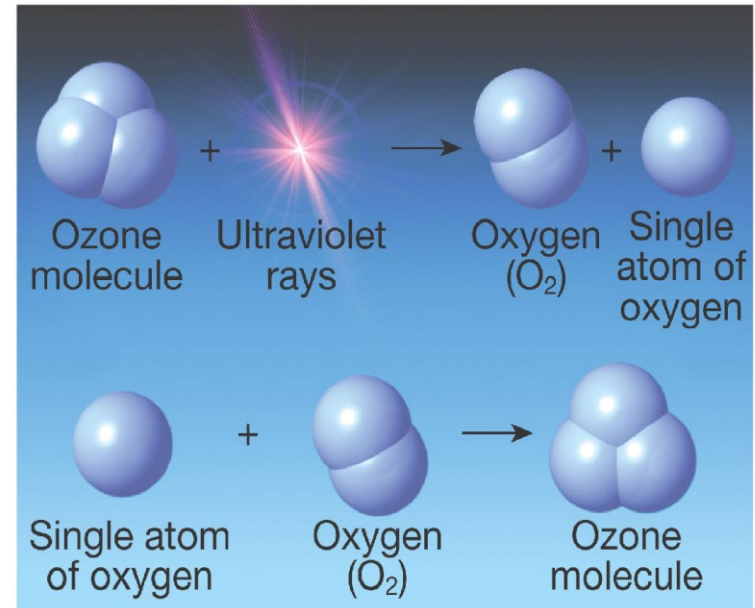
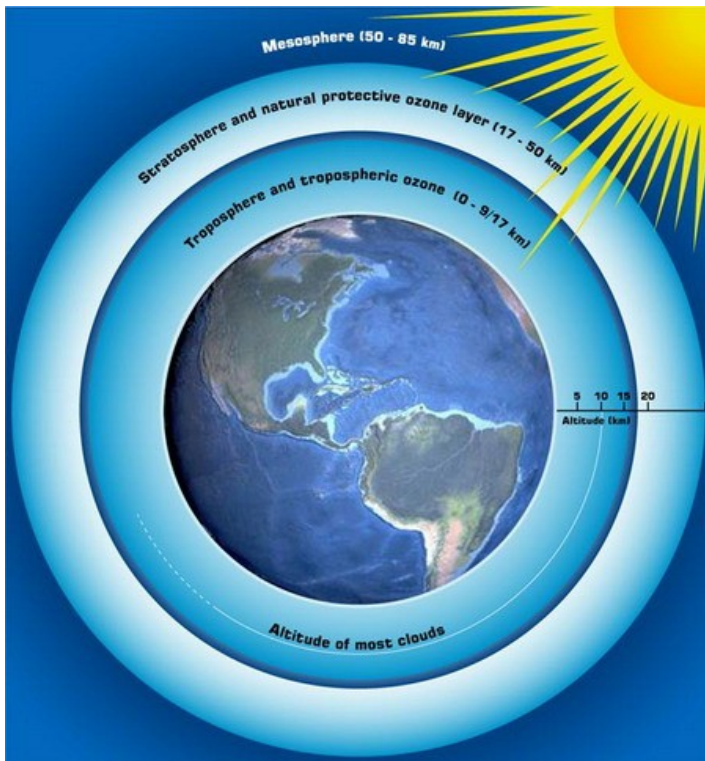
Kromě toho je ozon (spolu s dalšími reaktivními speciemi kyslíku) v těle teplokrevných živočichů produkován v bílých krvinkách a uvolňován do krve a tkání, čímž pomáhá při likvidaci choroboplodných zárodků.

Poněkud diskutabilní jsou účinky „ozonové terapie“.

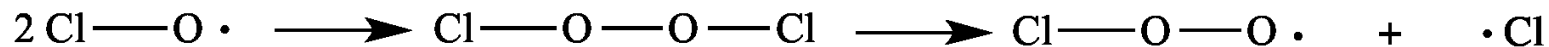
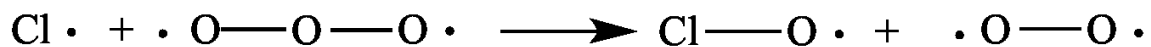
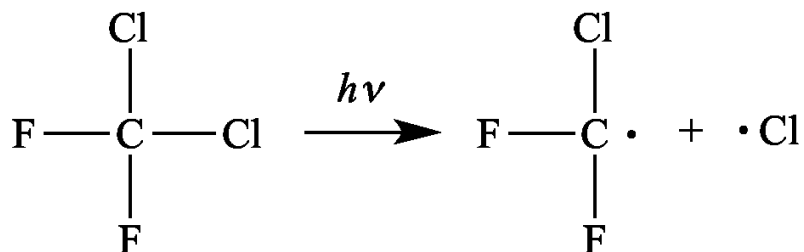
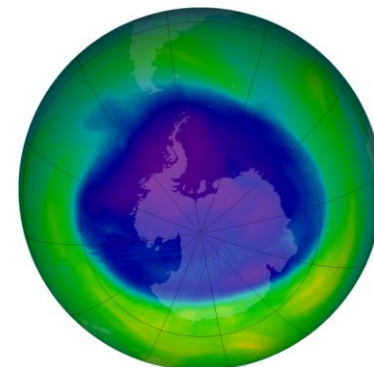
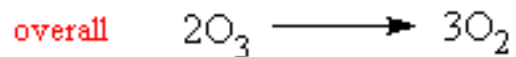
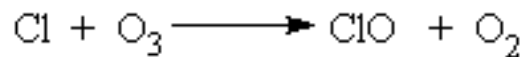


# Ozonová vrstva atmosféry Země

V nadmořské výšce okolo 25 km (stratosféra) je vrstva ozonu ( $O_3$ ), velmi důležitá pro život na Zemi, absorbuje krátkovlnné UV záření ( $\lambda < 380$  nm), které poškozuje většinu živých organismů; v nadmořských výškách nad 25 km vzrůstá ve velmi řídké atmosféře podíl at. kyslíku O jako důsledek fotoinicované disociace dikyslíku a vznikající atomární kyslík následnou reakcí s dikyslíkem tvoří ozon:



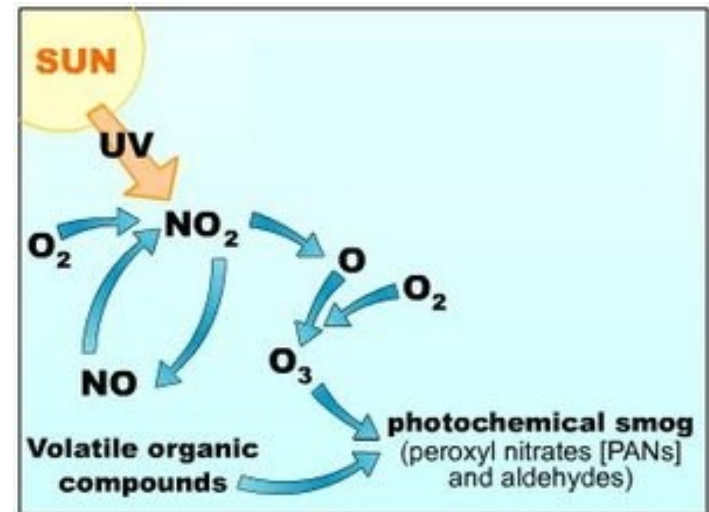
# Ozonová díra





# Troposférický ozon

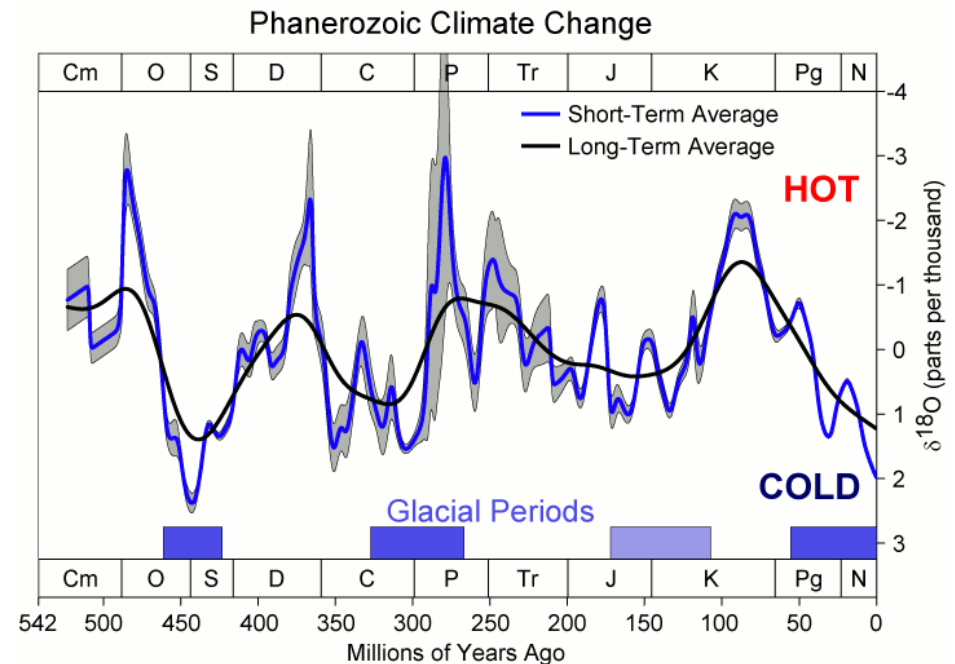
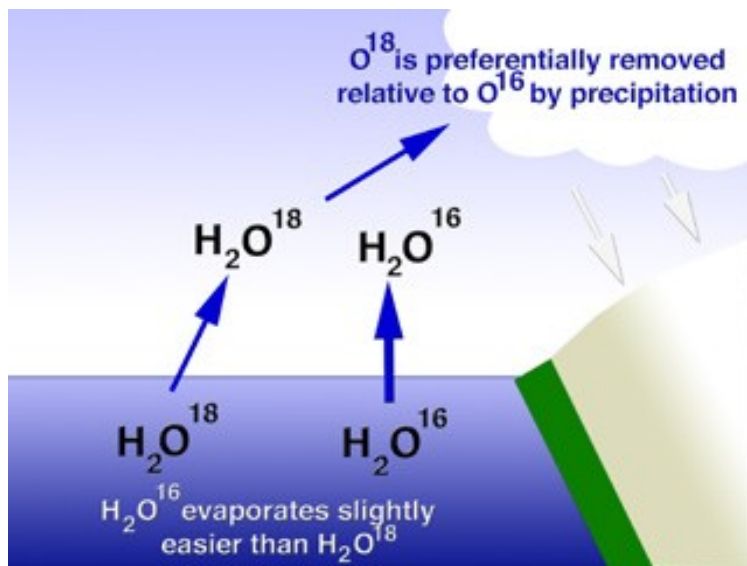
je minoritní složkou nízké atmosféry, zejména fotochemického smogu. Vzniká složitými chemickými reakcemi oxidů dusíku s těkavými organickými sloučeninami za horkých letních dnů a bezvětrí, a to především v městských a průmyslových oblastech. Zvýšený vznik přízemního ozonu pozorujeme především za slunečných horkých letních dnů v lokalitách s vysokou koncentrací výfukových plynů - oxidů dusíku a těkavých organických látek v ovzduší (= **fotochemický smog**).



FORMATION OF PHOTOCHEMICAL SMOG

# Odhad klimatu v minulosti - poměr $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Molekuly vody obsahující  $^{16}\text{O}$  se odpařují o něco rychleji než molekuly vody obsahující  $^{18}\text{O}$ , a tento jev je výraznější při nižších teplotách. Během období nízkých teplot má odpařená voda tendenci obsahovat vyšší podíl  $^{16}\text{O}$  a neodpařená voda zas vyšší podíl  $^{18}\text{O}$ . Vodní organismy pak zabudovávají více  $^{18}\text{O}$  do svého skeletu resp. lastur, než by tomu bylo v teplejších obdobích. Podobně lze poměr  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  sledovat také v ledovcích.



# Síra

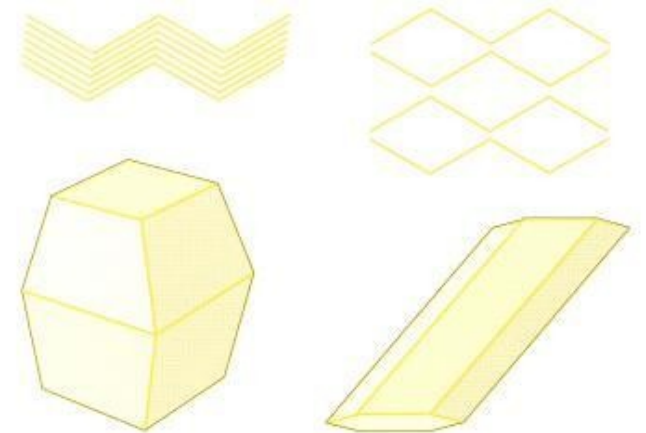
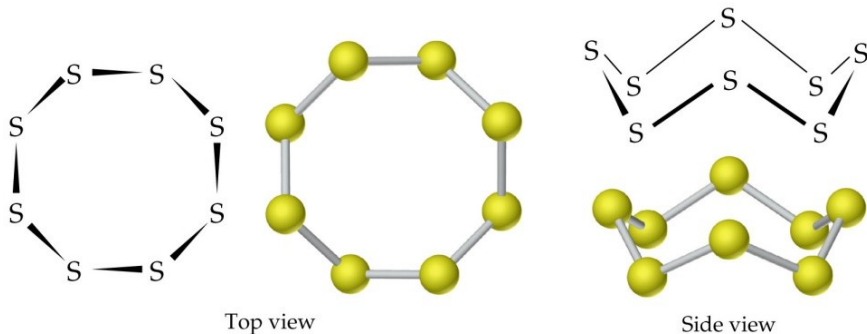


nekovový chemický prvek žluté barvy (b.t. = 119 °C, b.v. = 445 °C):

Pevná síra se vyskytuje v několika alotropických modifikacích:

- *Kosočtverečná* ( $\alpha$ ) je stálá modifikace, na kterou postupně přecházejí ostatní modifikace, žlutá látka nerozpustná ve vodě, dobře rozpustná v sirouhlíku, v etanolu nebo etheru. Je dobrý elektrický a tepelný izolant, molekula je monocyklická, oktaatomická ( $S_8$ ).
- Při teplotě 95,3 °C přechází na modifikaci *jednoklonnou* ( $\beta$ ), připraví se krystalizací kapalně síry při teplotě 100 °C a rychlým ochlazením na teplotu přibližně 20 °C, její molekuly jsou cyklické oktaatomické – uspořádání je těsnější než u  $\beta$ -modifikace a pomalu přechází na formu  $\alpha$ .

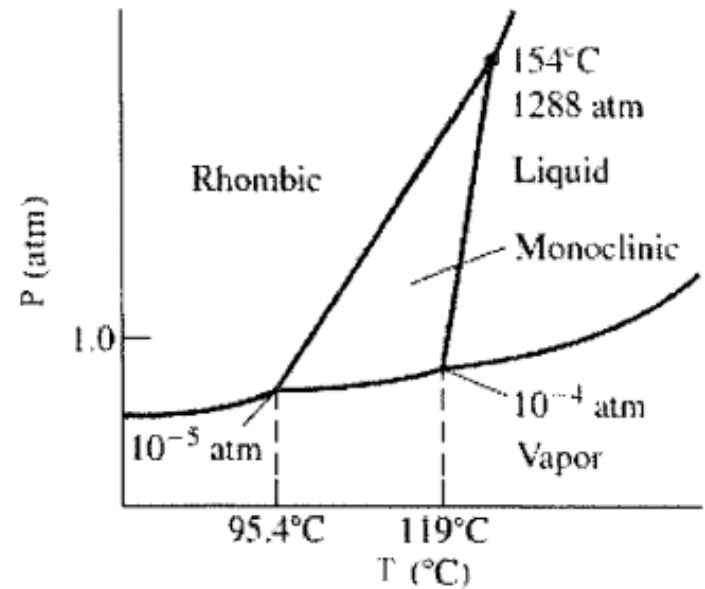
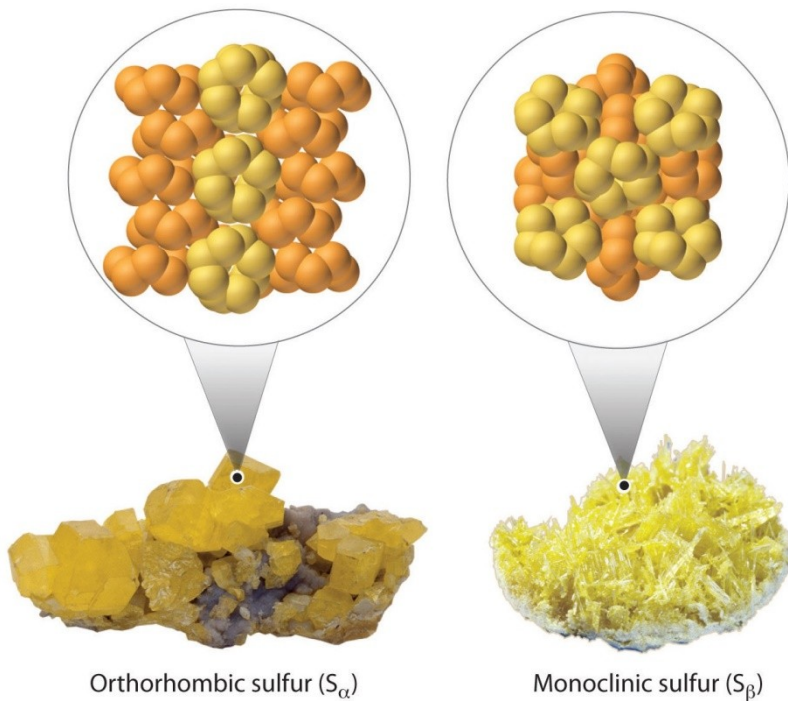
Obě modifikace z cyklických molekul  $S_8$  (cyklo-oktasíra)



a A rhombic crystal.

b A monoclinic crystal of sulphur.

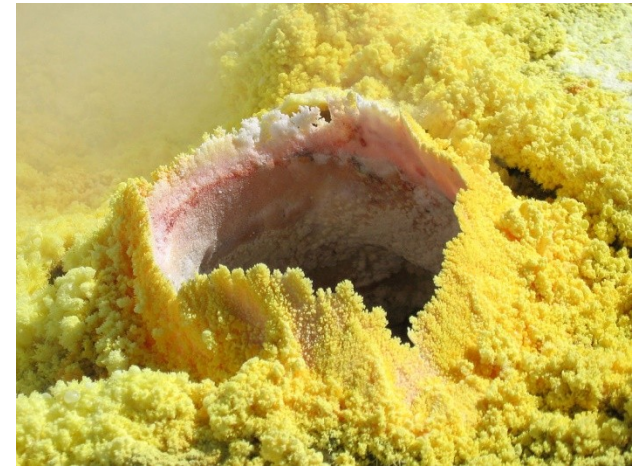
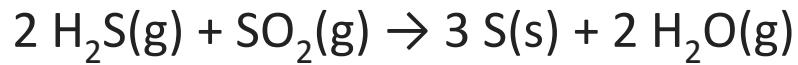
Figure 16.4 The packing of  $S_8$  molecules



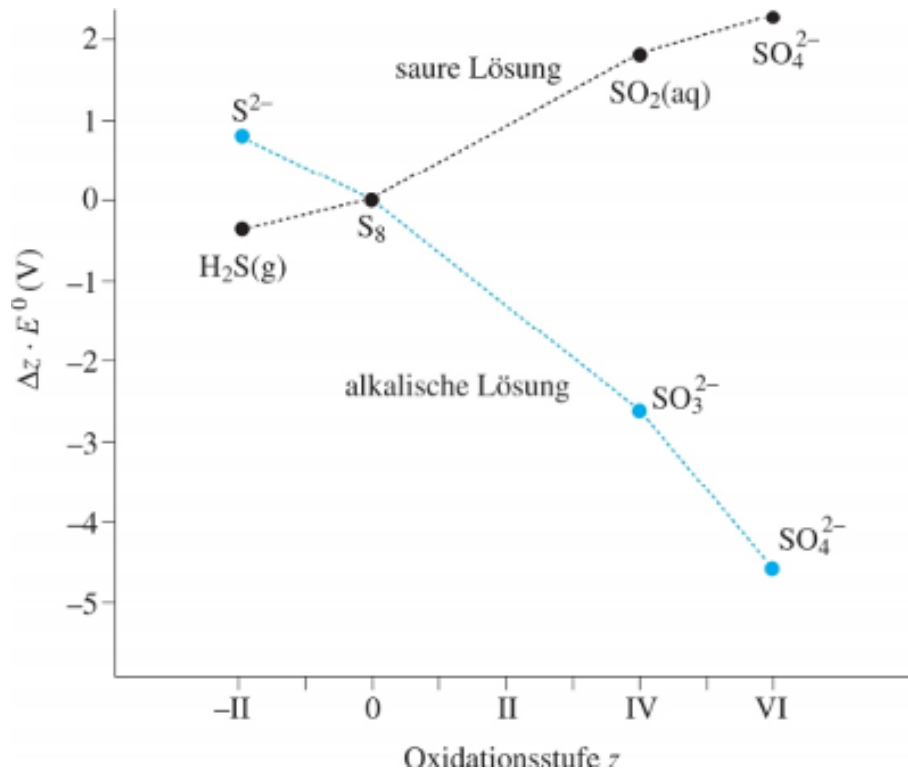
Síra taje při teplotě  $114^{\circ}\text{C}$  za vzniku žluté průhledné kapaliny, kapalně síry. Při zvýšení teploty nad  $160^{\circ}\text{C}$  kapalina hnědne, stává se viskóznější a při teplotě  $444,5^{\circ}\text{C}$  vře a uvolňuje oranžové páry, které jsou tvořeny z osmi- a šestiatomových molekul, které se s rostoucí teplotou rozpadají na čtyř- a dvouatomové a při teplotě  $860^{\circ}\text{C}$  existují v parách z větší části dvouatomové molekuly, samostatné atomy se vyskytují až při teplotě  $2\,000^{\circ}\text{C}$ . Rychlým ochlazením par síry vzniká amorfní sirný květ.

Síra má celkem 4 stabilní izotopy:  $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$  a  $^{36}\text{S}$  a dalších 20 izotopů je nestabilních.

**Elementární síra** je především vulkanického původu:



*sirný květ*



## Výroba síry

### A) z přírodní síry

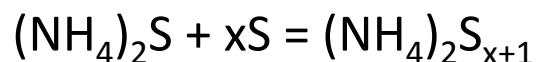
- z vytěžené horniny se nejčastěji vytavuje přehřátou vodní parou (Frashův způsob) ( $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0.4\text{ MPa}$ ) a vytavená síra se v podobě sirné vodní emulze nechá vychladnout  $\rightarrow$  vyloučí se

### B) ze sloučenin síry

1) z  $\text{H}_2\text{S}$  (v karbonizačních, rafinerských plynech apod.) -  $\text{H}_2\text{S}$  se z plynů odstraňuje a zpracovává oxidací na síru, k směsi plynů se většinou přidává vzduch:

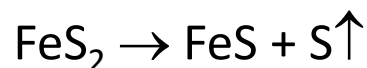


Síru pak lze extrahovat toluenem,  $\text{CS}_2$  nebo roztokem  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ :



reakce je vratná, za studena probíhá zleva doprava, za tepla naopak  $\Rightarrow$  lze uvolnit. extrahovanou síru zahřátím roztoku polysulfidu.

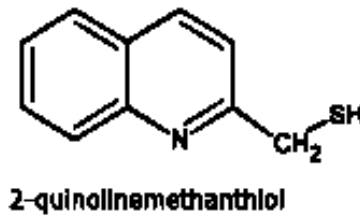
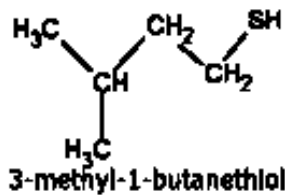
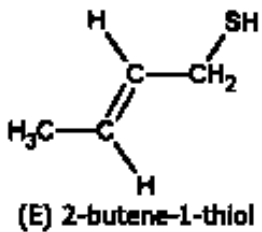
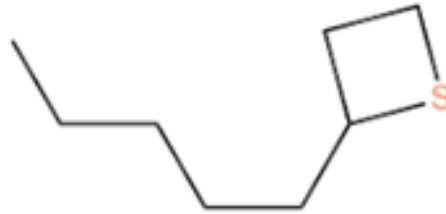
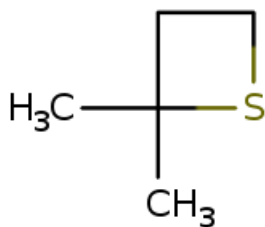
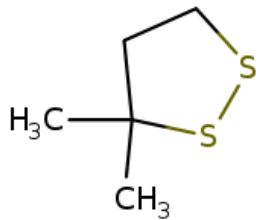
2) z pyritu tepelným rozkladem při redukčním tavení s koksem ve vysoké peci

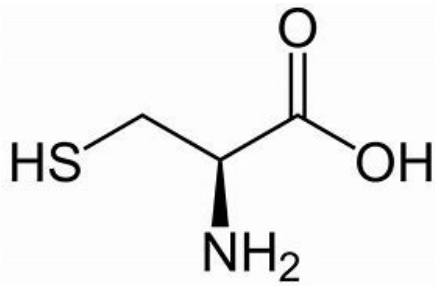


## Síra:

k výrobě  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CS}_2$ , sirných barviv, zápalek, léčiv, použití i jako pesticid a přípravek proti houbám.

Síra je **biogenní prvek**: aminokyseliny methionin a cystein, penicilin, (*E*)-2-buten-1-thiol a 3-methyl-1-butaethiol (pachové žlázy skunka), thietany a dithiolany (pachové žlázy tchoře), aj.

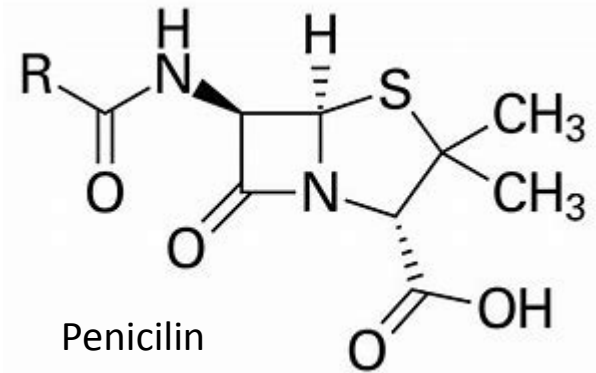




cystein



methionin



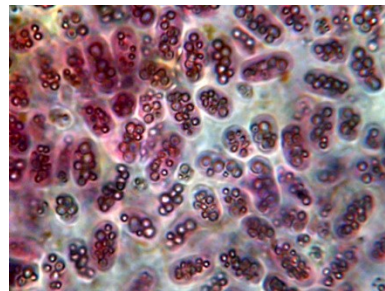
Penicilin

## ***Sirné bakterie***

jsou heterogenní skupinou bakterií, v jejichž energetickém metabolismu hraje důležitou roli síra či její anorganické sloučeniny.

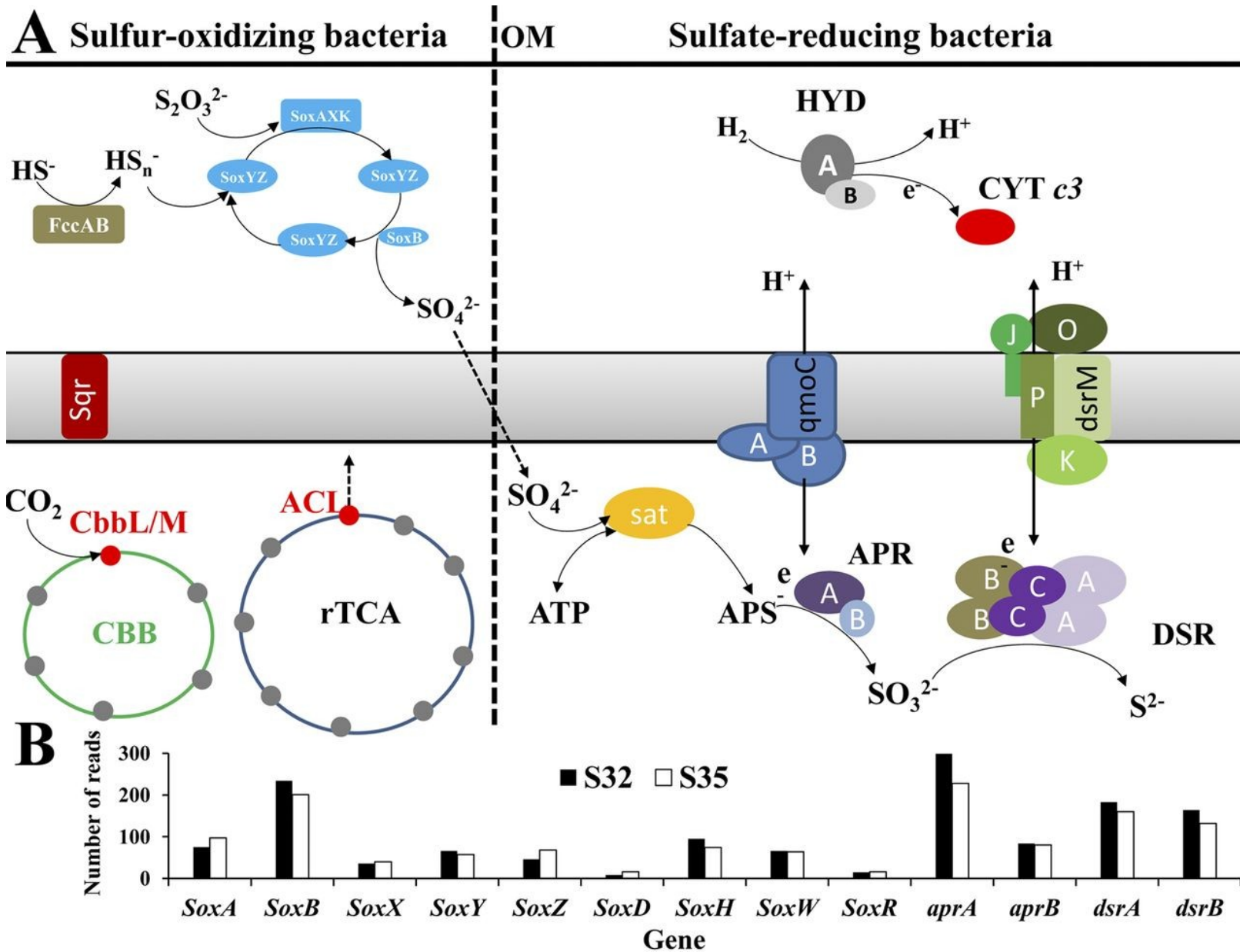
*Síru oxidující bakterie* oxidují elementární síru či její anorganické sloučeniny, a to za účelem získání energie. Oxidací síry a sirovodíku na sírany vznikají meziprodukty - thiosířany, tetrathionáty a siřčitany. Do procesu oxidace je zahrnuta tvorba ATP (oxidativní fosforylací).

*Síru redukující bakterie* jsou druhy, které používají sirné sloučeniny (např. sírany) jako elektronové akceptory – podobně jako například živočichové dýchají kyslík.

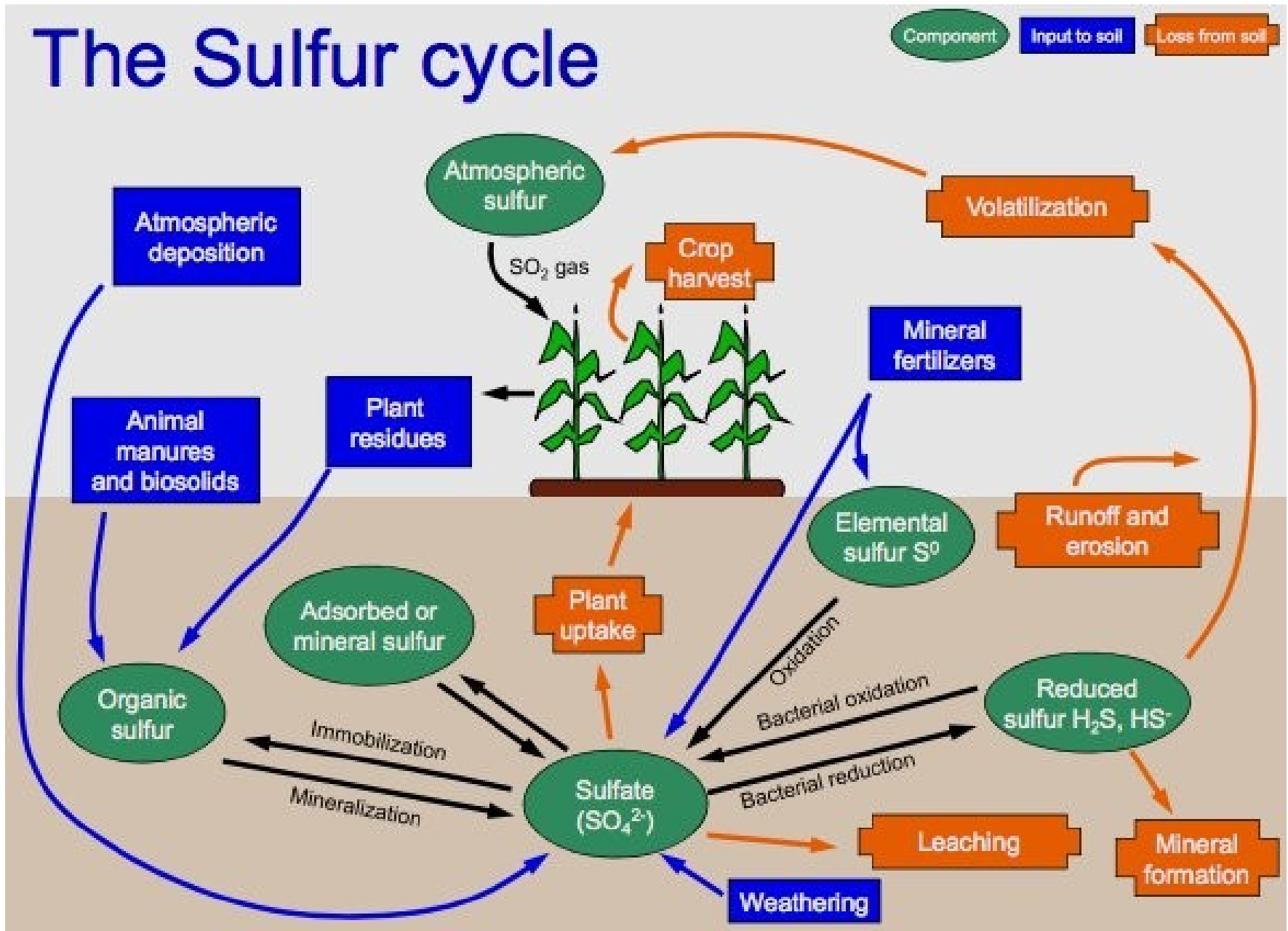


Purpurová sirná bakterie





# The Sulfur cycle



# Selen

V přírodě poměrně vzácný, provází síru, elementární tvoří několik modifikací:

a) **černý** amorfní, sklovitý

b) **šedý** (kovový, šesterečný), polymerní struktura spirálovitých řetězců atomů selenu, nerozpustný v  $\text{CS}_2$ , vede el. proud, stálá modifikace

c) **červený** (jednoklonný), nestálá modifikace (cyklooktaatomové molekuly  $\text{Se}_8$ )



Je prakticky nerozpustný ve vodě, poměrně dobře se rozpouští v sirouhlíku.

Elementární selen je za normálních podmínek stálý, poměrně snadno se slučuje s kyslíkem a halogeny. Ve sloučeninách se selen vyskytuje v mocenství  $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{4+}$  a  $\text{Se}^{6+}$ .

Selen má 5 stabilních izotopů:  $^{74}\text{Se}$ ,  $^{76}\text{Se}$ ,  $^{77}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Se}$ ,  $^{80}\text{Se}$ . Radionuklid  $^{82}\text{Se}$  má poločas rozpadu  $9.2 \cdot 10^{19}$  let.

Minerály selenu jsou poměrně vzácné. Selen se vyskytuje ve formě selenidu jako příměs v sulfidických rudách zejm. mědi, niklu a olova.

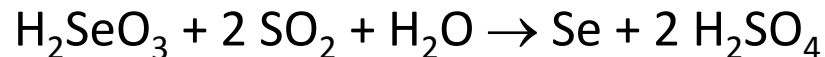
Selen je obsažen v mořské vodě.

Anthropogeními zdroji selenu jsou spalování uhlí a těžba a zpracování sulfidických rud.

## **Výroba**

- kaly z mokrých elektrostatických filtrů z výroby  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (obsahují nízkou koncentraci Se)
- kaly po elektrolytické rafinaci mědi.
- polétavý prach z pražení sulfidů.

Selen se zoxiduje na  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  tavením s  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , po okyselení se vyredukuje elementární Se pomocí  $\text{SO}_2$ :



Technologický význam selenu spočívá v současné době ve výrobě **fotočlánků**. Fotoelektrické články na bázi selenu jako zdroje elektrické energie především v kosmickém výzkumu pro napájení přístrojů na oběžné dráze pomocí solárních panelů. Fotočlánky s obsahem selenu se však používají i pro měření intenzity dopadajícího světla jako expozimetry, například ve fotoaparátech a kamerách. Také většina kopírovacích a reprodukčních přístrojů je osazena selenovými fotočlánky.

**Selenosulfidy**  $\text{SeS}_2$  a  $\text{SeS}$  jsou účinnou látkou šamponů proti lupům.

**Dialkylselenidy** se používají jako inhibitory oxidace ropných maziv.

**Selenany vápníku, barya a zinku** se používají ke zlepšení čistících vlastností motorových olejů.

**Seleničitan sodný** se využívá k dekontaminaci vody znečištěné rozpustnými sloučeninami rtuti.

Selen je **esenciální stopový prvek**, který má pro lidský organismus, i přes svou toxicitu, značný význam.

Ve formě **selenoproteinů** působí jako antioxidant chránící před účinky volných radikálů a zvyšuje činnost imunitního systému, současně se podílí na tvorbě enzymu glutathioinperoxidáza, který je nutný k metabolismu tuků.

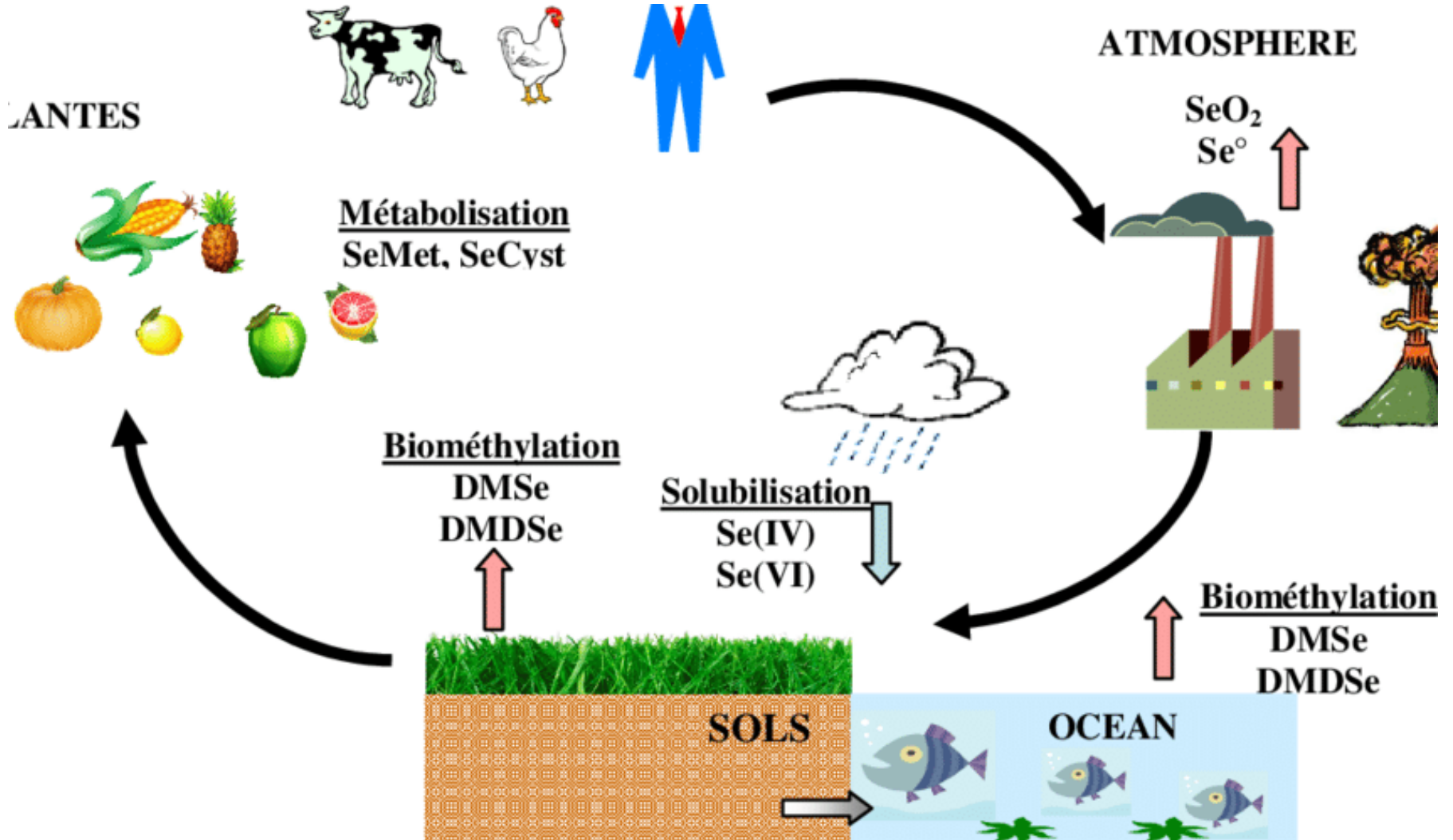
Bylo zjištěno, že pravidelný snížený **příjem selenu v potravě** nepříznivě ovlivňuje především kardiovaskulární systém a zvyšuje riziko infarktu myokardu a cévních onemocnění.

Výskyt selenu **v potravinách** je velmi nerovnoměrný a je ovlivněn jeho obsahem v půdě. Nejvíce selenu je obsaženo v některých druzích ořechů, ve vnitřnostech, rybách a mase mořských plodů. Mezi potraviny s velmi vysokým obsahem selenu patří mořské řasy.

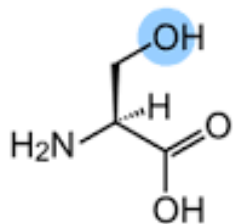
Využitelnost selenu ve formě **selenomethioninu** z rostlinných potravin a **selenocysteinu** ze živočišných potravin je téměř 100%, využitelnost anorganicky vázaného selenu je pouze okolo 15%.

Působením bakterií může Se podléhat **biomethylaci** (vznik DMSe, DMDSe).

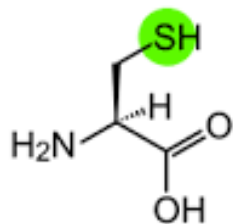
# Biogéochimique cycle de sélénium



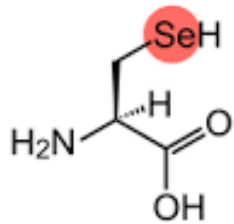
**Selenocystein** je neesenciální proteinogenní aminokyselina podobná cysteinu, ale na rozdíl od něj má místo atomu síry atom selenu. Je to hlavní zdroj organického selenu.



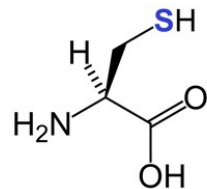
Serine (Ser)



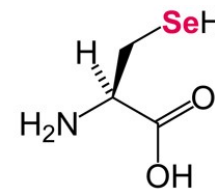
Cysteine (Cys)



Selenocysteine (Sec)

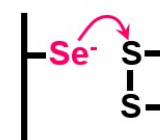
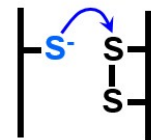


**Cysteine**  
TGT, TGC-codons  
pKa = 8.3



**Selenocysteine**  
TGA-codon  
pKa = 5.2

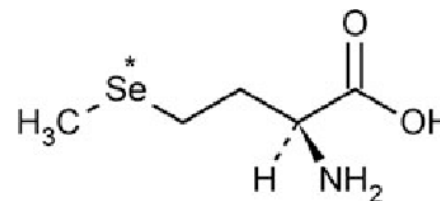
More efficient nucleophilic attack



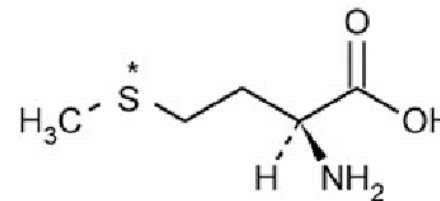
Selenocystein se vyskytuje např. v selenoproteinech formiátdehydrogenázách.

## Selenomethionin

- selenový analog methioninu.



L-(+)-Selenomethionine



Methionine



# Tellur

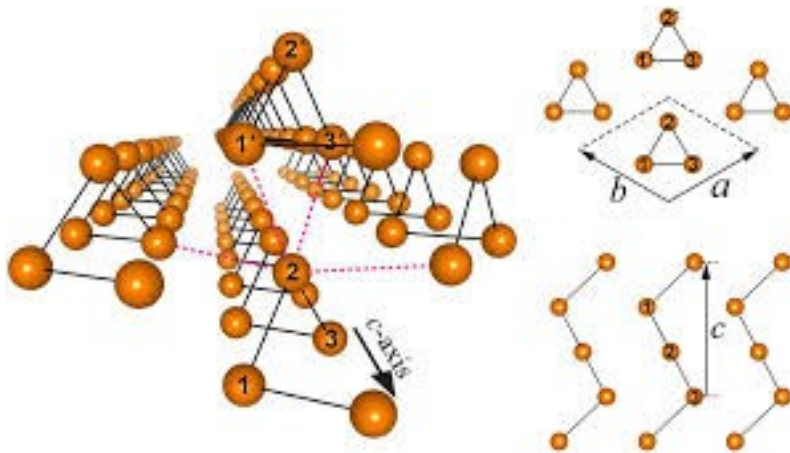
Tellur je za normálních podmínek stálý stříbřitě lesklý a poměrně křehký polokov, který lze snadno roztříít; amorfni tellur je hnědá práškovitá látka.

Tellur má polymerní strukturu tvořenou zig-zag řetězci atomů Te.

V plynném stavu tvoří dvouatomové molekuly  $\text{Te}_2$ , páry telluru mají zlatou barvu.

Snadno se slučuje s kyslíkem a halogeny. Roztavený tellur silně koroduje i nejkvalitnější vysoce legované ocele. Při zahřátí na teplotu 450 C na vzduchu shoří modrozeleným plamenem za vzniku bílého oxidu telluričitého  $\text{TeO}_2$ .

Ve sloučeninách se tellur vyskytuje v mocenstvích  $\text{Te}^{2-}$ ,  $\text{Te}^{2+}$ ,  $\text{Te}^{4+}$  a  $\text{Te}^{6+}$ .

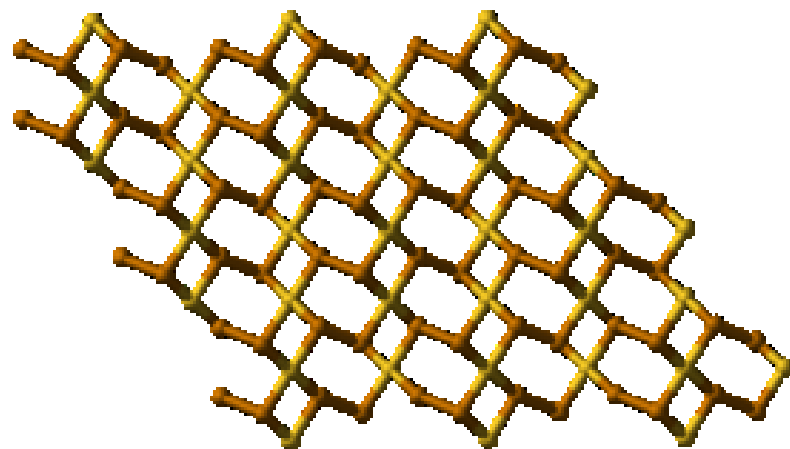


Obsah telluru v zemské kůře je extrémně nízký, je způsoben především tvorbou těkavého hydridu, který v době formování planety unikl do vesmíru.

Tellur obvykle doprovází síru a selen v jejich rudách. Má značnou afinitu ke zlatu a v mnoha zlatých ložiscích se vyskytuje jako příměs. Z minerálů jsou známy například tellurid zlata *calaverit*  $\text{AuTe}_2$ , tellurid stříbra *hessit*  $\text{Ag}_2\text{Te}$  nebo tellurid olova *altait*  $\text{PbTe}$ .

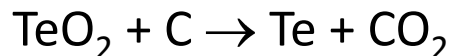


*cal*



## Výroba

Zdrojem telluru jsou anodové kaly z rafinace mědi, nebo zbytky po rafinaci zlata. Kaly se taví s  $\text{NaOH}$ , po vyloužení vodou se z roztoku vzniklého  $\text{Na}_2\text{TeO}_3$  okyselením vyloučí  $\text{TeO}_2$ . Kovový tellur se získá redukcí  $\text{TeO}_2$  uhlíkem:



Působením bakterií může Te podléhat **biomethylaci**.

V **metalurgii** slouží tellur ve formě mikrolegur ke zlepšování mechanických a chemických vlastností slitin. Nízké koncentrace telluru zvyšují tvrdost a pevnost slitin olova i jejich odolnost vůči působení kyseliny sírové. Přídavky telluru do slitin mědi a nerezových ocelí způsobují jejich snazší mechanickou opracovatelnost.

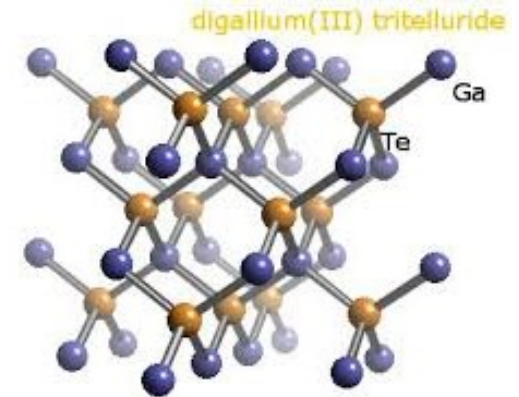
Tellurid gallia nalézá využití v **polovodičovém průmyslu**.

Pro výrobu některých **termoelektrických zařízení** se používá tellurid bismutu.

Ve sklářském průmyslu je v některých speciálních případech tellurem barveno sklo.

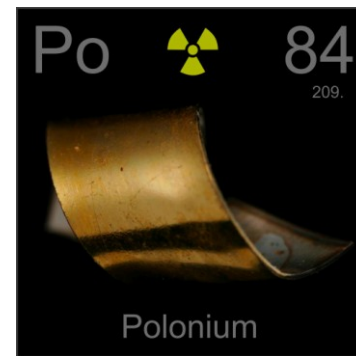
Jako velmi perspektivní se jeví použití sloučenin telluru při výrobě fotočlánků. **Fotočlánky** na bázi telluridu kadmia patří v současné době k nejlevnějším.

Na bázi telluridů jsou i záznamové vrstvy v **přepisovatelných optických discích**.



# Polonium

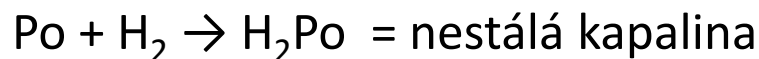
= nestabilní radioaktivní prvek, je členem uran-radiové, neptuniové i thoriové rozpadové řady a v přírodě se proto vyskytuje v přítomnosti uranových rud.



V praxi je nejvíce žívaným izotopem polonia  $^{210}\text{Po}$ , který je silným alfa zářičem s poločasem rozpadu 138,4 dnů. Je známo několik desítek různých izotopů polonia, praktický význam však má pouze  $^{210}\text{Po}$  a dále  $^{208}\text{Po}$  s poločasem rozpadu 2,9 let a  $^{209}\text{Po}$  s poločasem 125 roků.

Je to stříbřitě bílý kov. Jsou známy dvě alotropické krystalické modifikace, kubické  $\alpha$ -Po přechází v rozmezí teplot 18-54 C na trigonální  $\beta$ -Po, které za normálního tlaku při teplotě 55 C sublimuje.

Za laboratorní teploty se ochotně slučuje s vodíkem na polonovodík:



Při teplotě nad 330 C se přímo slučuje se rtutí a olovem na polonid rtuťnatý  $\text{HgPo}$  a polonid olovnatý  $\text{PbPo}$ . S řadou dalších kovů tvoří polonidy až při teplotě nad 1000 C.

Jsou známy halogenidy polonia ( $\text{PoX}_2$ ,  $\text{PoX}_4$  a  $\text{PoX}_6$ ), komplexy ( $\text{PoX}_5^-$  a  $\text{PoX}_6^{2-}$ ) a oxidy polonia ( $\text{PoO}_2$  a  $\text{PoO}_3$ ).

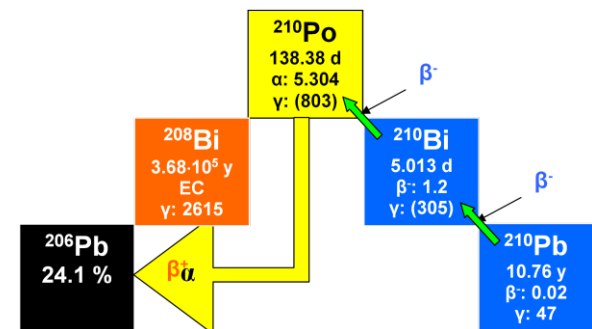
Zjištěno v jáchymovském smolinci. Uměle se připravuje ozařováním bismutu  $^{209}\text{Bi}$  neutrony v jaderných reaktorech

**Praktické využití** nalézají izotopy polonia jako alfa zářiče v medicíně, při odstraňování statického náboje v textilním průmyslu a při výrobě filmů. Používalo se také jako neutronový iniciátor pro první generaci jaderných bomb. V roce 1970 zahřívalo během lunárních nocí komponenty vozidla Lunochod 1.

### Otrava Alexandra Litviněnka

Dle oznámení londýnské policie byl poloniem  $^{210}\text{Po}$  otráven bývalý tajný agent FSB Alexandr Litviněnko, který po požití otráveného čaje zemřel v roce 2006 v Londýně. Jako  $\alpha$ -zářič bylo  $^{210}\text{Po}$  nebezpečné pouze pro konzumentovi čaje.

Sledování poměru  $^{210}\text{Pb} / ^{210}\text{Po}$  se využívá v geochemickém výzkumu.



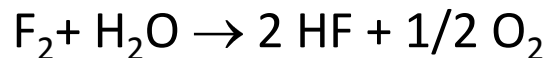
# Chalkogenvodíky

$\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$

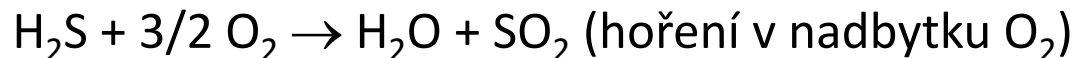
- lomené molekuly, s výjimkou  $\text{H}_2\text{O}$  plyny, snadno zkapalnitelné, jedovaté, nepříjemně páchnoucí

Oxidoredukční i tepelná stálost klesá od  $\text{H}_2\text{O}$  k  $\text{H}_2\text{Te}$ :

- z  $\text{H}_2\text{O}$  lze uvolnit  $\text{O}_2$  pouze nejsilnějšími ox. činidly:



- ostatní chalkogenvodíky se chovají jako reduk. činidla:



## H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>Se a H<sub>2</sub>Te

- dobře se rozpouštějí ve vodě, tvoří slabé až středně silné dvojsytné kyseliny
- disociace odstupňována, roste s velikostí atomu chalkogenu (H<sub>2</sub>S → H<sub>2</sub>Te)
- body tání a varu rostou od H<sub>2</sub>S k H<sub>2</sub>Te
- u vody b.v. a b.t. značně zvýšeny tvorbou vodíkových vazeb

b.v.:

b.t.:

H<sub>2</sub>O 100 °C

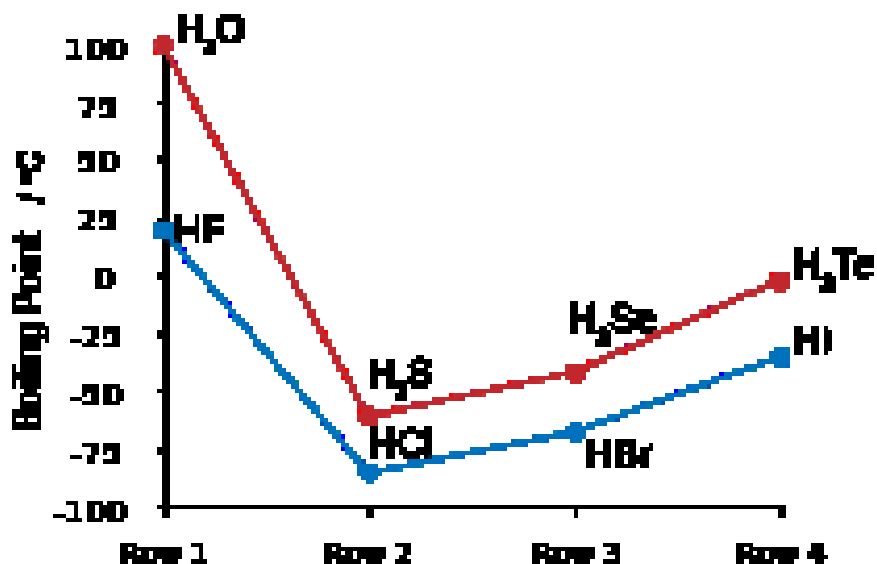
0 °C

H<sub>2</sub>S -60 °C

-86 °C

H<sub>2</sub>Se -42 °C

-60 °C



4A	5A	6A	7A
<b>CH<sub>4</sub></b> Neither acid nor base	<b>NH<sub>3</sub></b> Weak base $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$	<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>HF</b> Weak acid $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$
<b>SiH<sub>4</sub></b> Neither acid nor base	<b>PH<sub>3</sub></b> Very weak base $K_b = 4 \times 10^{-28}$	<b>H<sub>2</sub>S</b> Weak acid $K_a = 9.5 \times 10^{-8}$	<b>HCl</b> Strong acid
		<b>H<sub>2</sub>Se</b> Weak acid $K_a = 1.3 \times 10^{-4}$	<b>HBr</b> Strong acid

Increasing acid strength ↓

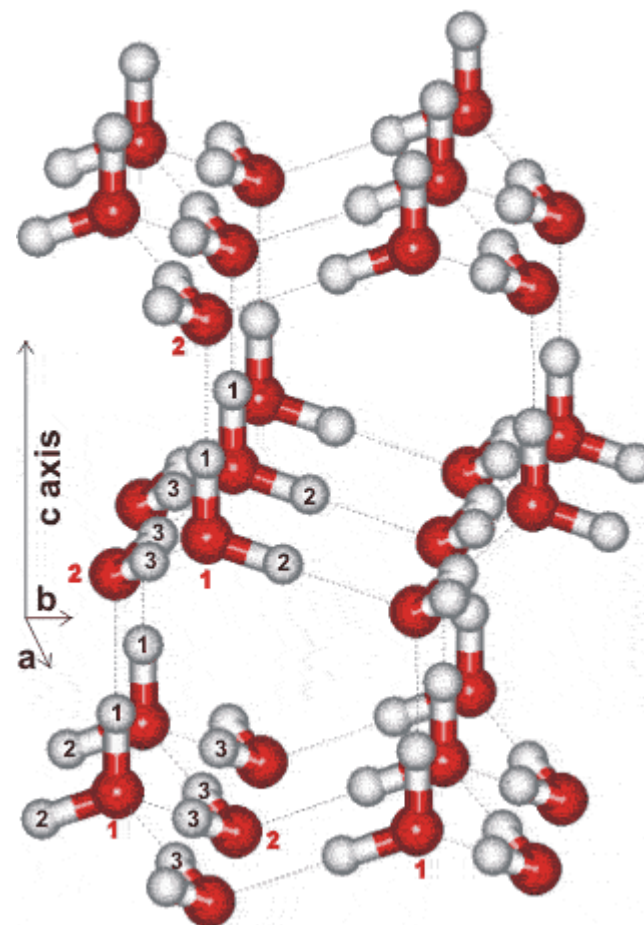
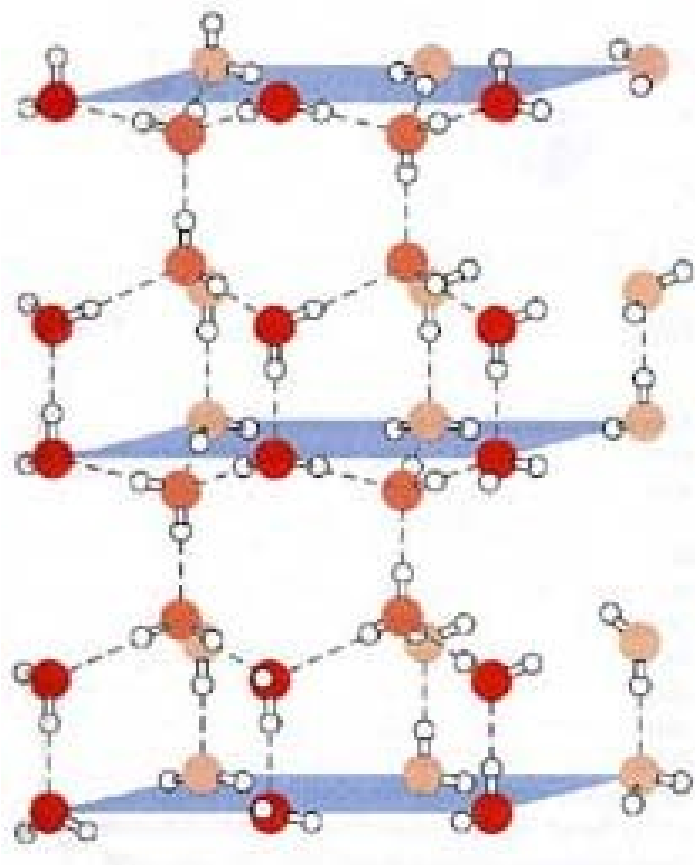
Increasing acid strength →



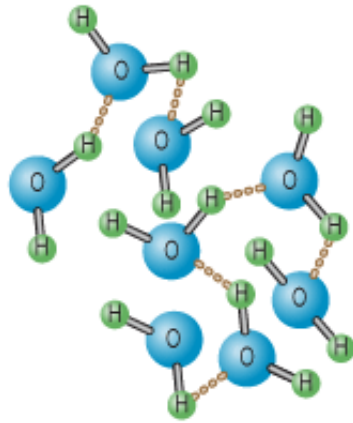


# Struktura ledu

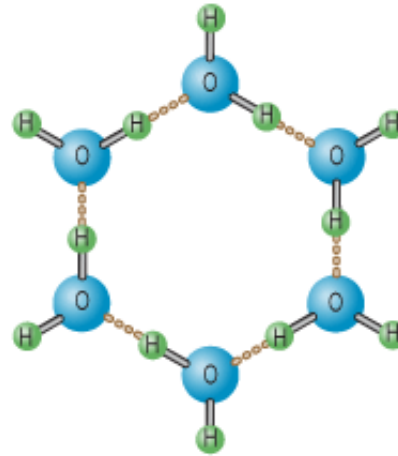
“otevřená struktura ledu” → led má nižší hustotu než voda



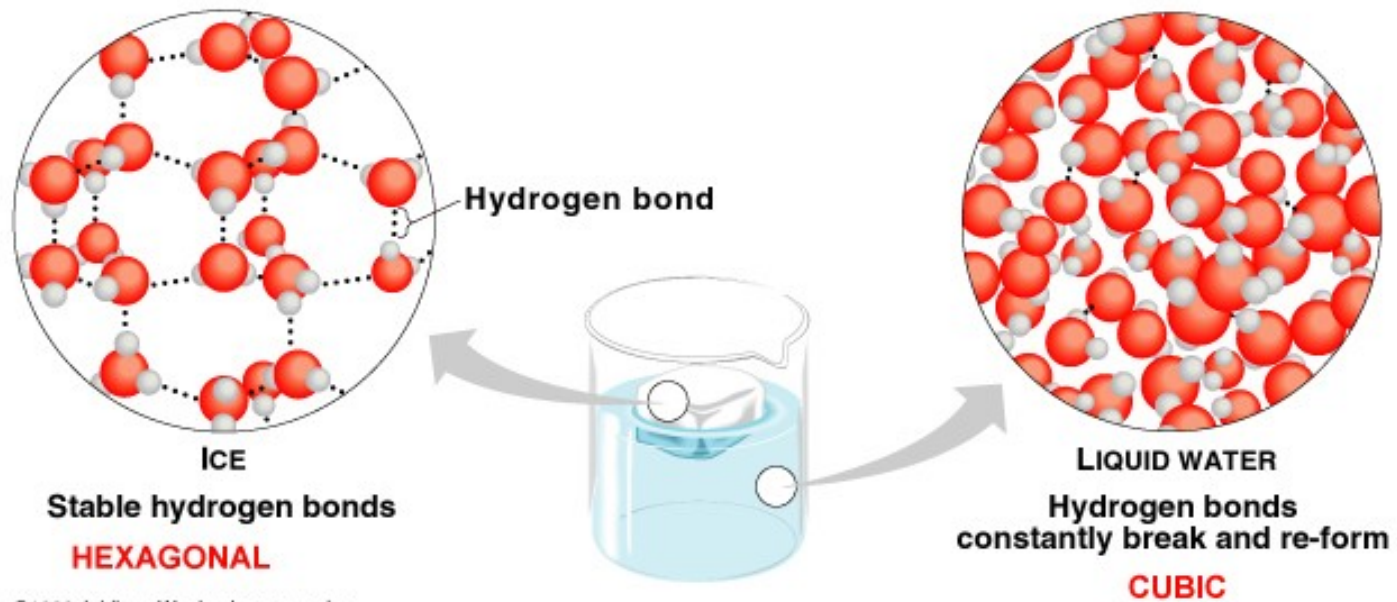
# Led



Structure of molecules in water



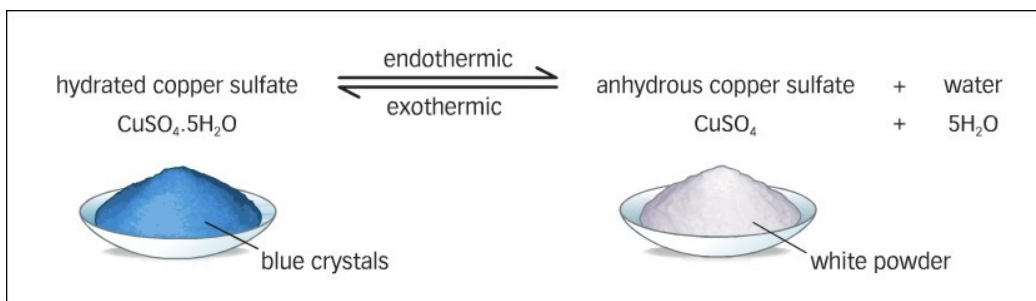
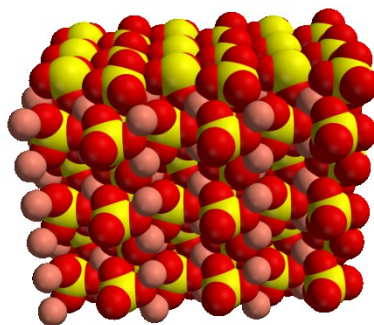
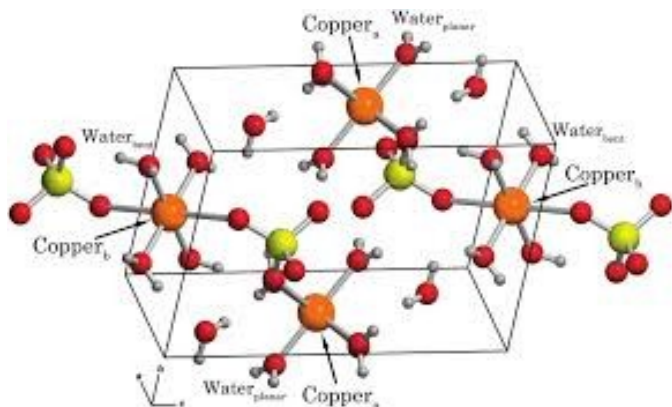
Structure of molecules in ice



# Hydráty a aquakomplexy

**Hydráty** jsou soli, v jejichž krystalech jsou zabudovány molekuly vody. Vlastnosti hydrátů solí se liší od jejich bezvodých solí.

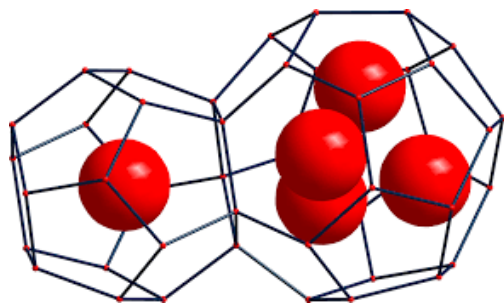
**Aquakomplexy** jsou koordinační sloučeniny obsahující ion přechodného kovu pouze s vodou jako ligandem.



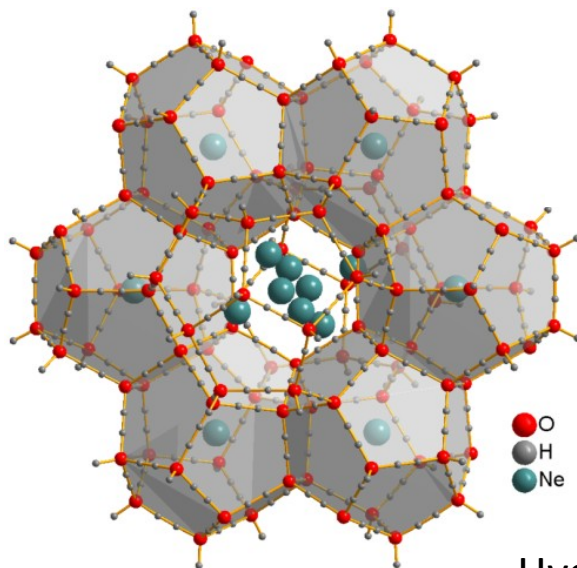
Compound	Formula
magnesium ammonium phosphate hexahydrate	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
copper (II) nitrate hexahydrate	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
copper (II) sulfate pentahydrate	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
mercury (II) nitrate hydrate	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
lithium chromate dihydrate	$\text{Li}_2\text{CrO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
iron (II) acetate tetrahydrate	$\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
copper (II) nitrate trihydrate	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
magnesium sulfate heptahydrate	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
iron (III) oxide trihydrate	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
zinc sulfate hexahydrate	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
lithium sulfate hydrate	$\text{LiHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
sodium phosphate pentahydrate	$\text{NaH}_2\text{PO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
iron (II) sulfate heptahydrate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
sodium chromate tetrahydrate	$\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
manganese (II) chloride tetrahydrate	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
iron (III) chloride hexahydrate	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
sodium sulfate pentahydrate	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
calcium sulfate dihydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
iron (III) nitrate nonahydrate	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
calcium nitrate tetrahydrate	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
zinc nitrate hexahydrate	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
manganese (II) sulfate hydrate	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
beryllium sulfite tetrahydrate	$\text{BeSO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
bismuth (III) nitrate pentahydrate	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
tin (IV) chloride pentahydrate	$\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
nickel (II) nitrate hexahydrate	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
sodium sulfate pentahydrate	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
magnesium chloride hexahydrate	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
manganese (II) bromide tetrahydrate	$\text{MnBr}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
nickel (II) bromide hexahydrate	$\text{NiBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
sodium thiosulfate pentahydrate	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

# Hydrátové klathráty

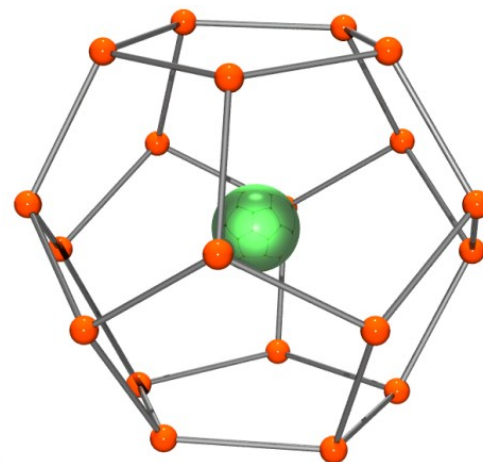
Některé nízkomolekulární plyny, včetně  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , Ar, Kr, Xe, některé vyšší uhlovodíky a freony, tvoří hydráty za vhodných teplot a tlaků.



Hydrát helia



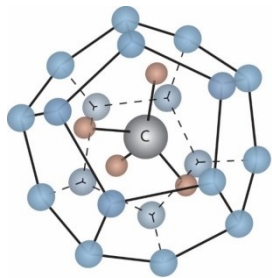
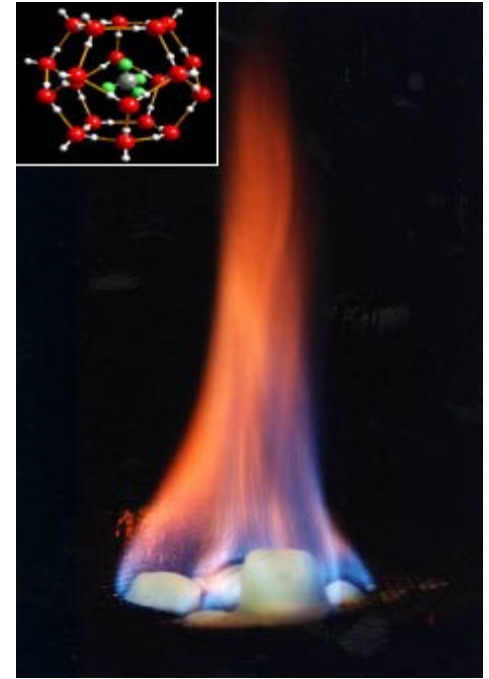
Hydrát neonu



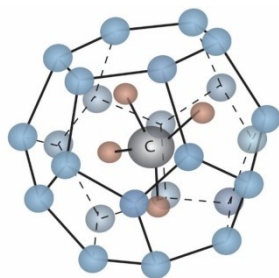
Hydrát xenonu

# Hydráty methanu

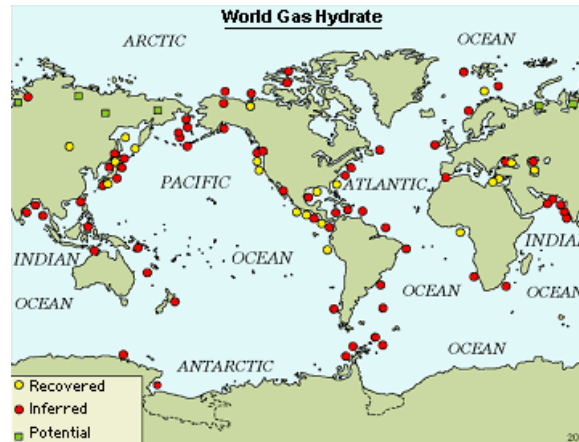
**Metan hydrát** ( $\text{CH}_4 \cdot 5.75 \text{ H}_2\text{O}$ ) je tuhá bílá látka skládající se z krystalické vody, která obsahuje metan. Metan hydrát byl objeven pod sedimenty na dně moří. Předpokládá se, že metan hydrát vzniká uvolňováním metanu ze zemského jádra, který stoupá zlomy v zemské kůře a v místech, kde se smísí s chladnou vodou moře je uzavřen do krystalů. V poslední době se některé země pokoušejí tuto látku těžit za účelem zisku spalitelného plynu.



5<sup>12</sup> Cage



5<sup>12</sup> 6<sup>2</sup> Cage



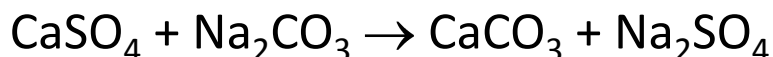
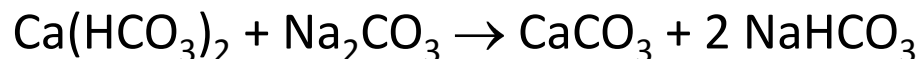
## Tvrdost vody

Vody přírodní - "měkké" či "tvrdé" podle koncentrace rozpuštěných látek

- Tvrdost přechodná - způsobena  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , dá se odstranit varem:



- Tvrdost trvalá - způsobena omezeně rozpustným  $\text{CaSO}_4$ . K potlačení důsledků tvrdosti vody slouží změkčovadla (např. soda či fosforečnan):



Způsoby čištění vody: nejběžnější je *destilace* - odstranění anorg. solí (málo těkavé), org. sloučeniny zčásti přecházejí do destilované vody, z níž se odstraňují:

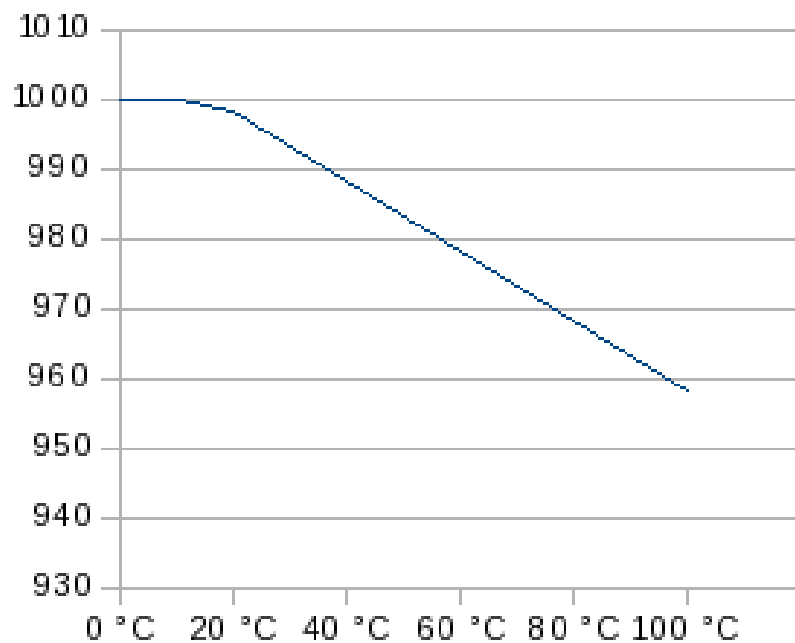
a) přidavkem aktivního uhlí; poté nutno znovu destilovat k odstranění iontů kovů uvolněných do vody z aktivního uhlí

b) přidavkem ox. činidla (např.  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a ozařováním do úplného rozložení přidaného ox. činidla, poté opět destilace. Dříve hojně používaný přídavek  $\text{KMnO}_4$  zvyšuje koncentrace manganu v destilované vodě a proto se již příliš neužívá.

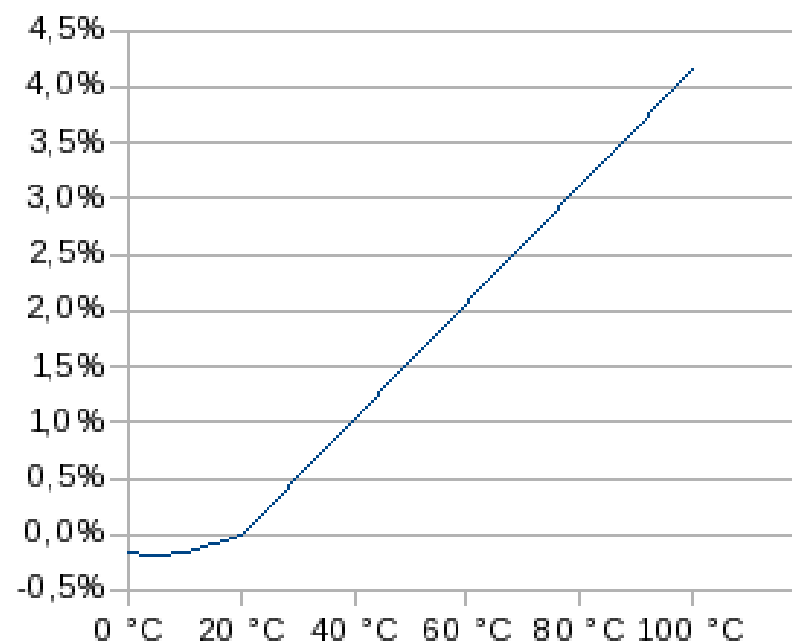
# Fyzikální vlastnosti vody

teplota	0 °C	4 °C	10 °C	20 °C	100 °C
hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	999,84	999,97	999,7	998,2	958,38
objem	998 l	998 l	998 l	1 000 l	1 042 l
zmena objemu	-0,2%	-0,2%	-0,2%	0,0%	4,2%

## Hustota vody



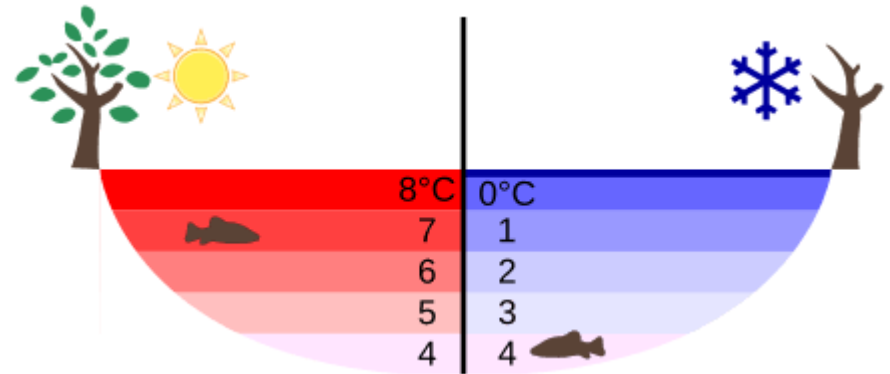
## Zmena objemu



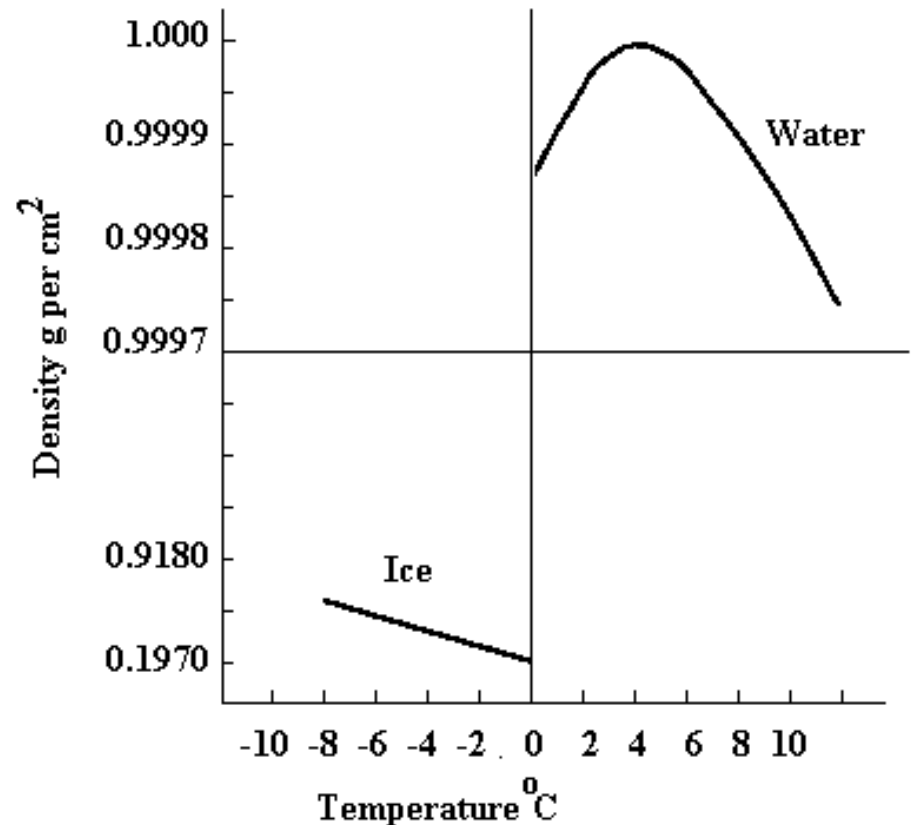
# Anomálie vody

Zahříváme-li vodu z 0 C na 4 C, zmenšuje se její objem a její hustota roste. Ve 4 C voda dosahuje max. hustoty 1000 kg na kubický metr. Teprve od teploty 4 C výše se objem vody zvětšuje a hustota se zmenšuje. Tato odlišná závislost teploty a hustoty vody v porovnání s ostatními kapalinami je anomálie vody.

$$\rho = 1000 \left\{ 1 - \left[ \frac{T + 288.9414}{508929 (T + 68.129630)} \right] (T - 3.9863)^2 \right\}$$



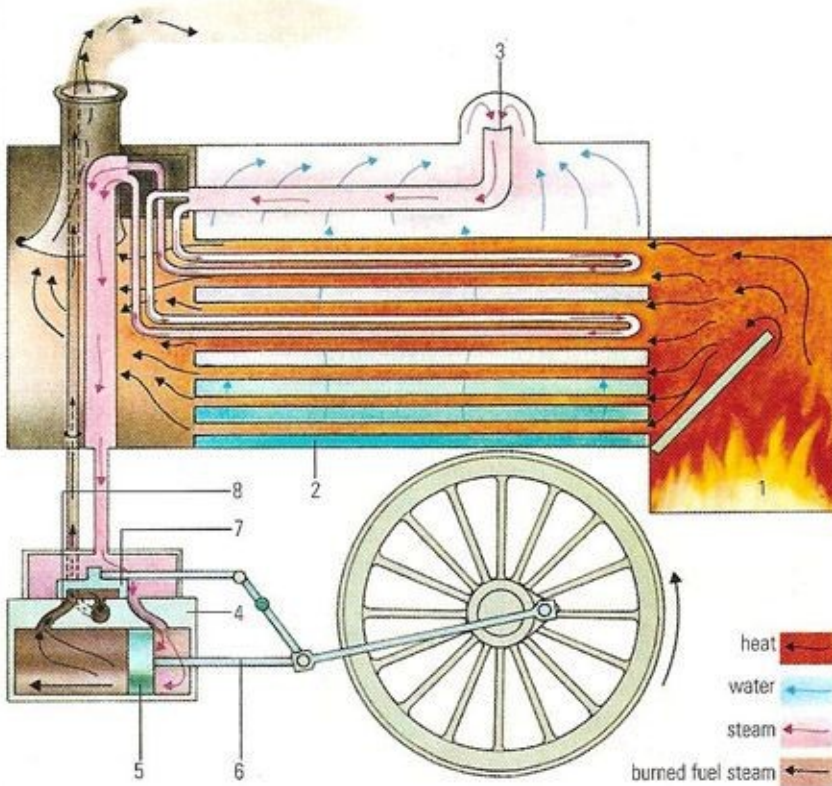
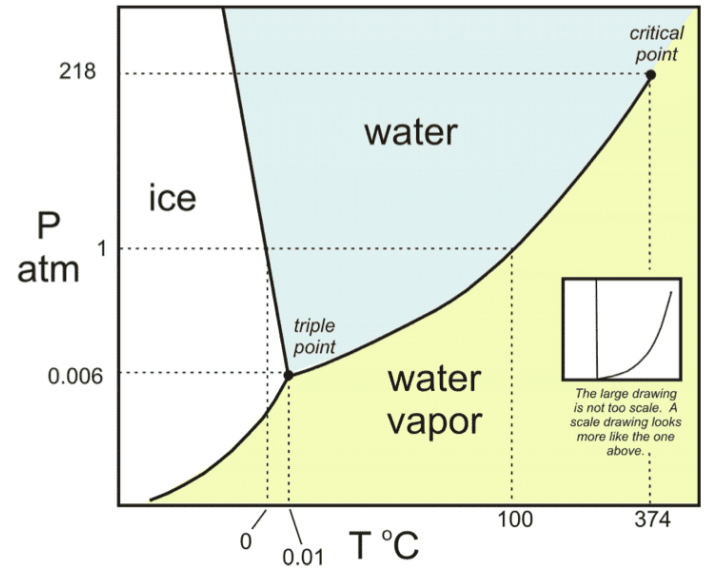
11.2.2 Density of ice and water depends on temperature





# Parní stroj

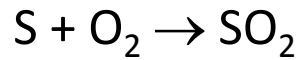
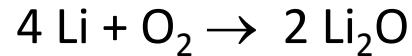
je pístový tepelný stroj, spalovací motor s vnějším spalováním, přeměňující tepelnou energii vodní páry na energii mechanickou, nejčastěji na rotační pohyb. Účinnost parního stroje je poměrně malá.



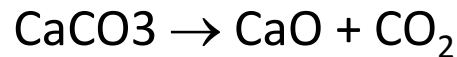
# Oxidy

Oxidy tvoří všechny prvky s výjimkou lehkých vzácných plynů

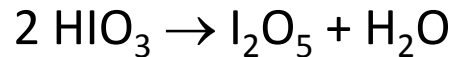
1) Reakcí prvků s kyslíkem



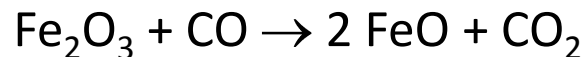
2) Termickým rozkladem



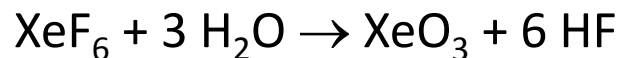
3) Dehydratací



4) Redukcí vyššího oxidu



5) Hydrolýzou



# Oxidy

**Iontové oxidy** – pevné, malá těkavost, silná bazicita

Např.  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\alpha\text{-La}_2\text{O}_3$

**Kovalentní oxidy** – plynné, kapalné, pevné, acidobazicky indiferentní až kyselé

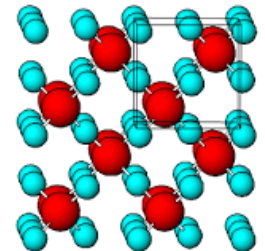
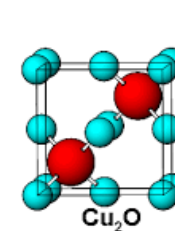
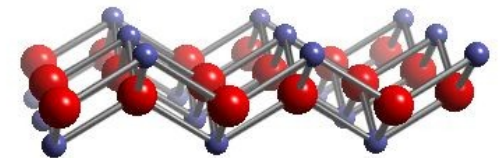
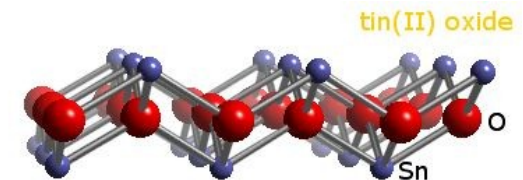
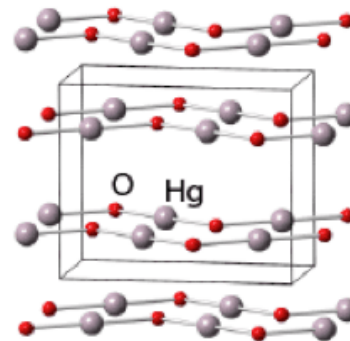
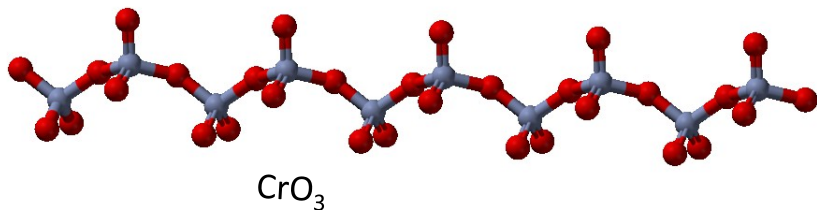
*Izolované molekuly:*  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{OsO}_4$

*Polymerní lineární:*  $\text{HgO}$ ,  $\text{SnO}_2$

*Polymerní řetězovitá:*  $\text{CrO}_3$

*Polymerní vrstevnatá:*  $\text{SnO}$ ,  $\alpha\text{-PbO}$

*Polymerní prostorová:*  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$



# Acidobazické chování oxidů

S atomovým číslem vzrůstá ve skupinách zásadotvorný/zásaditý charakter oxidů, hydroxidů, oxokyselin a klesá v periodách.

basicity increases ↓	Li <sub>2</sub> O	BeO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		F <sub>2</sub> O
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
	K <sub>2</sub> O	CaO	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GeO <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SeO <sub>3</sub>	Br <sub>2</sub> O
	Rb <sub>2</sub> O	SrO	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TeO <sub>3</sub>	I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Cs <sub>2</sub> O	BaO	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO <sub>2</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		

← acidity increases →

	1A (1)	2A (2)	3A (13)	4A (14)	5A (15)	6A (16)	7A (17)	8A (18)
1								
2	Li <sub>2</sub> O	BeO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
3	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> P <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	SO <sub>3</sub> SO <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> Cl <sub>2</sub> O	
4	K <sub>2</sub> O	CaO	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GeO <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> As <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	SeO <sub>3</sub> SeO <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub> O	
5	Rb <sub>2</sub> O	SrO	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> In <sub>2</sub> O	SnO <sub>2</sub> SnO	Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	TeO <sub>3</sub> TeO <sub>2</sub>	I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
6	Cs <sub>2</sub> O	BaO	Tl <sub>2</sub> O	PbO <sub>2</sub> PbO	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PoO <sub>2</sub> PoO		
7	Fr <sub>2</sub> O	RaO						

■ Strongly basic

■ Weakly basic

■ Amphoteric

■ Strongly acidic

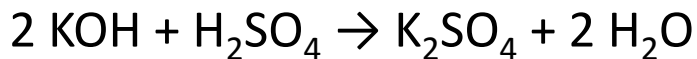
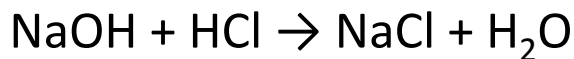
■ Moderately acidic

■ Weakly acidic

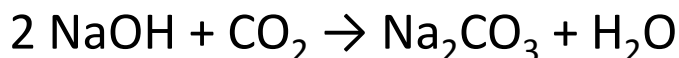
# Hydroxidy

Skupina či látka	Možnosti výroby
Alkalické kovy	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Reakcí s vodou (vzniká vodík, velice exotermní reakce, větší kousky mohou explodovat!)</li><li>2) Reakce oxidu s vodou (rovněž exotermní, probíhá i se vzdušnou vlhkostí)</li></ol>
Amoniak	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Reakce s vodou</li><li>2) Reakce amonné soli s hydroxidem alkalických kovů (zejména s hydroxidem sodným)</li></ol>
Kovy alkalických zemin	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Reakce s vodou</li><li>2) Reakce oxidu s vodou (exotermní, příklad je zejména hašení vápna)</li><li>3) Reakce sloučeniny daného kovu s hydroxidem alkalických zemin (zejména s hydroxidem sodným)</li></ol>
Přechodné kovy a kovy	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Reakce oxidu kovu s vodou</li><li>2) Reakce kovu s vodou za přístupu kyslíku (vzniká oxid, dále probíhá reakce, viz bod 1.)</li><li>3) Reakce sloučeniny kovu s hydroxidem sodným</li></ol>

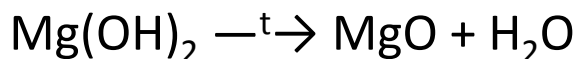
Reakce s kyselinami (neutralizace)



Reakce s oxidy nekovů a polokovů



Zahřívání na vysokou teplotu

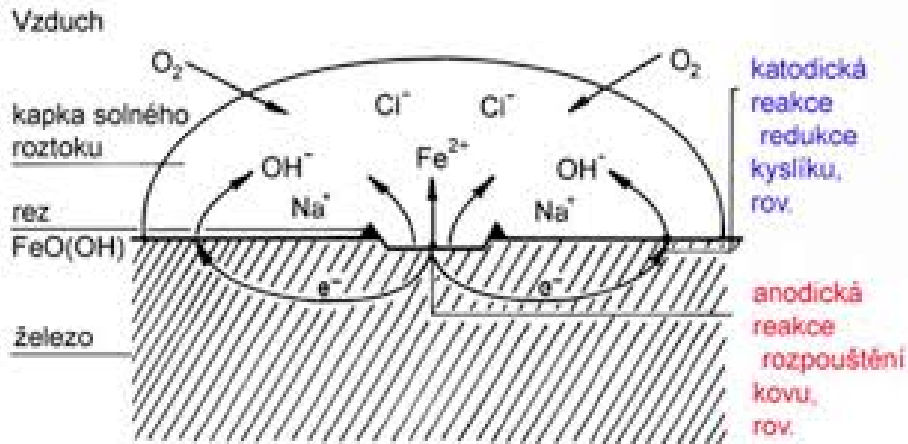


Čisté hydroxidy alkalických kovů jsou tedy schopné reagovat i se sklem. Reakce probíhá docela pomalu, rychleji probíhá s roztaveným hydroxidem. Proto se hydroxidy musí skladovat v plastových lahvích.

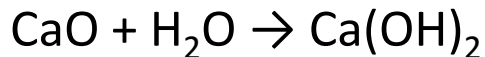


Většina hydroxidů je ve vodě nerozpustná, výjimkou jsou hydroxidy alkalických kovů, hydroxid amonný, barnatý, strontnatý a thallný. Rozpouštění hydroxidů ve vodě je **exotermní děj**, tedy se uvolňuje teplo, avšak molekula zůstane nezměněná, čehož se využívá při čištění odpadů hydroxidem sodným. Většina hydroxidů je hygroskopická.

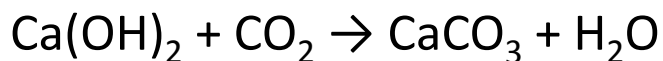
Existuje několik nerostů, které jsou hydroxidy. Jejich vzorce jsou však zapisovány jako hydratované oxidy. Příkladem je zejména *limonit* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  či  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), či *bauxit* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  či  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). V běžném životě se můžeme setkat s hydroxidy jakožto s železnou rzí.



**Hydroxid vápenatý**, též známý jako hašené vápno, průmyslově se vyrábí reakcí páleného vápna, tedy oxidu vápenatého, s vodou, dle rovnice:



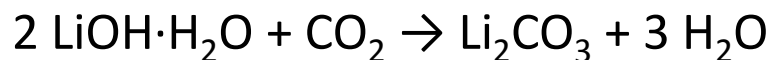
Jakožto vápno se využívá ve stavebnictví. Při tuhnutí reaguje se vzdušným oxidem uhličitým, dle rovnice:



**Hydroxid sodný** je chemická látka, která se používá na pročištění ucpaného odpadního potrubí. Hojně se využívá v organické i anorganické chemii.

**Hydroxid hořečnatý** se používá jako antacid, tedy při neutralizaci překyseleného žaludku.

**Hydroxid lithný** se používá k odstraňování oxidu uhličitého ze vzduchu nebo jiných plynů (např. na kosmických lodích).



Využívá se také jako médium pro přenos tepla, jako elektrolyt v bateriích a jako katalyzátor pro polymeraci, při výrobě keramických materiálů a sloučenin lithia, zejména stearátu lithného (součást plastických maziv díky jeho odolnosti vůči vodě a vysokým i nízkým teplotám).

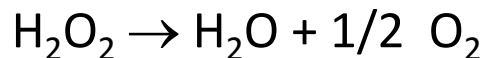
Hydroxid lithný izotopicky obohacený o  $^7\text{Li}$  se používá pro alkalizaci chladicího média v tlakových vodou chlazených jaderných reaktorech (zvyšuje odolnost proti korozi).



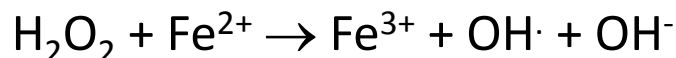
# Peroxid vodíku H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

- světle modrá, sirupovitá, vysoce polární kapalina, neomezeně mísitelná s vodou
- rozpustný též v polárních org. rozpouštědlech (např. v diethyletheru)
- jako rozpouštědlo je H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nevhodný, snadno se rozkládá:

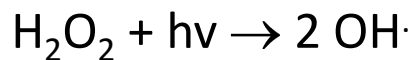
a) za katal. účinku stop těžkých kovů na H<sub>2</sub>O a O<sub>2</sub>:



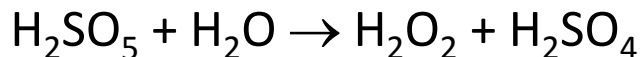
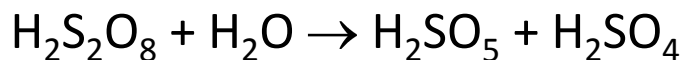
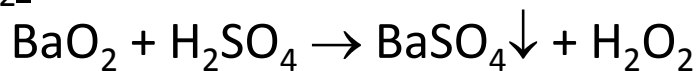
b) za přítom. iontů přechod. kovů probíhá Fentonova reakce:



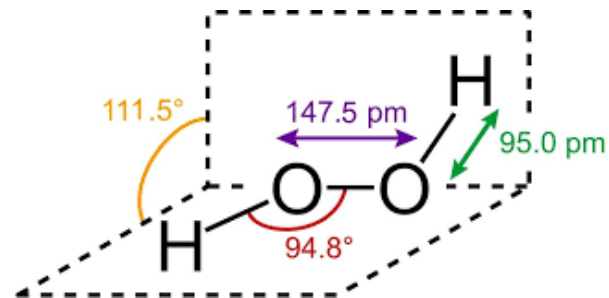
c) UV světlem se homolyticky rozkládá:



Příprava H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:

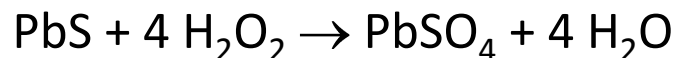
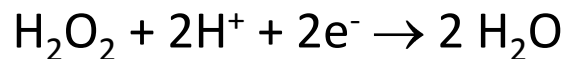


z reakčních produktů se oddělí destilací za vakua

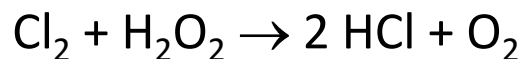
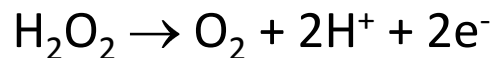


H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> může působit jako mírné oxidační nebo redukční činidlo:

a) oxidační činidlo (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se redukuje na H<sub>2</sub>O):

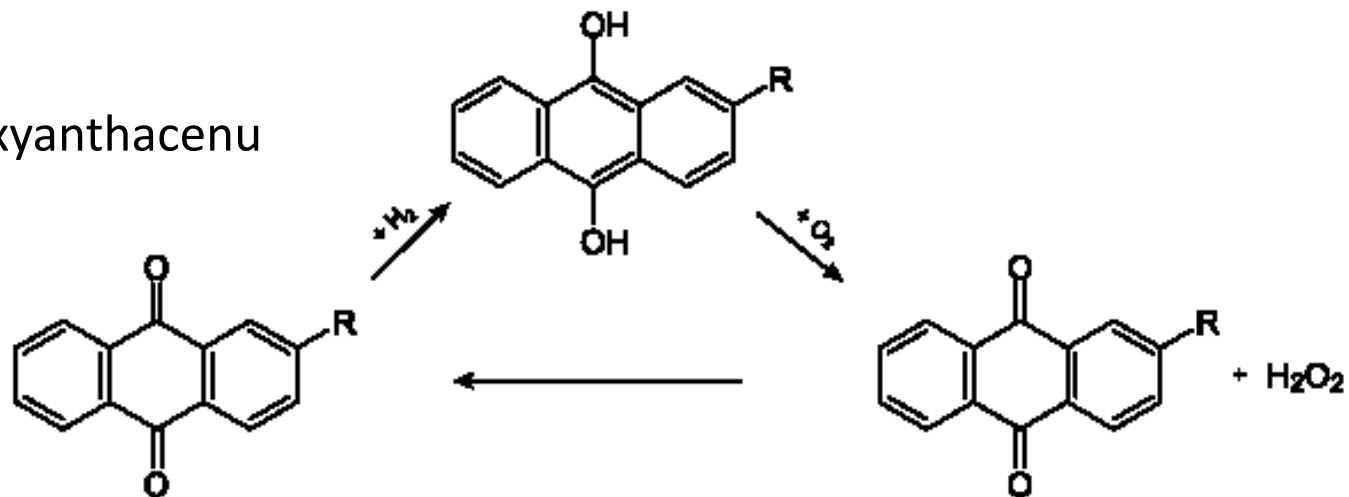


b) reduk.činidlo (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se oxiduje na O<sub>2</sub>):



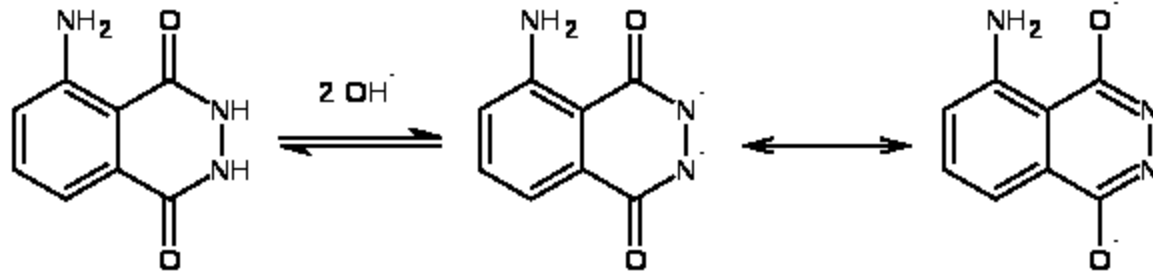
## Výroba H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

- oxidace 9,10-dihydroxyanthracenu





# Využití H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v chemiluminiscenčních reakcích

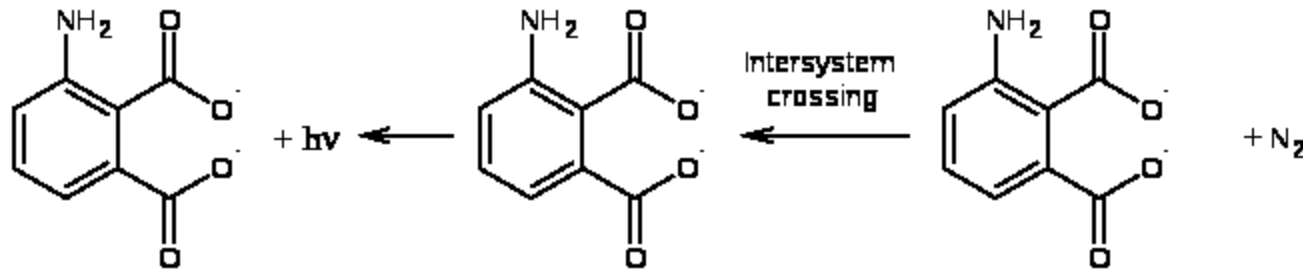


Luminol

Dianion

Dianion

Reaction with O<sub>2</sub>  
produces unstable peroxide



Ground state dianion (S<sub>0</sub>)

Singlet dianion (S<sub>1</sub>)  
Excited state

Triplet dianion (T<sub>1</sub>)  
Excited state



chemoluminiscenční detekce (těžkých kovů, stop krve, apod.)

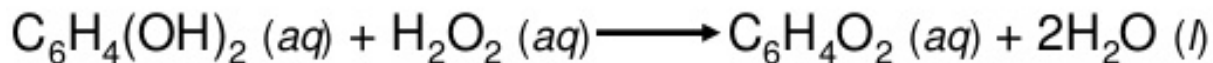
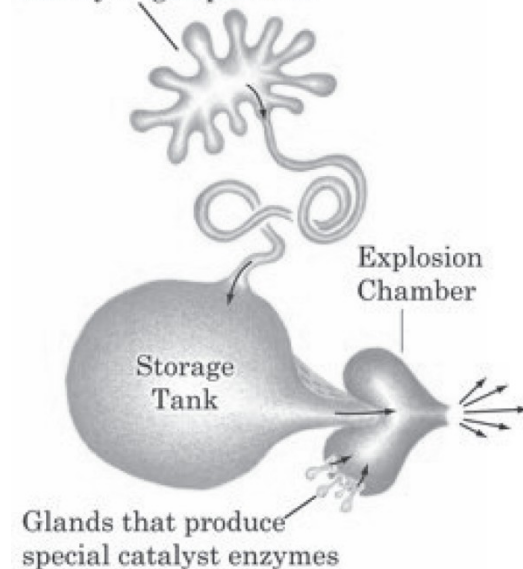
# H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v přírodě

**Prskavec** (*Brachinus*), brouk z čeledi Carabidae, u nás je kriticky ohrožený.

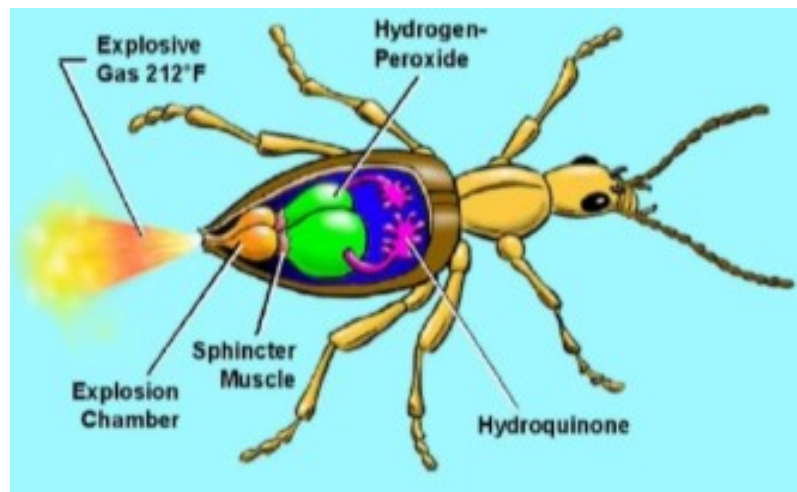
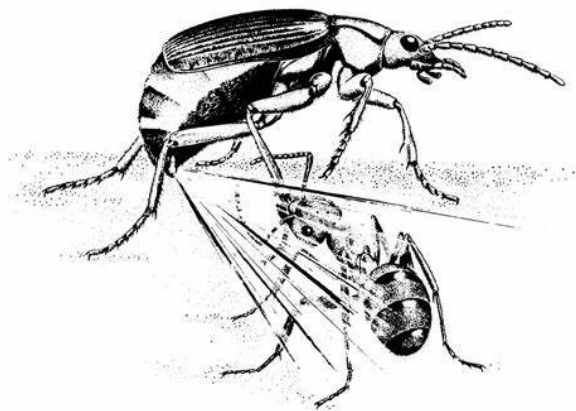
Jako obranný mechanismus používá směs hydrochinonu a peroxidu vodíku:



Gland that produces hydroquinones and hydrogen peroxide



$$\Delta H = -204 \text{ kJ/mol}$$

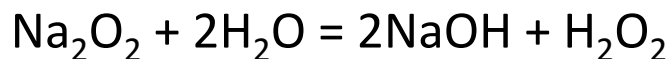


## Peroxidy $O_2^{2-}$

vznikají při hoření alkalických kovů nebo kovů alkalických zemin ve vzduchu nebo kyslíku. Peroxidový iont obsahuje o dva elektrony více než molekula kyslíku. Tyto dva elektrony, doplňují dva  $\pi^*$  antivazebné orbitály což vede k oslabení vazeb peroxidového iontu a větší délku vazby O-O . Peroxidový iont je diamagnetický.

Peroxidy jsou silnými oxidačními činidly a obvykle jsou poměrně nestabilní. Organické sloučeniny jsou oxidovány na uhličitany, a to i za normálních teplot. Peroxid sodný silně oxiduje kovy, např. železo.

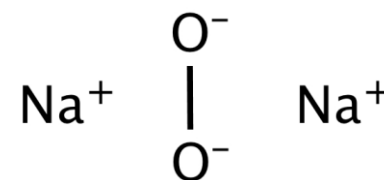
Iontové peroxidy reagují s vodou a zředěnými kyselinami za tvorby peroxidu vodíku.



### Příprava:

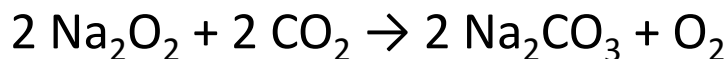
1) Neutralizací  $H_2O_2$  hydroxidy

2) Přímou reakcí:  $2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$  (nažloutlý prášek)



**Peroxid barnatý** BaO<sub>2</sub> se používá v pyrotechnice a značkovací munici, dříve se používal při výrobě peroxidu vodíku.

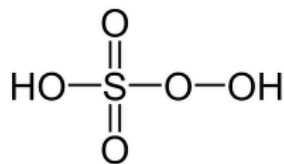
**Peroxid sodný** Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> je pevná, hygroskopická látka, nachází uplatnění jako oxidační činidlo a používá k pohlcování oxidu uhličitého a jako regenerátor kyslíku (např. v ponorkách)



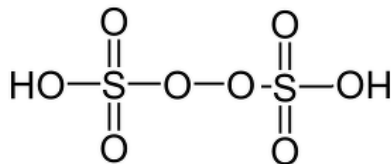
**Peroxosloučeniny** - obecně látky, včetně organických, které mají ve své struktuře motiv -O-O- (atomy kyslíku v ox. stupni -I)

**Peroxidové kyseliny** (peroxokyseliny) jsou kyseliny, u nichž je skupina -OH nahrazena skupinou -OOH. Tyto kyseliny, resp. jejich soli, tvoří především prvky ze 14.-16. (IV.-VI.) skupiny periodické tabulky, v menší míře též triely a některé přechodné kovy.

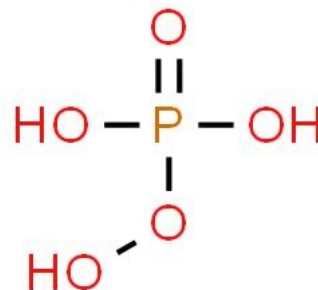
Patří mezi velmi silná oxidační činidla, většina peroxidových kyselin se připravuje elektrolytickou oxidací běžných kyslíkatých kyselin.



Peroxy monosulphuric acid



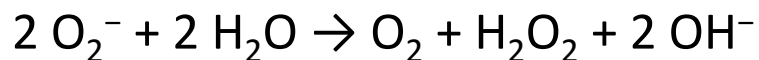
Peroxy disulphuric acid



## Superoxidy (hyperoxydy) $O_2^-$

Díky nepárovému elektronu je superoxidový ion **volný radikál**, který má paramagnetické vlastnosti jako kyslík  $O_2$ .

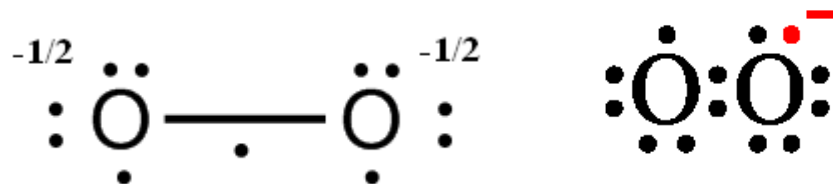
**Superoxidy  $CsO_2$ ,  $RbO_2$ ,  $KO_2$ , a  $NaO_2$**  jsou připravovány řízenou reakcí  $O_2$  s daným alkalickým kovem. Alkalické soli  $O_2^-$  jsou oranžovo-žluté a málo stálé, proto se musí uchovávat v suchu. Při rozpouštění ve vodě  $O_2^-$  probíhá reakce velmi bouřlivě za vzniku peroxidu, hydroxidových anionů a vzdušného kyslíku:



Soli se při zahřátí rozpadají na vzdušný kyslík a peroxid daného kovu:



Tato reakce se používá ke generování kyslíku v raketoplánech, ponorkách a dýchacích přístrojích pro hasiče.



Superoxidy jsou účinná **oxidační činidla** (používaný je zejm.  $KO_2$ )

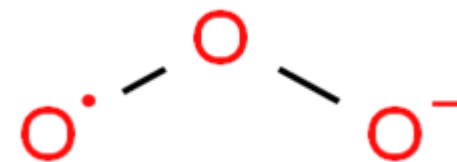


**TABLE 14.2** Bond and Magnetic Properties of Diatomic Oxygen Species

Species	Number of $\pi^*_{2p}$ Electrons	Number of Unpaired Electrons	Bond Order	Bond Length (pm)	Magnetic Properties
$O_2$	2	2	2	121	Paramagnetic
$O_2^-$	3	1	1.5	133	Paramagnetic
$O_2^{2-}$	4	0	1	149	Diamagnetic

## Ozonidy $O_3^-$

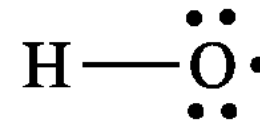
jsou binární (dvouprvkové) sloučeniny kyslíku s elektropozitivními prvky. Ve své struktuře obsahují ozonidový anion  $O_3^-$ . Struktura ozonidového aniontu je shodná se strukturou ozonu, ale navíc obsahují jeden elektron, který je umístěn do delokalizovaného protivazebného orbitalu.



Ozonidy vznikají reakcí K, Rb a Cs s ozonem, nebo reakcí alkalických hydroxidů s ozonem. Ozonidy Li a Na jsou extrémně nestabilní.

Iontové ozonidy byly zkoumány souvislosti s chemickými generátory kyslíku.

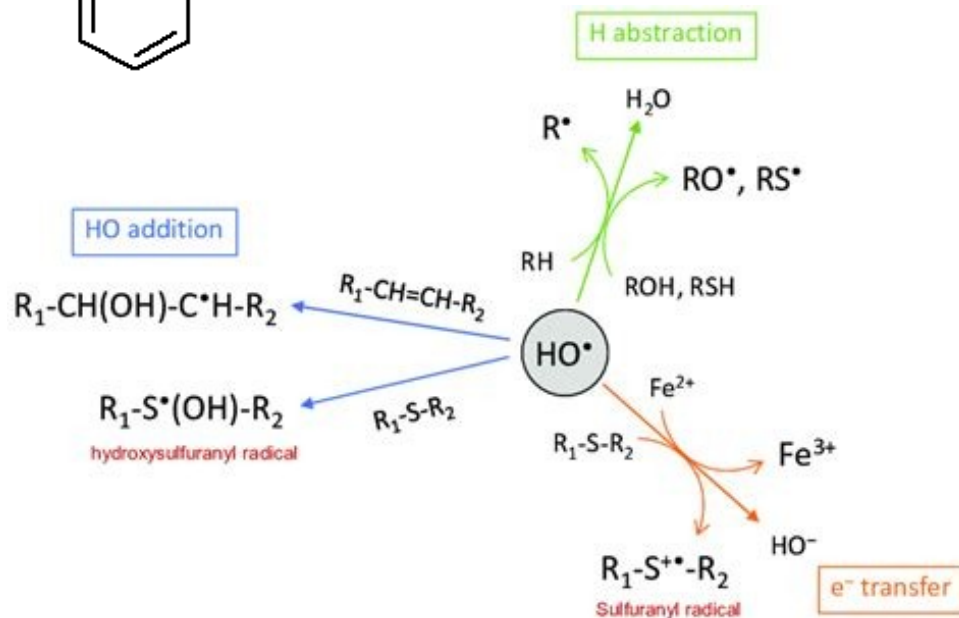
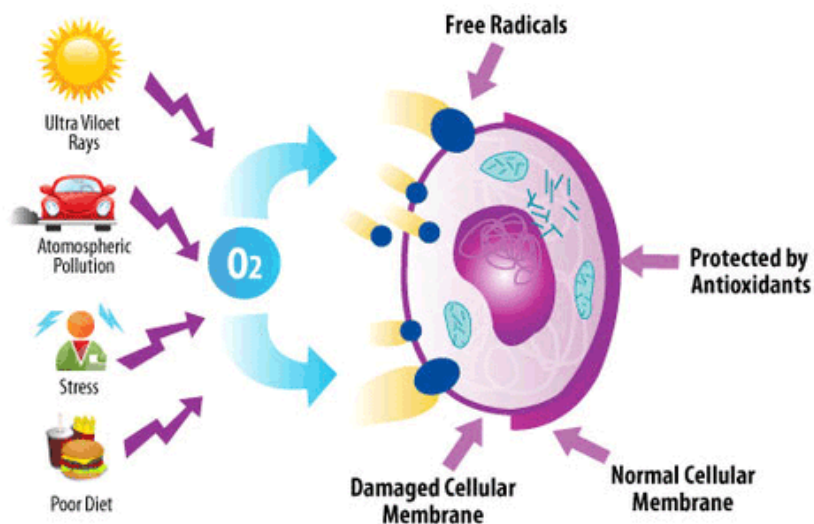
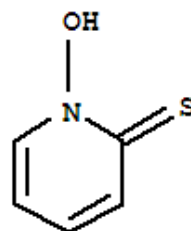
# Hydroxylové radikály



Hydroxylové radikály jsou vysoce reaktivní, mají krátkou dobu života. Vznikají rozkladem peroxidů, resp. působením krátkovlnného (UV, rtg, gamma) záření na vodu a patrně též při Fentonově reakci:

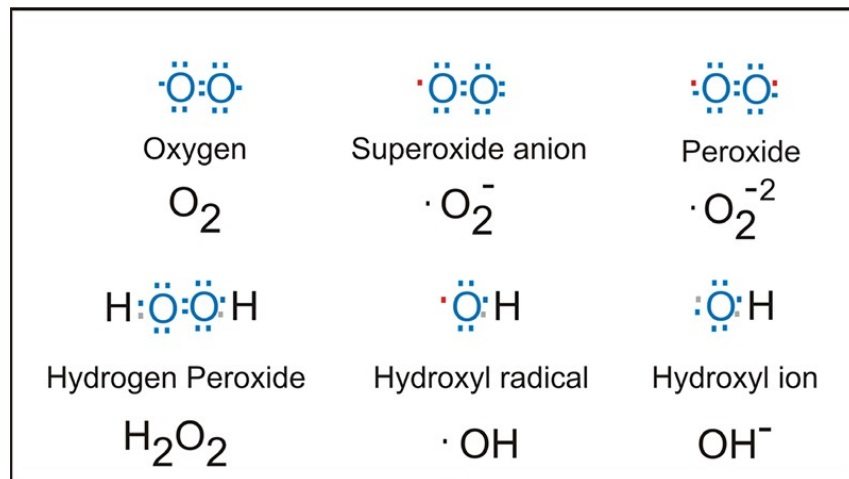
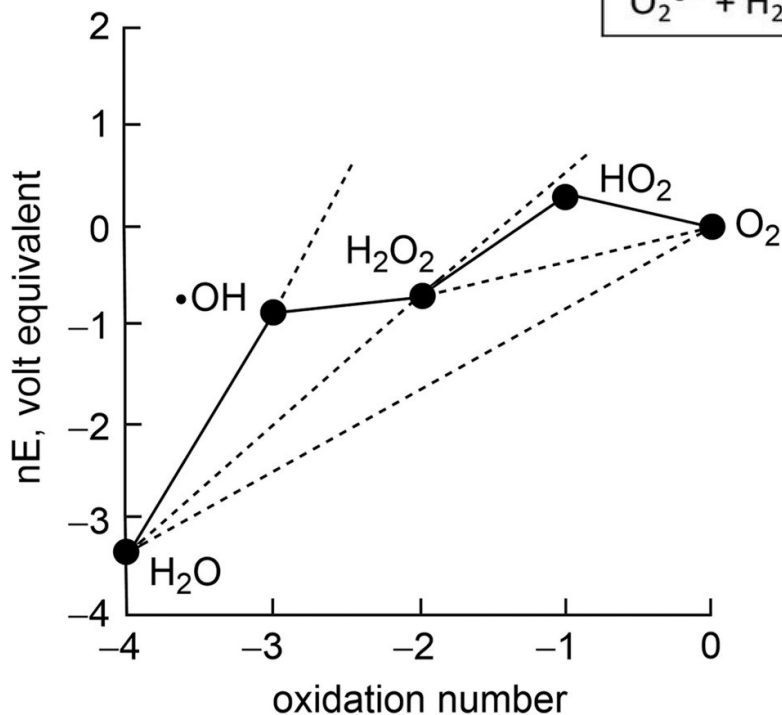
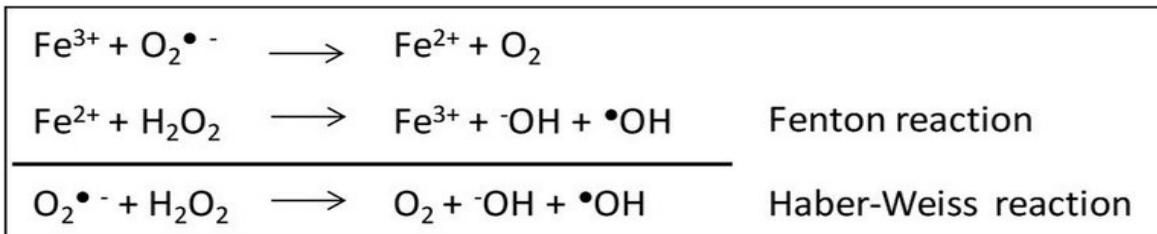


V organické syntéze vznikají hydroxylové radikály nejčastěji fotolýzou 1-hydroxy-2-pyridinethionu.



## Fentonova reakce

Využívá se při odbourávání organických polutantů ve vodách.



# Reaktivní formy kyslíku (ROS, *Reactive Oxygen Species*)

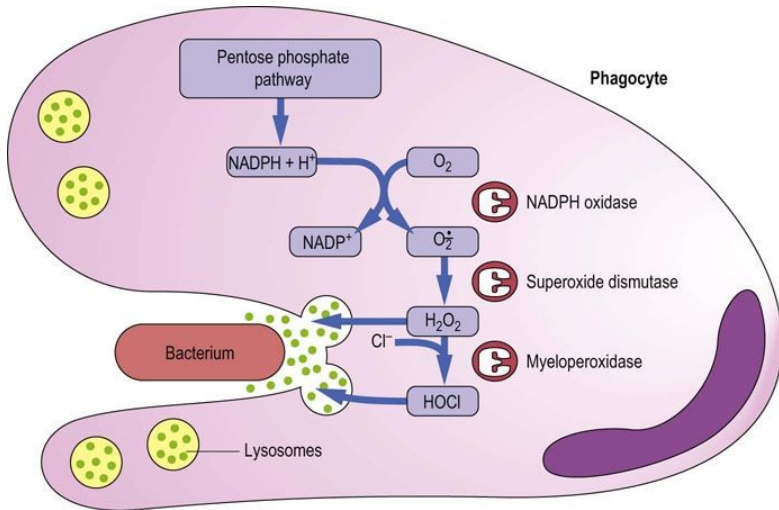
jsou součástí mnoha patologických, ale i fyziologických a biochemických pochodů.

Volné kyslíkové radikály	Látky, které nejsou volnými radikály
Superoxid ( $\bullet\text{O}_2^-$ )	Peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
Hydroxylový radikál ( $\text{HO}\bullet$ )	Kyselina chlorná ( $\text{HClO}$ )
Peroxyl ( $\text{ROO}\bullet$ )	Ozon ( $\text{O}_3$ )
Hydroperoxyl ( $\bullet\text{HO}_2$ )	Singletový kyslík ( $^1\text{O}_2$ )

Nejčastěji jsou reaktivními formami tzv. volné radikály (chemická entita která má ve vnější sféře svého elektronového obalu alespoň jeden nespárovaný elektron). To způsobuje její relativně **vysokou reaktivitu**, ale zároveň je schopna **samostatné existence**.

Reaktivní formy mohou reagovat s mastnými kyselinami, lipidy, aminokyselinami, proteiny, mono a polynukleotidy (NK), s řadou nízkomolekulárních metabolitů, s koenzymy atd. Tyto reakce narušují struktury daných sloučenin, čímž způsobují patologie.

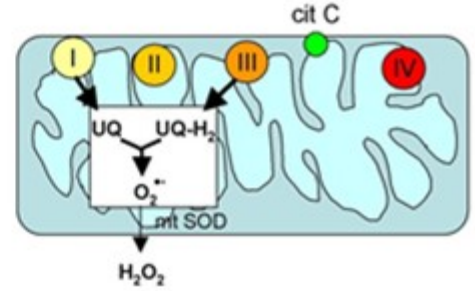
Reaktivní formy mohou vznikat přímo v organismu, podílejí se na fagocytóze



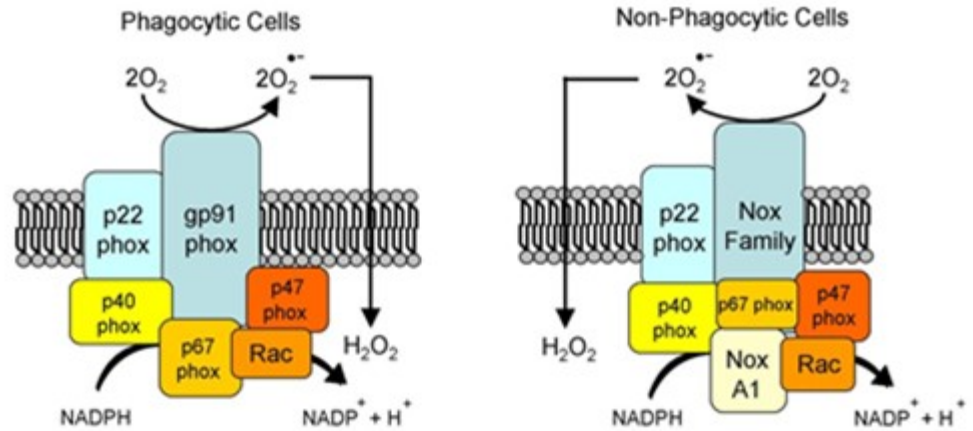
### a) Mitochondria

Stimuli inducing increased mitochondrial generation of ROS:

- serum deprivation
- integrin signalling
- apoptosis
- TNF $\alpha$
- hypoxia
- ceramide
- p53
- oncogenic Ras



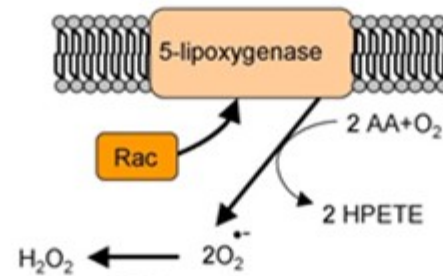
### b) NADPH oxidase





### Stimuli for activation of NADPH oxidase and 5-lipoxygenase

- integrin signalling
- growth factors
- cytokines/hormones
- immunological stimuli
- hypoxia
- oncogenic Ras

### c) 5-lipoxygenase

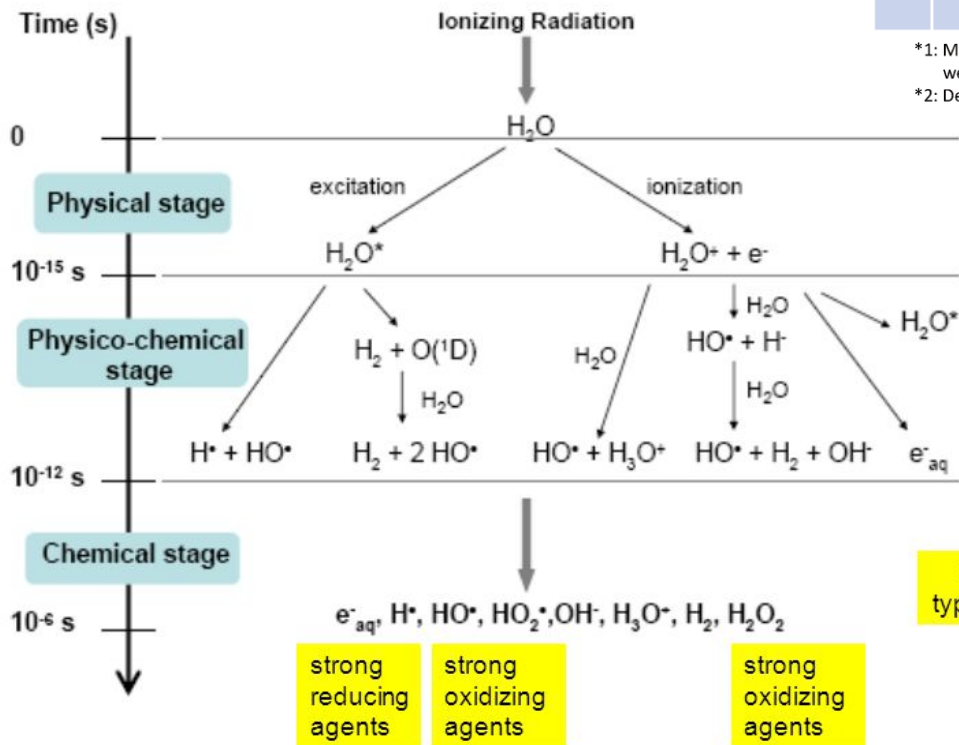


## Příčina *akutního radiačního syndromu* („nemoc z ozáření“)

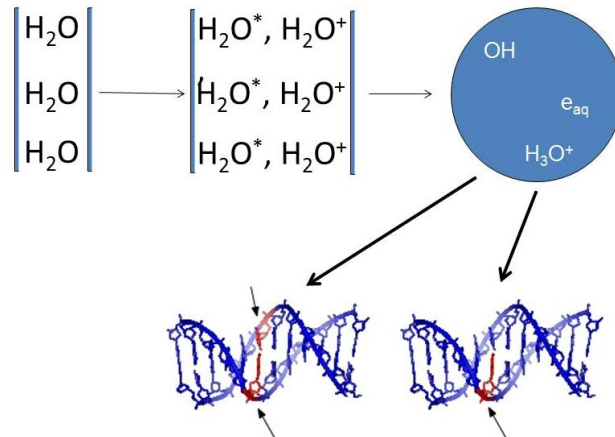
		Incubation period	e.g.	Mechanism of how radiation effects appear
Categories of effects	Physical effects	Within several weeks = Acute effects (early effects)	Acute radiation syndromes* <sup>1</sup> Acute skin disease	Deterministic effects (tissue reactions) caused by cell deaths or cell degeneration* <sup>2</sup>
		After the lapse of several months = Late effects	Abnormal fetal development (malformation)	Stochastic effects due to mutation
Heritable effects	Opacity of the lens		Hereditary disorders	
	Cancer and leukemia			
				 

\*1: Major symptoms are vomiting within several hours after exposure, diarrhea continuing for several days to several weeks, decrease of the number of blood cells, bleeding, hair loss, transient male sterility, etc.

\*2: Deterministic effects do not appear unless having been exposed to radiation exceeding a certain dose level.



Diffusion typically 5 μm



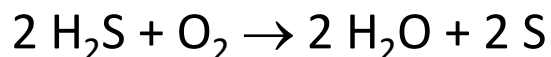
# Sulfan a polysulfany

## Sulfan (sirovodík) H<sub>2</sub>S

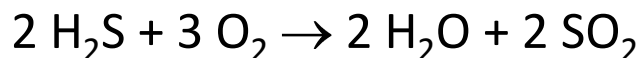
- bezbarvý, **vysoce jedovatý** plyn, páchnoucí po zkažených vejcích, ve vodě rozpustný - tzv. sirovodíková voda

- kyselá reakce

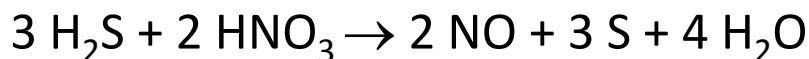
- ve vodném roztoku se vzdušným kyslíkem pomalu oxiduje:



- zapálen na vzduchu hoří (směs sulfanu a vzduchu je výbušná):

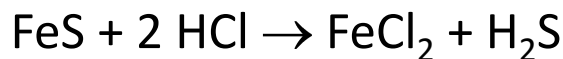


- sulfan je redukčním činidlem, např.:



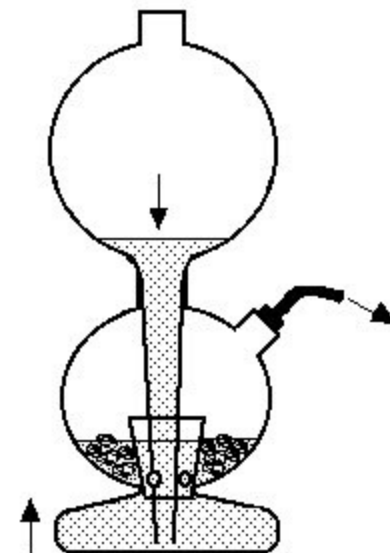
### Příprava:

- rozkladem sulfidu v Kippově přístroji:



### Použití:

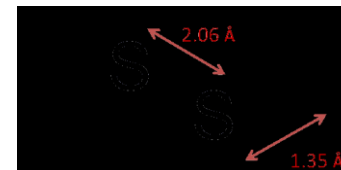
- k výrobě síry, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, srážení těžkých kovů



V přírodě se vyskytuje v sopečných plynech, minerálních pramenech, ve zkažených vejcích (rozklad aminokyselin cysteinu a methioninu).

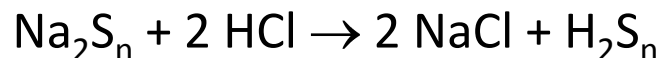
## Polysulfany

- vyšší hydridy síry typu  $H_2S_n$  ( $n=2-8$ )
- ostatní chalkogeny netvoří analogické sloučeniny.
- řetězovité molekuly  $H-S-.....-S-H$  (většinou žluté kapaliny)

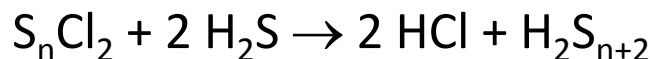


## Příprava:

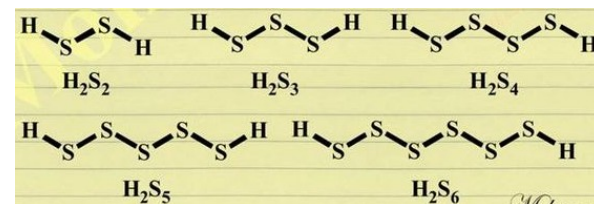
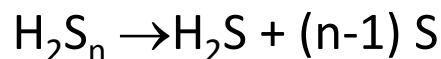
- 1) rozkladem polysulfidů kyselinami:



- 2) reakcí halogensulfanů s  $H_2S$ :



- nestálé látky:



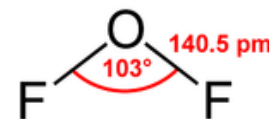
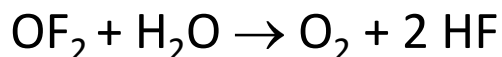


# Halogenidy chalkogenů

- A) Fluoridy kyslíku - ze všech halogenů jen fluor elektronegativnější než kyslík, proto existují jen fluoridy kyslíku

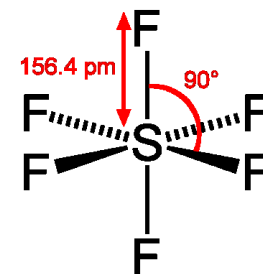
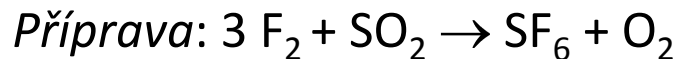
**Difluorid kyslíku (OF<sub>2</sub>)** - jediná stálá sloučenina za laboratorní teploty

- žlutý jedovatý plyn, silně ox. účinky, vodou se rozkládá:

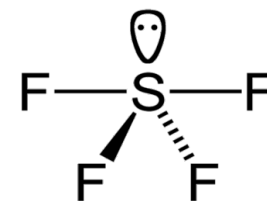
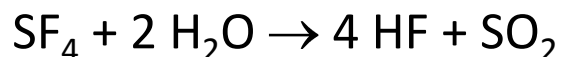


- B) Halogenidy S, Se, Te - z fluoridů síry je důležitý:

**Fluorid sírový (SF<sub>6</sub>)** - neobyčejně stálý, nepolární, inertní plyn (stabilní oktaedr)

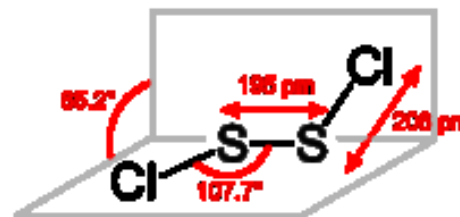
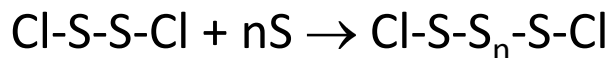


**Fluorid siřičitý (SF<sub>4</sub>)** - jedovatý plyn, na rozdíl od SF<sub>6</sub> velmi reaktivní, fluorační činidlo, snadno hydrolyzuje:

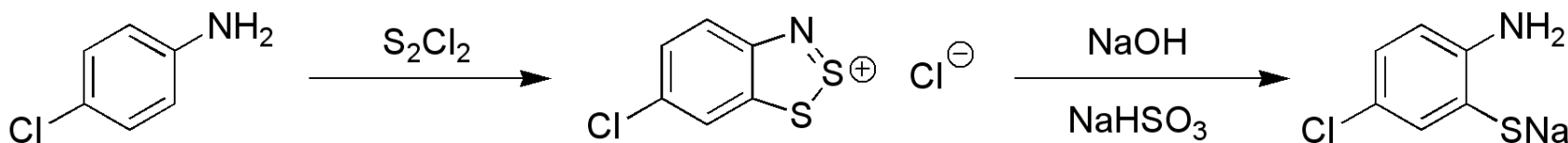


**Dichlordisulfan ( $S_2Cl_2$ )** - vzniká chlorováním roztavené síry

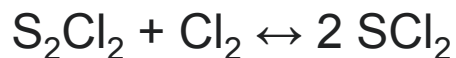
-žlutá páchnoucí kapalina, snadno rozpouští síru za vzniku dichlor-polysulfanů:



Používá se v organické syntéze (Herzova reakce)



**Dichlorsulfan ( $SCl_2$ )** – toxická a korozivní látka, používá se v organické syntéze.



**Halogenidy ostatních chalkogenů** nejsou významné.

# Sulfidy a polysulfidy

Sulfidy - soli monosulfanu

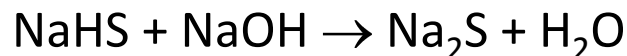
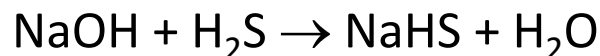
Polysulfidy - soli polysulfanu

## A) Iontové sulfidy a polysulfidy

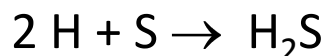
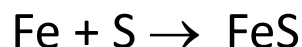
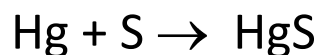
- soli s anionty  $S^{2-}$ ,  $HS^-$  a  $S_n^{2-}$
- tvoří jen nejelektropozitivnější prvky (alkalické kovy a kovy alkalických zemin)
- sulfidy prvků I.-II. Skupiny jsou jediné sulfidy dobře rozpustné v  $H_2O$

## ***Příprava sulfidů:***

- neutralizací roztoků hydroxidů:



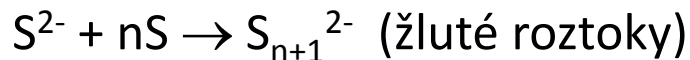
- syntézou z prvků



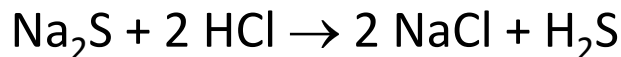
- reakce  $\text{H}_2\text{S}$  s kovy  $2 \text{Ag} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + \text{H}_2$
- srážení  $\text{H}_2\text{S}$   $2 \text{Ag}^+ + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2 \text{H}^+$
- redukce síranů  $\text{BaSO}_4 + 4 \text{C} \rightarrow \text{BaS} + 4 \text{CO}$

### ***Příprava polysulfidů:***

Varem sulfidů se sírou:



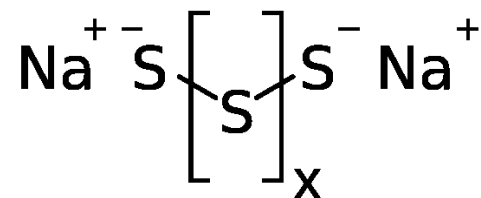
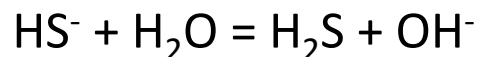
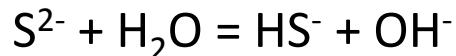
- okyselením *sulfidů* vzniká  $\text{H}_2\text{S}$ :



- okyselením *polysulfidů* vzniká polysulfan nebo  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{S}$ :

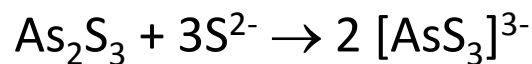


- ve vodných roztocích reagují iontové sulfidy alkalicky v důsledku hydrolýzy:

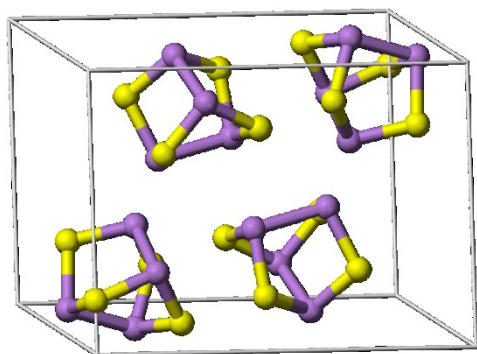


## B) Sulfidy přechodných a méně elektropozitivních kovů

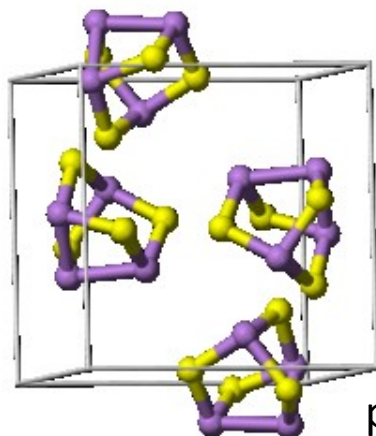
- většinou nerozpustné v H<sub>2</sub>O, nehydrolyzují, netvoří hydrogensulfidy
- vznikají na základě srážecích reakcí (roztok rozpustné soli příslušného kovu + roztok sulfidu nebo sulfan)
- většinou černé, některé charakteristicky barevné
- různě rozpustné v kyselinách
- některé (např. SnS<sub>2</sub>, As<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>S<sub>5</sub>) se rozpouštějí v roztocích iontových sulfidů za vzniku thio-solí:



**Realgar** α-As<sub>4</sub>S<sub>4</sub> – je červený jednoklonný minerál. Během času se může přeměnit na žlutý **pararealgar** (β-As<sub>4</sub>S<sub>4</sub>).



realgar



pararealgar

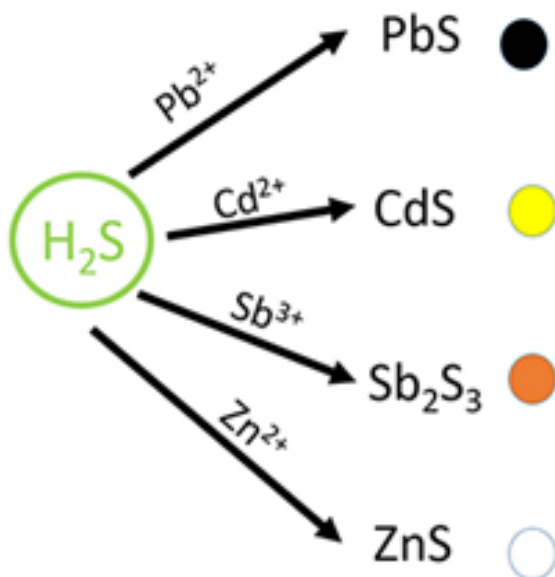


**Auripigment**  $\text{As}_2\text{S}_3$  (sulfid arzenitý), je jednoklonný minerál, dříve používaný jako žlutý/oranžový pigment (jedovatý).



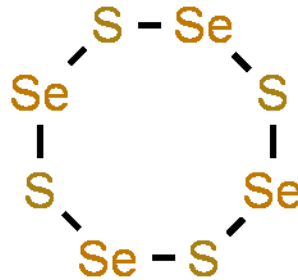
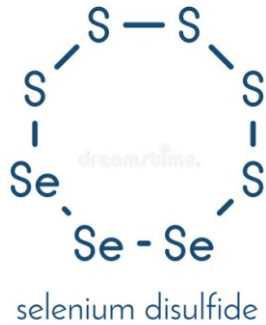
Některé sulfidy lze získat přímou syntézou. Často mají nestechiometrické složení a chovají se jako slitiny či polokovy.

**Srážecí reakce**, barevnost sulfidů a rozpustnost v iontových sulfidech je využíváno v analytické chemii k určování těžkých kovů.



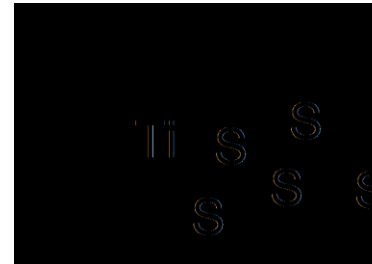
Arsenic subgroup	Copper subgroup
$\text{As}_2\text{S}_3$	$\text{PbS}$
arsenic sulfide (III) yellow precipitate	lead sulfide (II) black precipitate
$\text{As}_2\text{S}_5$	$\text{HgS}$
arsenic sulfide (V) yellow precipitate	mercury sulfide (II) black precipitate
$\text{Sb}_2\text{S}_3$	$\text{CdS}$
antimony sulfide (III) orange precipitate	cadmium sulfide (II) yellow precipitate
$\text{Sb}_2\text{S}_5$	$\text{CuS}$
arsenic sulfide (V) yellow precipitate	copper sulfide (II) black precipitate
$\text{SnS}_2$	$\text{Bi}_2\text{S}_3$
tin sulfide (IV) yellow precipitate	bismuth sulfide (III) dark precipitate
$\text{SnS}$	
tin sulfide (II) brown precipitate	

**Sulfidy selenu  $\text{SeS}_2$  a  $\text{SeS}$  jsou účinnou látkou šamponů proti lupům.**



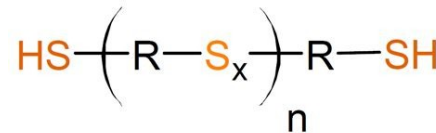
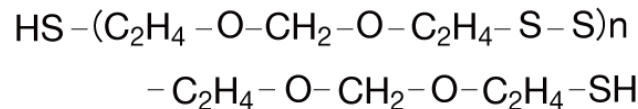
## Polysulfidy v komplexních sloučeninách

Polysulfido- komplexy jsou např.  
 $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{TiS}_5$ ,  $[\text{Ni}(\text{S}_4)_2]^{2-}$  a  $[\text{Pt}(\text{S}_5)_3]^{2-}$ .

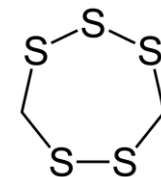


titanocen pentasulfid

**Polysulfidové polymery (Thiokol)** jsou nerozpustné ve vodě, olejích a organických rozpouštědlech. Slouží jako těsnicí materiály k vyplňování spár v dlažbě, okenních sklech automobilů a konstrukcích letadel.



**Lenthionin** - cyklická organosírová sloučenina obsažená v houbách shiitake, cibuli a česneku.

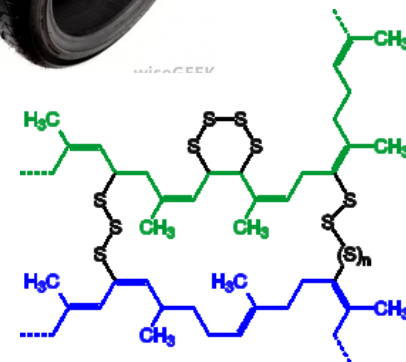


Lenthionin

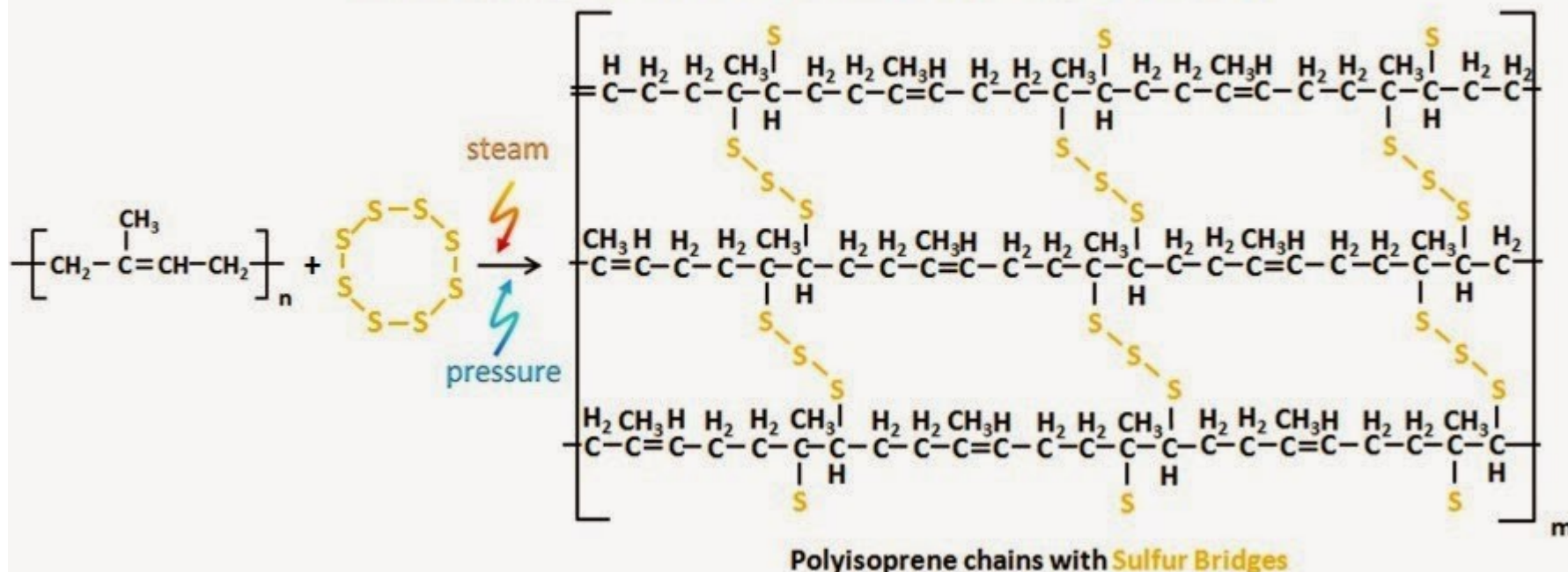
# Vulkanizace kaučuku

Ch. Goodyear (1844)

Hnětením kaučuku se sírou za tepla vznikají při vulkanizaci polysulfidové můstky. Výrobek tak díky vulkanizaci získává větší pružnost.



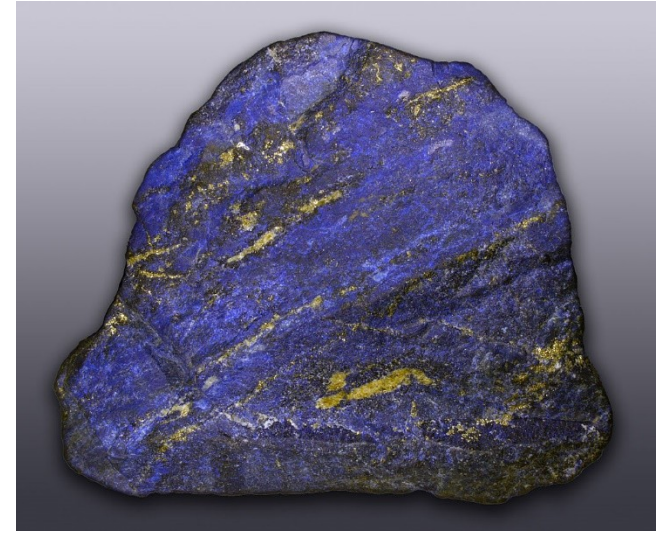
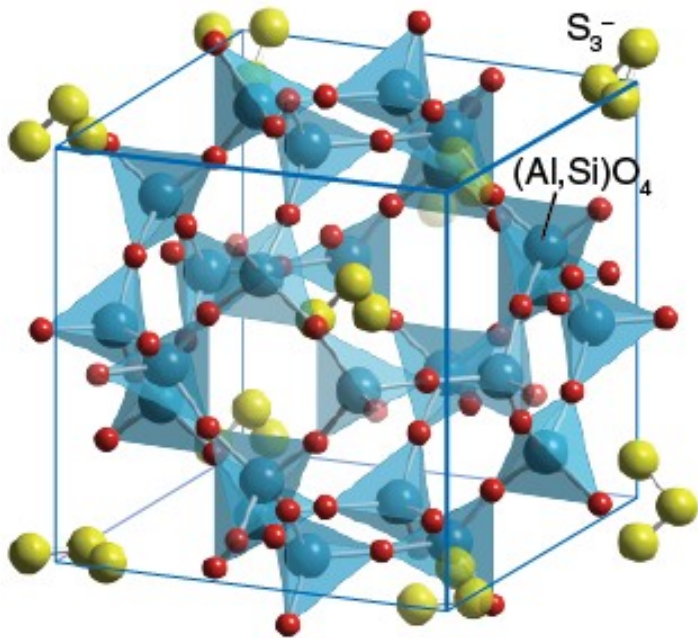
## Vulcanization of Natural rubber (Polyisoprene)





## Ultramarín – $\text{Na}_8[\text{SiAlO}_4]_6 \cdot (\text{S}_3)_2$

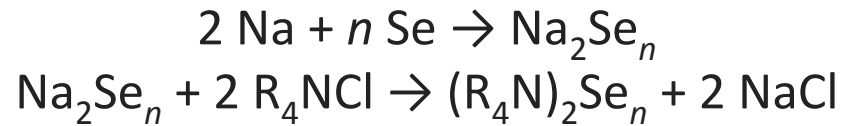
= modrý pigment, aluminosilikátový zeolit se sodalitovou strukturou. Sodalit je tvořen vzájemně spojenými aluminosilikátovými strukturami, z nichž některé obsahují polysulfidy ( $\text{S}_n^{x-}$ ), které jsou zde nositeli barevnosti (chromofory). Negativní náboj polysulfidů je kompenzován  $\text{Na}^+$  ionty.



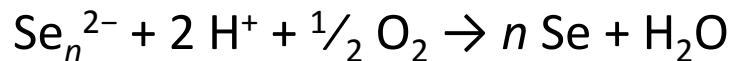
# Selenidy

- **selenidy** jsou analogické sulfidům, mají větší sklon k nestechiometrickým sloučeninám.

Selen vytváří také **polyselenidy**:



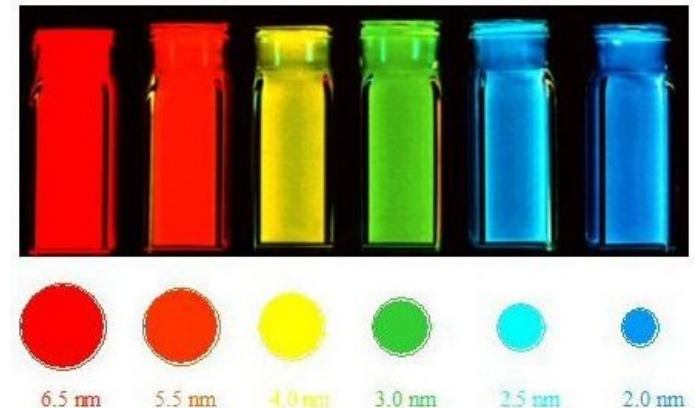
Které se na vzduchu se rozkládají



**Použití:** Selenidy se uplatňují např. v polovodičové technice (N-polovodiče), výrobě paměťových médií (chalkogenidová skla), apod.

## Selenidové kvantové tečky

polovodičové nanočástice (zejm. CdSe, částice o rozměrech několik nm) jejichž optické a elektronické vlastnosti se liší od velkých částic vlivem uplatnění kvantových jevů.

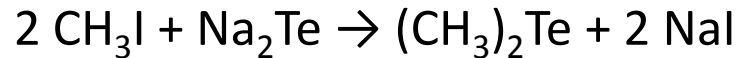


# Telluridy

- analogické sulfidům a selenidům, větší sklon k nestechiometrickým sloučeninám.

Tellur nevytváří jednoduché polytelluridy, jsou známy polytelluridy s více kationty, např.  $\text{KCuCeTe}_4$ ,  $\text{RbCuCeTe}_4$ , aj.

Od telluru jsou odvozeny organické telluridy s  $\text{Te}^{2-}$ , např. dimethyl tellurid:



**Použití:** Telluridy se uplatňují např. v polovodičové technice (N-polovodiče), výrobě paměťových médií (chalkogenidová skla), apod.

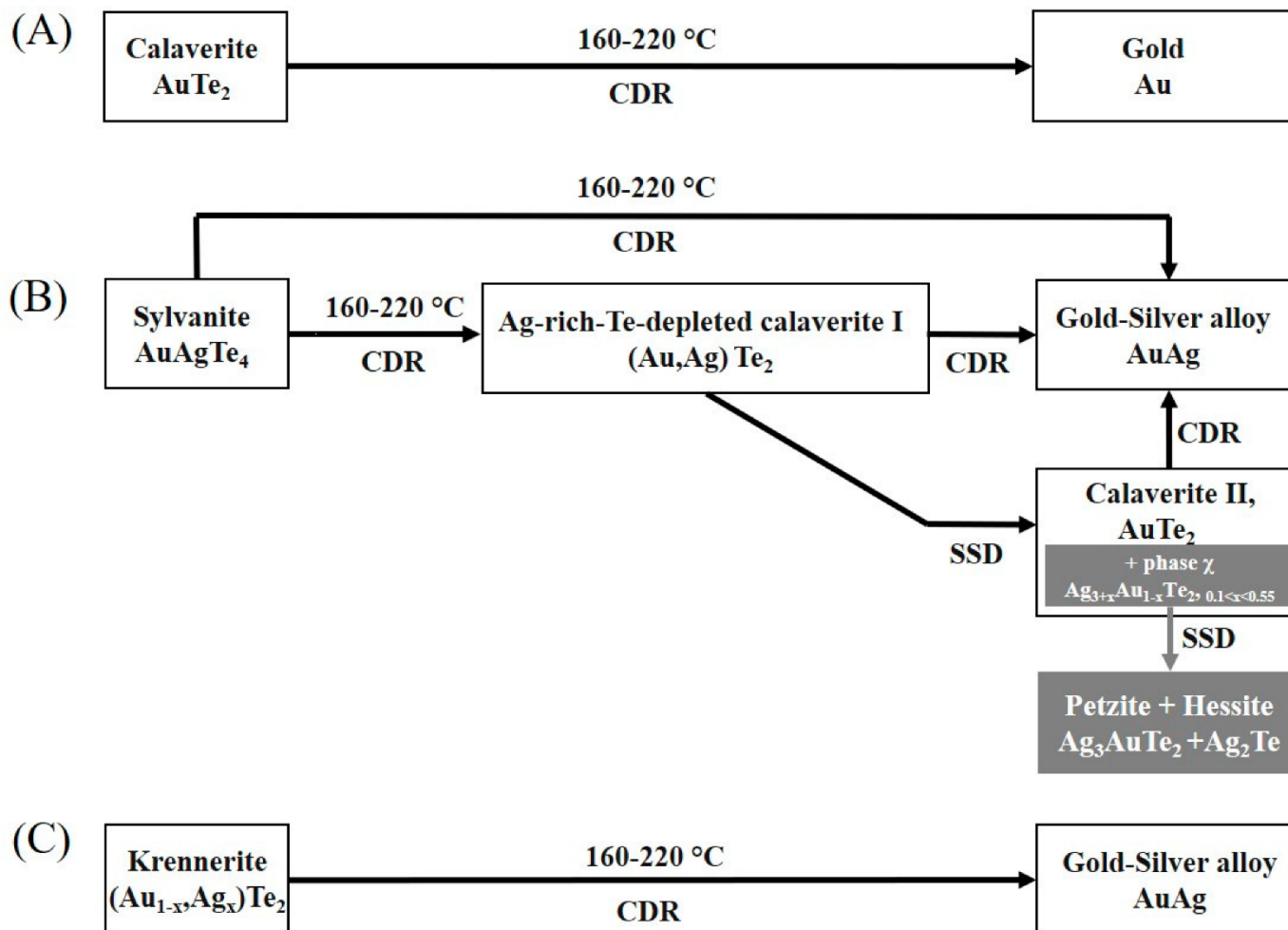
**CdTe** se používá ve fotovoltaice (fotočlánky).

**PbTe** a **Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>** mají zajímavé termoelektrické vlastnosti.

**GaTe** nalézá využití v polovodičovém průmyslu.

Mnoho telluridů se v přírodě vyskytuje jako minerály.

Jsou to zejména telluridy zlata, např. *calaverit* ( $\text{AuTe}_2$ ), *krennerit* a *sylvanit* ( $\text{AgAuTe}_4$ ). Hydrotermálními procesy vzniká z těchto minerálů elementární zlato.



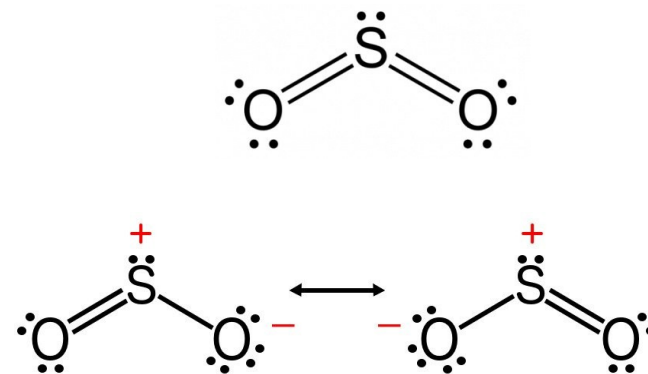
# Oxosloučeniny chalkogenů

## Oxosloučeniny síry

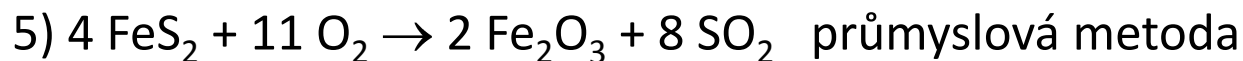
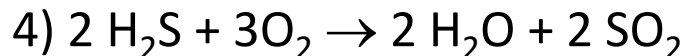
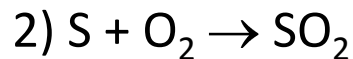
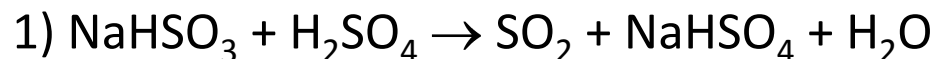
- z oxidů praktický význam  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$

### Oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ )

- bezbarvý, štiplavý, snadno zkapalnitelný plyn
- lomený tvar molekuly s násobnými vazbami
- silné redukční činidlo



### Příprava:



## SO<sub>2</sub> v technologii vína

SO<sub>2</sub> hraje důležitou roli v technologii vína, v němž se vyskytuje ve 3 formách:



Přičemž je zčásti volný (SO<sub>2</sub>, hydrogensířičitany, sířičitany) a zčásti jako sířičitan vázaný na cukry, aldehydy a fenolické sloučeniny.

Volný SO<sub>2</sub>, hydrogensířičitany, sířičitany jsou potlačují mikroorganismy a oxidaci.

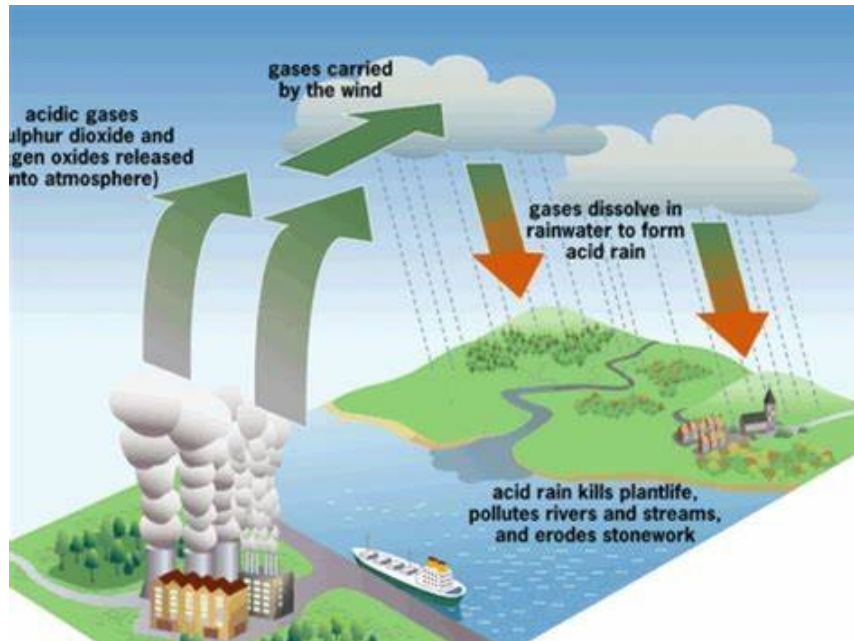
1. *antibakteriální účinky* - omezuje růst bakterií mléčného, jablečného a octového kvašení a také „divokých“ kvasinek. Vinné kvasinky se vůči SO<sub>2</sub> vyznačují zvýšenou rezistencí, nicméně SO<sub>2</sub> využívají vinaři i tehdy, je-li potřeba ihned ukončit alkoholové kvašení.

2. *antioxidační (protialdehydické) účinky* (stabilizátor) - chrání ovocné aroma vína a zabraňuje hnědnutí. HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionty se vážou na volné aldehydy, které mají nepříjemný zápach a ve vyšších koncentracích způsobují zvětranou a štiplavou příchuť vína. Chemickým vyvázáním acetaldehydů vzniká pachově neutrální sloučenina. Potlačuje hnědnutí blokováním reaktivních karbonylových skupin některých sloučenin (tj. tzv. Maillardovu reakci - neenzymatické hnědnutí) nebo inhibicí enzymatické oxidace fenolických složek fenol-oxidázou (enzymatické hnědnutí).

# Kyselý déšť

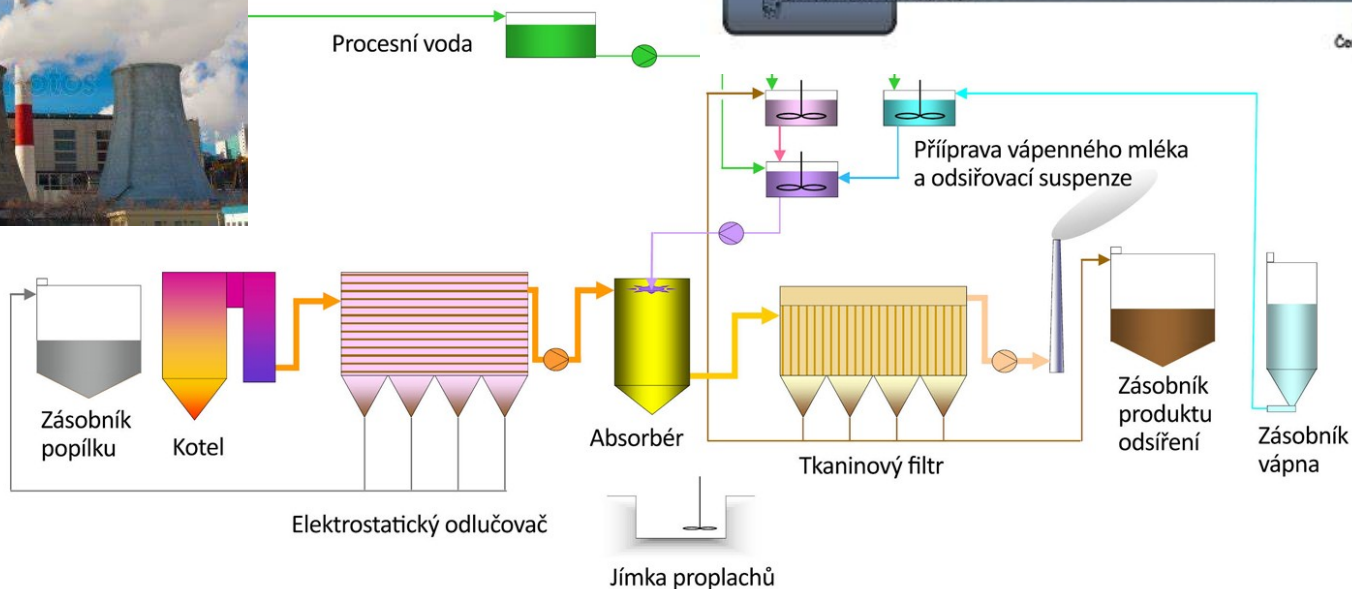
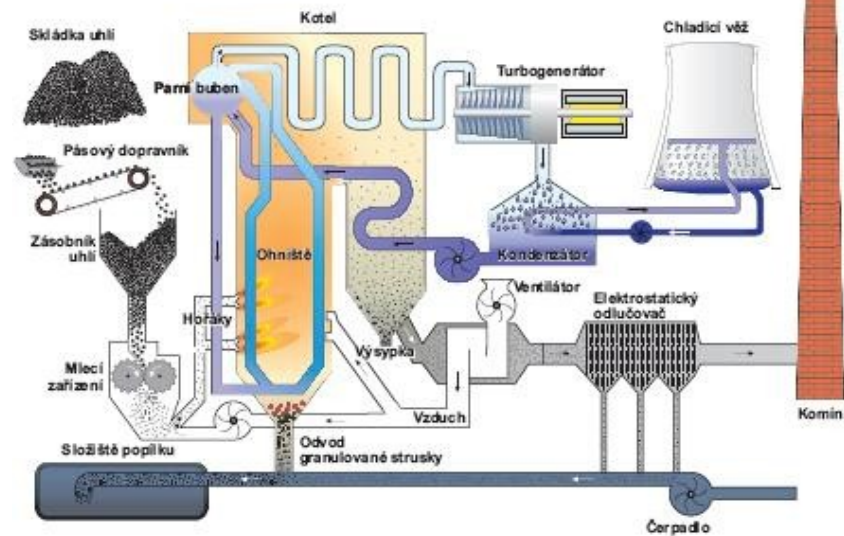
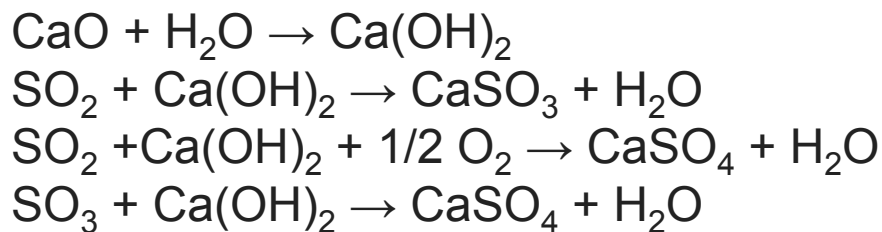
Kyselý déšť je způsoben oxidy síry pocházejícími ze sopečné činnosti a spalování fosilních paliv, případně též oxidy dusíku z automobilových exhalací.

Jakmile oxidy se rozptýlí do atmosféry, reagují s vodou za tvorby siřných a dusíkatých kyselin, které padají na zem ve formě deště. Z tohoto důvodu jsou zejm. tepelné elektrárny vybaveny odsiřovacím zařízením.



# Odsiřování

Odsiření se využívá v uhelných elektrárnách, kde je využívána mokrá vápencová vypírka v odsiřovací komoře pro zachytávání oxidu siřičitého.

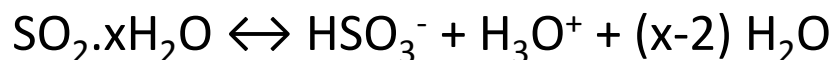




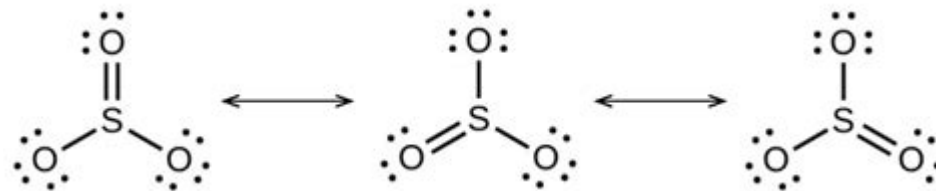
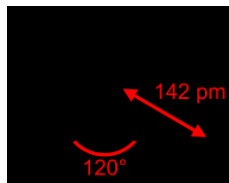
## Ostatní použití:

k výrobě  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , siřičitanů apod., bělící prostředek (redukční účinky), náplň chladících zařízení (velké vypařovací teplo)

- zkapalněný  $\text{SO}_2$  slouží jako ionizující nevodné rozpouštědlo
- dobře rozpustný v  $\text{H}_2\text{O}$  (= anhydrid  $\text{H}_2\text{SO}_3$ )
- ve vodných roztocích rovnováha:



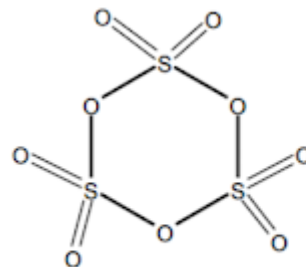
## Oxid sírový $\text{SO}_3$



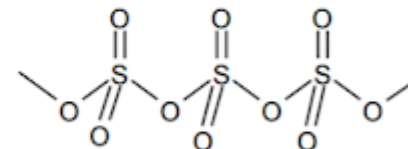
- bezbarvá látka, za norm. tlaku přechází v husté bílé páry, přechovává se v ampulích (pod tlakem svých par je za laboratorní teploty krystalický)



trimer  $\text{SO}_3$



Cyclic trimer of  $\text{SO}_3$  (S)

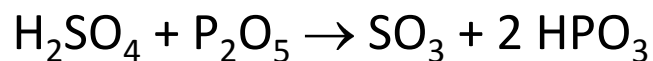


Linear chains of  $\text{SO}_3$  (S)

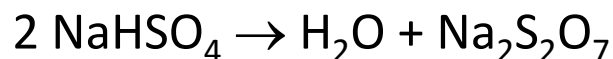
- s H<sub>2</sub>O reaguje silně exotermicky (až explozivně) za vzniku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- páry SO<sub>3</sub> se obtížně pohlcují v H<sub>2</sub>O (kondenzace vzdušné vlhkosti na částicích SO<sub>3</sub>), lépe se rozpouští v H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (vzniká oleum).

*Příprava:*

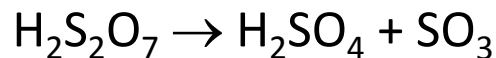
1) dehydratací H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:



2) tepelným rozkladem hydrogensíranů či disíranů alk. kovů:



3) destilací dýmavé H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:



*Použití:* k přípravě kys. chlorosírové a fluorosírové

## **Kyselina siřičitá (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)**

- není známa v bezvodém stavu, pouze v roztocích, slabá dvojsytná kyselina.

## Siřičitany ( $M^I_2SO_3$ ) a hydrogensiřičitany ( $M^IHSO_3$ )

- soli vznikají neutralizací vodných roztoků např. hydroxidy
- siřičitany díky hydrolýze reagují alkalicky:

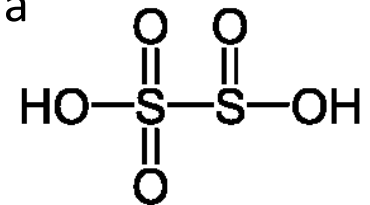


- siřičitany silně elektropozitivních prvků jsou rozpustné ve vodě, siřičitany přechodných kovů jsou nerozpustné.

$H_2SO_3$ , siřičitany a disiřičitany jsou podobně jako  $SO_2$  redukční činidla

## Kyselina disiřičitá ( $H_2S_2O_5$ )

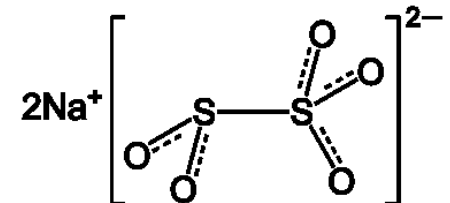
- není známa v bezvodém stavu, pouze v roztocích, slabá dvojsytná kyselina.



## Disiřičitany (pyrosiřičitany, $M^I_2S_2O_5$ )

- soli vznikající rozpouštěním  $SO_2$  v roztocích siřičitanů.

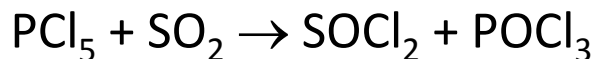
**Disiřičitan sodný** ( $Na_2S_2O_5$ ) – konzervant a antioxidant v potravinářství (E225), zejm. v mraženém a sušeném ovoci. Též součást dezinfekčních činidel a fotografických ustalovačů.



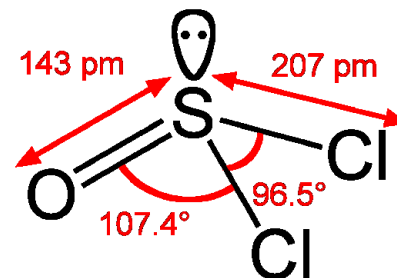
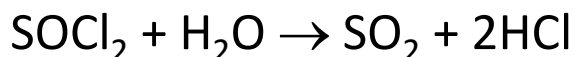
## Chlorid thionylu (SOCl<sub>2</sub>)

- formálně dichlorid kys.siřičité

- vzniká chlorací SO<sub>2</sub>:



- bezbarvá kapalina, rozkládá se vodou:



## Kyselina sírová (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

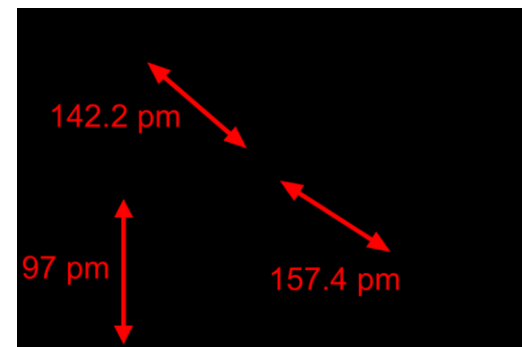
- bezbarvá, těžká, viskózní kapalina, tuhne při 10<sup>0</sup> C

- mísitelná s vodou v každém poměru (reakce silně exotermická), hygroskopická (používá se jako sušidlo)

- org. látky (papír, oděv atd.) při styku s kyselinou uhelnatějí v důsledku dehydratace

- rozpouští SO<sub>3</sub> za vzniku „dýmavé kyseliny sírové“ (oleum, H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)

- koncentrovaná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> je silné oxidační činidlo, např.:



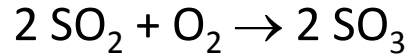
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tvoří s H<sub>2</sub>O azeotropickou směs s obsahem 98.3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (b.v. = 338 °C)

## Výroba H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

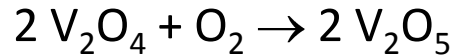
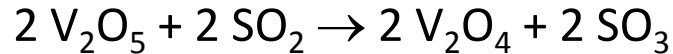
### 1) katalytickou oxidací SO<sub>2</sub>

#### A) tzv. **kontaktním způsobem:**

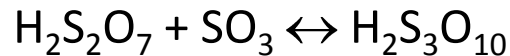
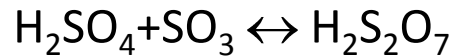
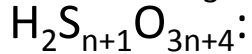
-heterogenní katalyzátor V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozptýlený na silikagelu, T= 500 °C, p= atmosférický



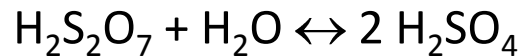
- reakční mechanismus:



- získaný SO<sub>3</sub> se zavádí při cca 60 °C do konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> za vzniku oligosírových kyselin

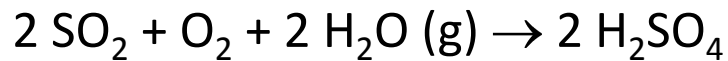


- zředěním vodou se získá čistá konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> např.:

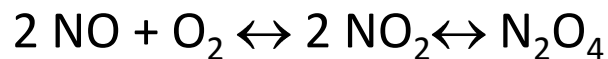


## B) tzv. **nitrozním způsobem** (nepoužívá se)

- homogenní katalýza, katalyzátory - oxidy dusíku NO a NO<sub>2</sub> (nitrozní plyny), T=100 °C, p = atmosferický.

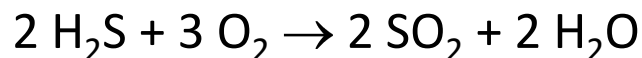


- reakční mechanismus:



## 2) Oxidací sulfanu

- spalování H<sub>2</sub>S vzdušným O<sub>2</sub> na SO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O, T= 1400°C:



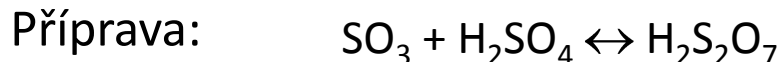
s následnou katal. oxidací na V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> katalyzátoru (viz kontakt. způsob)

- ochlazením plynné směsi vzniká přímo konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

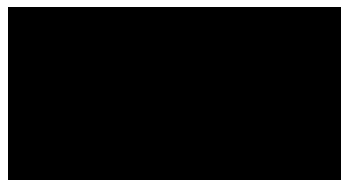
*Použití:* např. jako reakční činidlo, dehydratační činidlo, rozpouštědlo, katalyzátor, k výrobě průmysl. hnojiv, barviv, léčiv atd.

## Kyselina disírová (H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)

- hlavní složka dýmavé kyseliny sírové (= oleum)
- silné oxidační a dehydratační činidlo

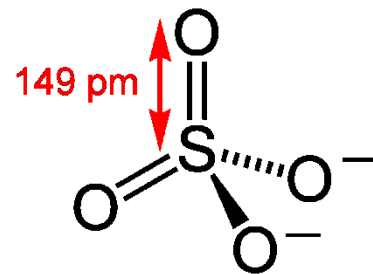


Existují i další kyseliny obecného vzorce  $\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{SO}_3)_x$ , žádná z nich však nebyla izolována.



## Sírany (M<sup>I</sup><sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

- sírany většiny kovů dobře ve vodě rozpustné, málo rozpustné jsou sírany M<sup>II</sup>SO<sub>4</sub> (M<sup>II</sup> = Ca, Sr, Ba, Pb)



Hydratované sírany přechodných kovů mají většinou charakteristické zbarvení, které je způsobeno aqua-kationtovou koordinační sférou, vysušením hydrátů se zbarvení ztrácí (modrá skalice → bílý bezvodý CuSO<sub>4</sub>) nebo se mění (červená kobaltnatá skalice → modrý bezvodý CoSO<sub>4</sub>).

modrá skalice → bezvodý CuSO<sub>4</sub>



Triviální názvy = tzv. „skalice“

$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  - modrá skalice,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - bílá skalice,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - zelená skalice,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - kobaltnatá skalice,  $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - nikelnatá skalice.

Charakteristická je rovněž tvorba podvojných síranů typu **kamence** nebo **schönitu**

**Kamence:** krystalické, dobře rozpustné, navzájem izomorfní, obecné

složení  $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

$\text{M}^{\text{I}} = \text{Na}, \text{K}, \text{NH}_4, \text{Ti},$

$\text{M}^{\text{III}} = \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ti}$  apod.



Alum,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

**Schönity:** krystalické, dobře rozpustné, navzájem izomorfní, obecné

složení  $\text{M}^{\text{I}}_2\text{M}^{\text{II}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

$\text{M}^{\text{I}} = \text{Na}, \text{K}, \text{NH}_4, \text{Ti},$

$\text{M}^{\text{II}} = \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Co}$



Pikromerit,  $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$



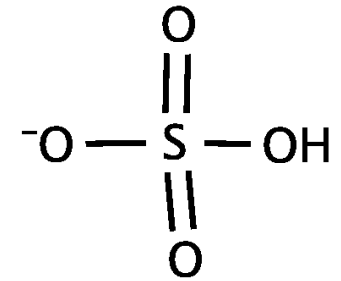
## Hydrogensírany ( $M^I\text{HSO}_4$ )

- hydrogensírany jsou známy jen u silně elektropozitivních prvků
- dobře rozpuštěné ve vodě

Jejich tepelnou dehydratací vznikají **disírany**:

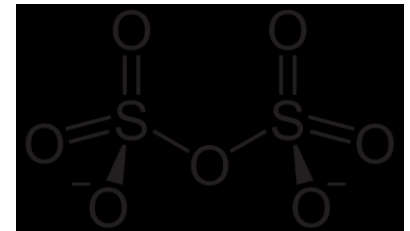


$\text{K}^+$



## Disírany

- disírany se vodou rozkládají zpět na sírany či hydrogensírany
- zahříváním disíranů se uvolňuje  $\text{SO}_3$

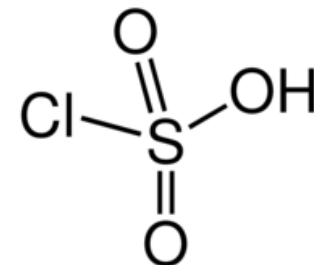


## Kyselina fluorosírová (HSO<sub>3</sub>F) a kyselina chlorosírová (HSO<sub>3</sub>Cl)

- připravují se reakcí halogenvodíku s SO<sub>3</sub>:

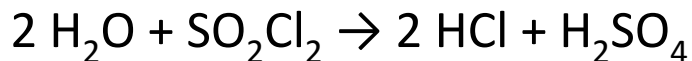


- používají se jako sulfonační činidla



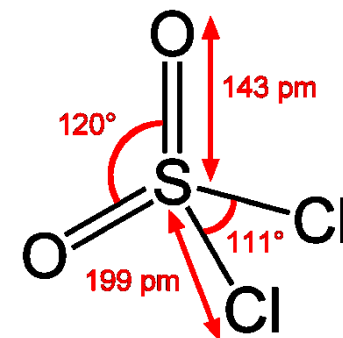
## Chlorid sulfurylu (sulfurylchlorid, SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)

- reaguje prudce s vodou, uvolňuje se při tom chlorovodík a zůstává kyselina sírová:



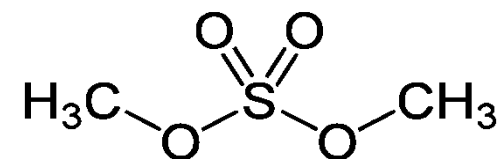
SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> se také rozkládá při zahřátí na 100 °C a více, čili 30 °C nad jeho bod varu.

- používá se jako chlorační činidlo (zejm. výroba pesticidů).



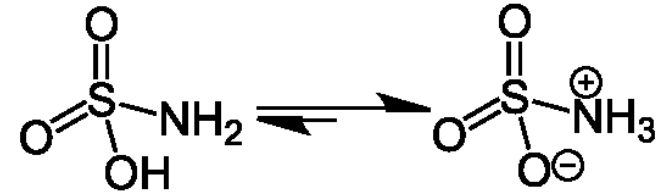
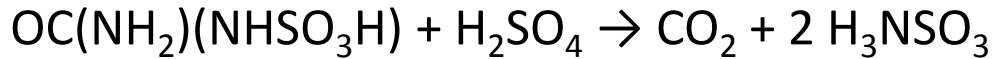
## Dimethylsulfát (CH<sub>3</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>

- methylační činidlo.



## Kyselina sulfamová $\text{HSO}_3\text{NH}_2$

Vyrábí se reakcí močoviny se směsí oxidu sírového a kyseliny sírové (nebo oleem):



- používá se při výrobě umělých sladidel (cyklamát sodný, Acesulfam K), léčiv, součást čistidel na kovy a keramiku, ...

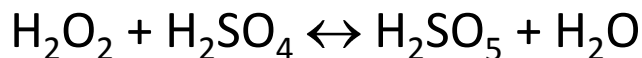
## Sulfamid $\text{HSO}_2(\text{NH}_2)_2$

Vyrábí se reakcí sulfurylchloridu s amoniakem.

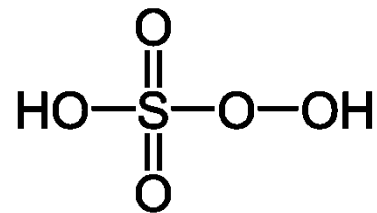


## Kyselina peroxosírová ( $\text{H}_2\text{SO}_5$ )

tzv. Caroova kyselina, vzniká reakcí  $\text{H}_2\text{O}_2$  s  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



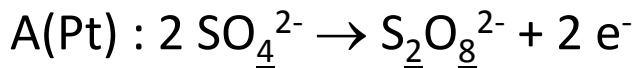
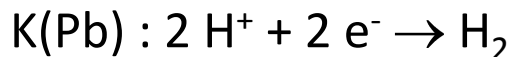
(vratná reakce, hydrolýzou vzniká zpět  $\text{H}_2\text{O}_2$ )



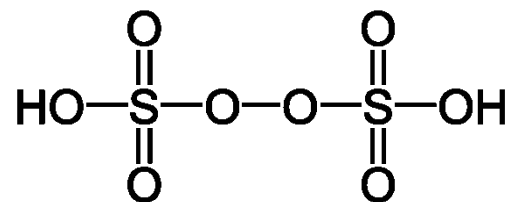
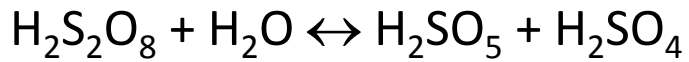
**Peroxosírany** jsou silná ox. činidla.

## Kyselina peroxidisírová ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )

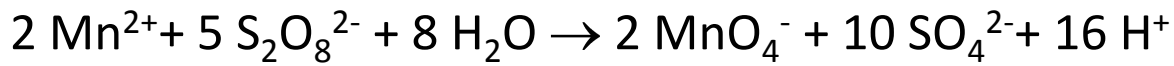
je krystalická bezbarvá látka, připravuje se anodickou oxidací 40% roztoků  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



- ve vodě hydrolyzuje:

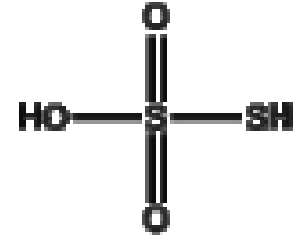


**Peroxodisírany** jsou ve vodě stálá, silná oxidační činidla:



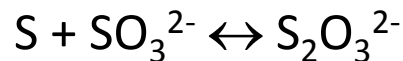
## Kyselina thiosírová ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

- velmi nestálá, vzniká rozkladem thiosíranů chlorovodíkem

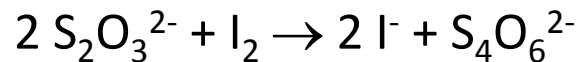


## Thiosírany ( $\text{M}^I_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

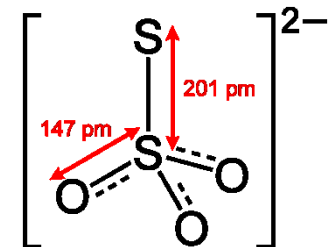
- dříve chybně označovány jako sirnatany.
- krystalické látky s anionty S-S (náhrada jedné vazby S-O v síranové struktuře)
- thiosírany alkalických kovů jsou bezbarvé, ve vodě rozpustné látky
- připravují se zahříváním práškové síry s roztokem siřičitanu za horka:



- v kyselém prostředí se thiosírany zpět rozkládají na síru a  $\text{SO}_3^{2-}$
- thiosírany jsou často používaná redukční činidla ( $\text{S}^{+II}$ ) např. při jodometrických titracích:



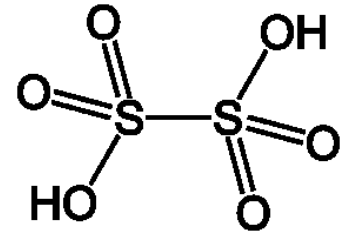
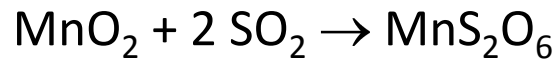
**Thiosíran sodný** ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6$ ) je součástí ustalovače v černobílé fotografii.



## Kyselina dithionová ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$ )

- existuje pouze v roztoku. Tvoří poměrně stabilní soli – dithionany.

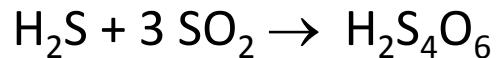
**Dithionany** se připravují reakcí vodné suspenze  $\text{MnO}_2$  s  $\text{SO}_2$ :



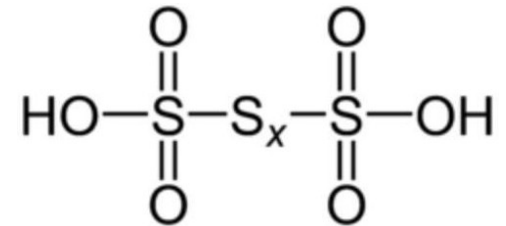
## Polythionové kyseliny $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_6$

-  $n = 3 - 6$

-vznikají zaváděním  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{SO}_2$  do studené  $\text{H}_2\text{O}$  (*Wackenroderův roztok*), např.:

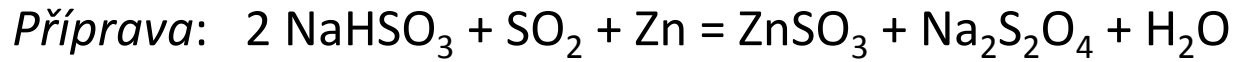


Stálejší než polythionové kyseliny jsou jejich soli, **polythionany**.



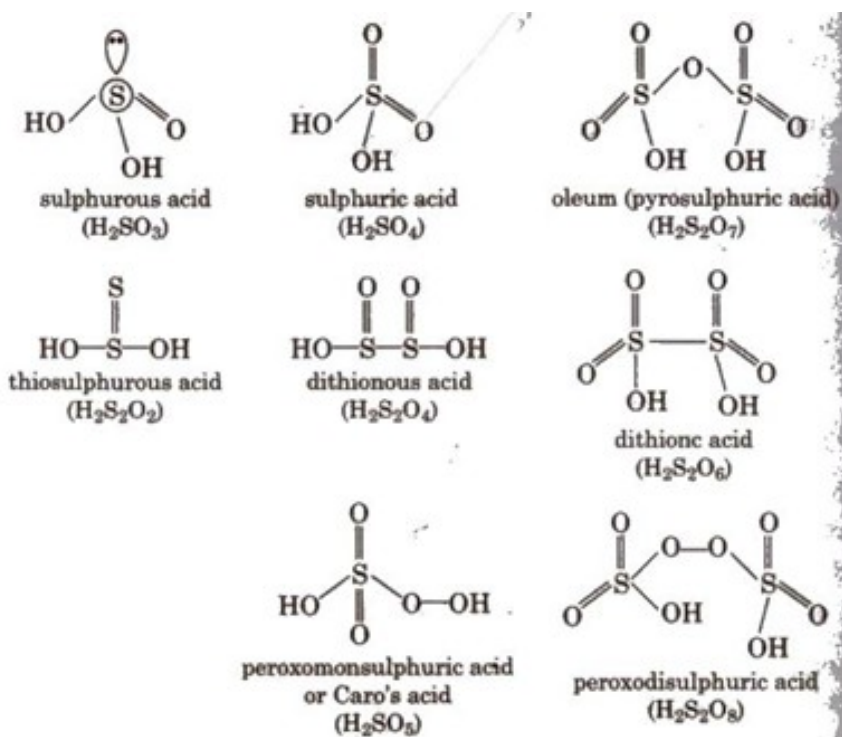
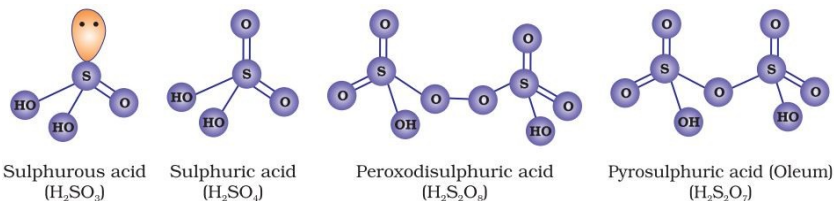
## Dithioničitany $M^I_2S_2O_4$

- soli hypotetické  $H_2S_2O_4$
- v struktuře opět vazba S-S



- výrazné redukční účinky

	Name	Structure	Oxidation states
Sulphuric acid series	Sulphuric acid		+6
	Thiosulphuric acid		+6, -2
	Di or Pyrosulphuric acid		+6

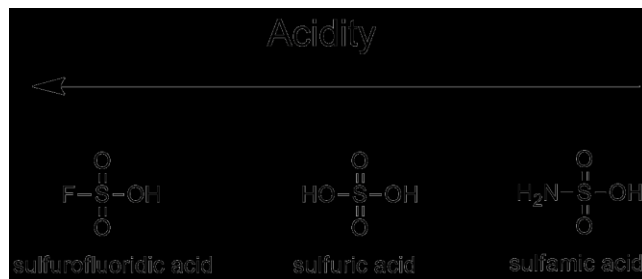


## Principal oxyacids of sulfur

name	formula	structure*
sulfurous	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> †	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (in sulfites)
sulfuric	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
thiosulfuric	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
dithionous	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> †	
disulfurous	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> †	
dithionic	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	
disulfuric	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	
polythionic	H <sub>2</sub> S <sub>n+2</sub> O <sub>6</sub>	
peroxomonosulfuric	H <sub>2</sub> SO <sub>5</sub>	
peroxodisulfuric	H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	



# Síla kyselin



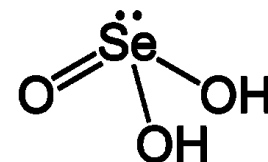
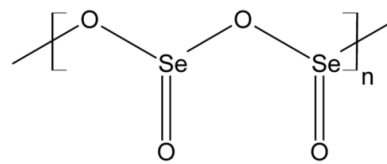
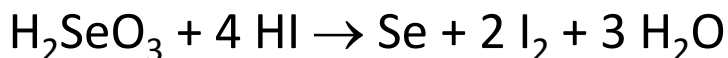
Formula	Name (IUPAC systematic name, acid nomenclature)	Structure*	pK <sub>a</sub> values (298 K)
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Dithionous acid (tetraoxodisulfuric acid)		pK <sub>a</sub> (1) = 0.35; pK <sub>a</sub> (2) = 2.45
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Sulfurous acid** (trioxodisulfuric acid)		pK <sub>a</sub> (1) = 1.82; pK <sub>a</sub> (2) = 6.92
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfuric acid (tetraoxosulfuric acid)		pK <sub>a</sub> (2) = 1.92
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Disulfuric acid (μ-oxo-hexaoxodisulfuric acid)		pK <sub>a</sub> (1) = 3.1
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Peroxodisulfuric acid (μ-peroxo-hexaoxodisulfuric acid)		
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Thiosulfuric acid (trioxothiosulfuric acid)		pK <sub>a</sub> (1) = 0.6; pK <sub>a</sub> (2) = 1.74

# Oxosloučeniny selenu

- mnoho analogických vlastností s oxosloučeninami síry, jsou však odlišnosti.

**Oxid seleničitý ( $\text{SeO}_2$ )** a **kyselina seleničitá ( $\text{H}_2\text{SeO}_3$ )** na rozdíl od analogických sloučenin S to jsou krystalické látky a nemají tolik redukční charakter.

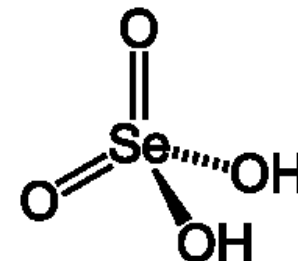
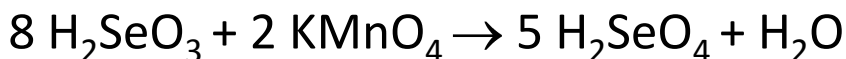
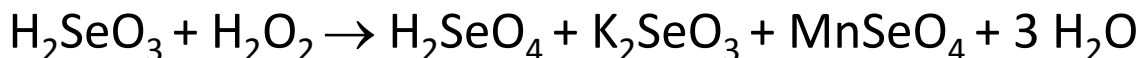
- proto je možné  $\text{H}_2\text{SeO}_3$  redukovat mírnými redukčními činidly:



**Seleničitan sodný ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ )** se používá jako aditivum do krmiva pro hospodářská zvířata a k dekontaminaci vody znečištěné rozpustnými sloučeninami rtuti.

## Kyselina selenová ( $\text{H}_2\text{SeO}_4$ )

vzniká oxidací  $\text{H}_2\text{SeO}_3$



**Selenany** vápníku, barya a zinku se používají ke zlepšení čistících vlastností motorových olejů.

# Oxosloučeniny telluru

- mnoho analogických vlastností s oxosloučeninami síry a selenu, existují odlišnosti.

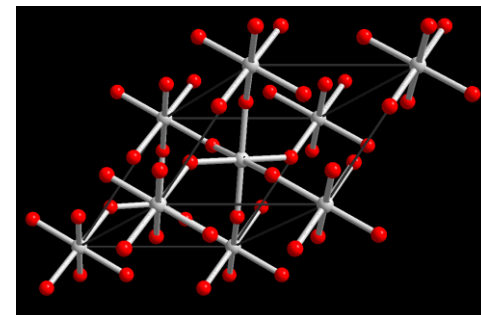
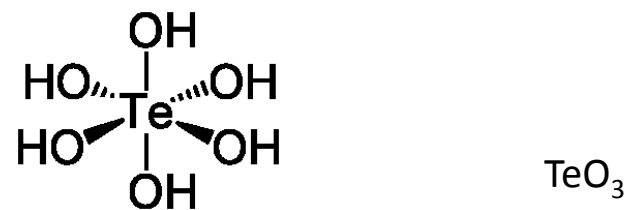
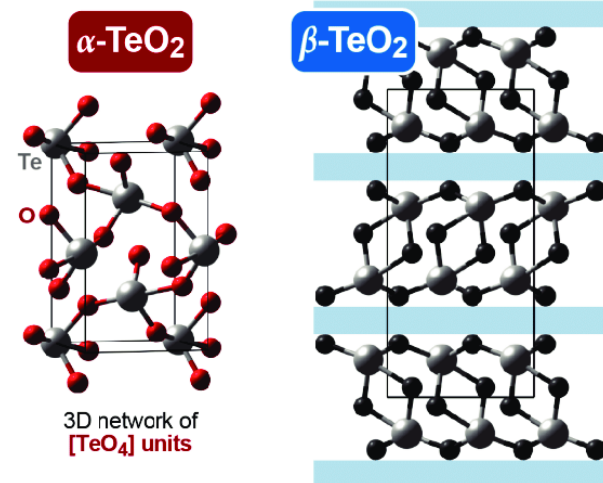
## Oxid teluričitý ( $\text{TeO}_2$ )

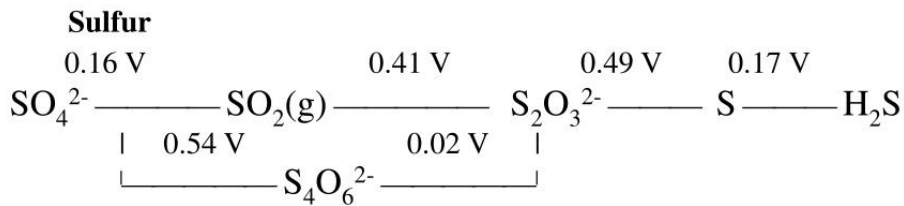
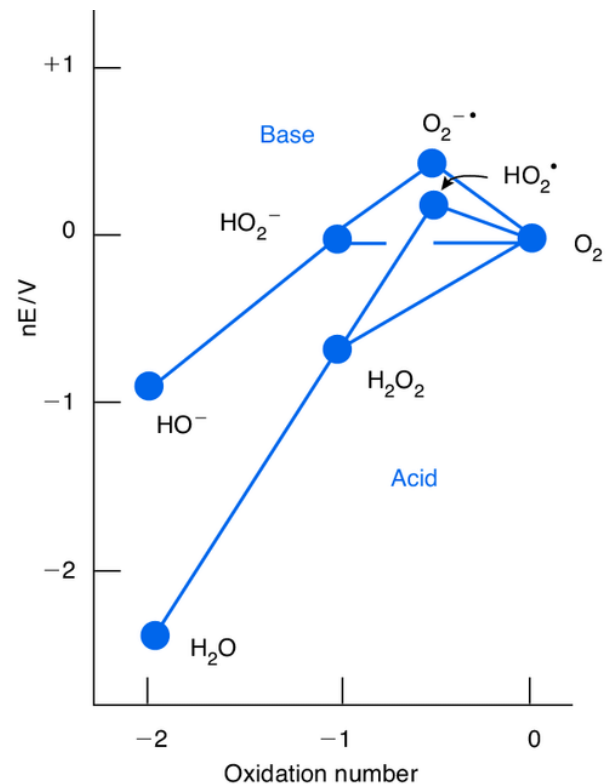
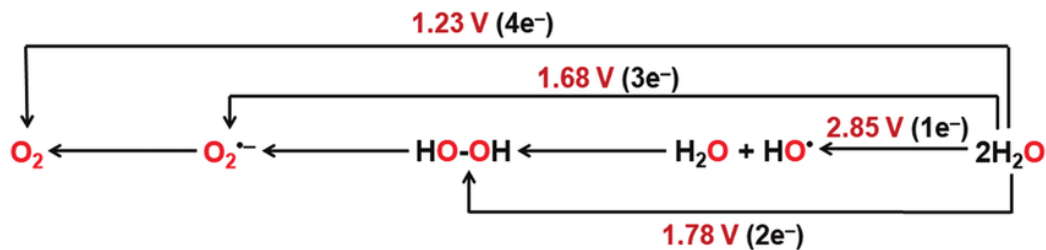
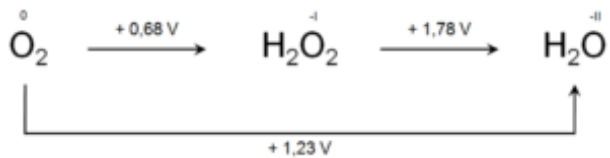
- bezbarvá kryst. látka, na rozdíl od  $\text{SO}_2$  a  $\text{SeO}_2$  nerozpustná v  $\text{H}_2\text{O}$ , rozpust. v roztocích zásad na  $\text{M}^{\text{I}}_2\text{TeO}_3$  (telluričitany)

## Kyselina hexahydrogentellurová ( $\text{H}_6\text{TeO}_6$ )

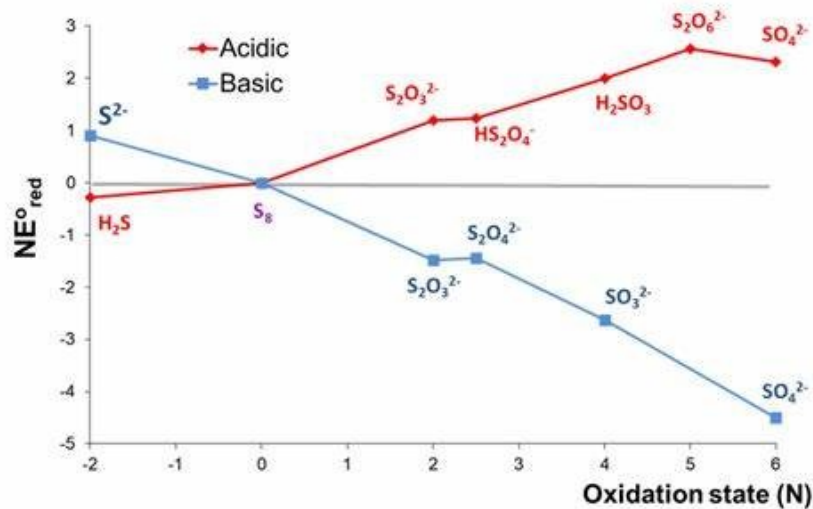
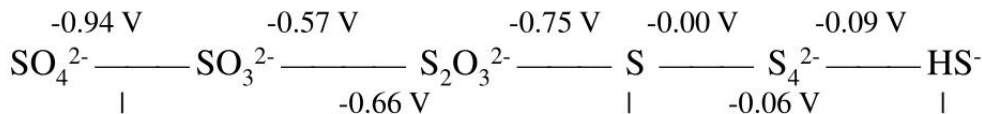
- oktaedrické molekuly s 6 -OH skupinami  
- krystalická, ve vodě rozpustná, slabá kyselina  
- vyšší teplotou lze  $\text{H}_6\text{TeO}_6$  dehydratovat na  $\text{TeO}_3$ .

**Oxid tellurový ( $\text{TeO}_3$ )** je, na rozdíl od  $\text{SO}_3$  a  $\text{SeO}_3$ , žlutou krystalickou látkou, nerozpustnou v  $\text{H}_2\text{O}$ .

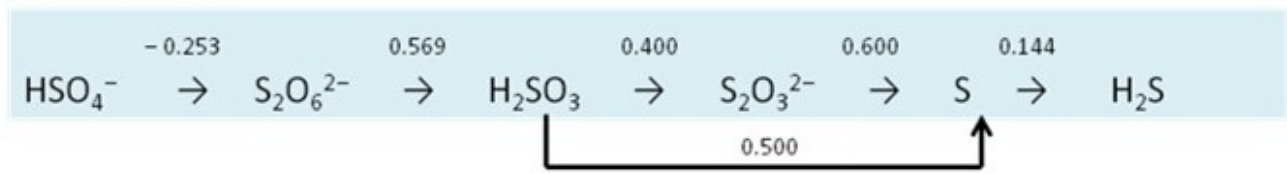




Basic solution:



**Acidic conditions**



**Basic conditions**

