

C2062 – Anorganická chemie II

Měď, stříbro, zlato a roentgenium

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz

IUPAC Periodic Table of the Elements




Key: atomic number, Symbol, name, standard atomic weight, relative atomic weight

1 H Hydrogen 1.00784(7)																	2 He Helium 4.002602
3 Li Lithium 6.941(6)	4 Be Beryllium 9.012182(2)											5 B Boron 10.811(7)	6 C Carbon 12.0107(8)	7 N Nitrogen 14.00643(4)	8 O Oxygen 15.999(4)	9 F Fluorine 18.9984032(3)	10 Ne Neon 20.1797(6)
11 Na Sodium 22.98976928(2)	12 Mg Magnesium 24.304(6)											13 Al Aluminum 26.9815386(8)	14 Si Silicon 28.0855(8)	15 P Phosphorus 30.973762(5)	16 S Sulfur 32.06(5)	17 Cl Chlorine 35.45(3)	18 Ar Argon 39.948(1)
19 K Potassium 39.0983(1)	20 Ca Calcium 40.078(4)	21 Sc Scandium 44.955912(2)	22 Ti Titanium 47.88(7)	23 V Vanadium 50.9415(1)	24 Cr Chromium 51.9961(6)	25 Mn Manganese 54.938044(1)	26 Fe Iron 55.845(2)	27 Co Cobalt 58.933194(5)	28 Ni Nickel 58.6934(4)	29 Cu Copper 63.546(3)	30 Zn Zinc 65.38(2)	31 Ga Gallium 69.723(1)	32 Ge Germanium 72.630(8)	33 As Arsenic 74.92160(3)	34 Se Selenium 78.9718(8)	35 Br Bromine 79.904(1)	36 Kr Krypton 83.798(4)
37 Rb Rubidium 85.4678(3)	38 Sr Strontium 87.62(3)	39 Y Yttrium 88.90584(2)	40 Zr Zirconium 91.224(2)	41 Nb Niobium 92.90638(2)	42 Mo Molybdenum 95.94(1)	43 Tc Technetium 98.9062(1)	44 Ru Ruthenium 101.07(2)	45 Rh Rhodium 102.9055(2)	46 Pd Palladium 106.42(1)	47 Ag Silver 107.8682(1)	48 Cd Cadmium 112.414(3)	49 In Indium 114.818(1)	50 Sn Tin 118.710(3)	51 Sb Antimony 121.757(3)	52 Te Tellurium 127.603(2)	53 I Iodine 126.90509(2)	54 Xe Xenon 131.29(4)
55 Cs Cesium 132.90545196(3)	56 Ba Barium 137.327(7)	57-71 La-Lu Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49(2)	73 Ta Tantalum 180.94788(2)	74 W Tungsten 183.84(1)	75 Re Rhenium 186.207(1)	76 Os Osmium 190.23(2)	77 Ir Iridium 192.222(1)	78 Pt Platinum 195.084(5)	79 Au Gold 196.966569(4)	80 Hg Mercury 200.59(2)	81 Tl Thallium 204.38(3)	82 Pb Lead 207.2(1)	83 Bi Bismuth 208.98038(1)	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89-103 Ac-Lr Actinoids	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [263]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [265]	109 Mt Meitnerium [266]	110 Ds Darmstadtium [267]	111 Rg Roentgenium [268]	112 Cn Copernicium [269]	113 Nh Nihonium [270]	114 Fl Flerovium [271]	115 Mc Moscovium [272]	116 Lv Livermorium [273]	117 Ts Tennessine [274]	118 Og Oganesson [276]



57 La Lanthanum 138.90547(7)	58 Ce Cerium 140.12(1)	59 Pr Praseodymium 140.90766(2)	60 Nd Neodymium 144.24(1)	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.36(2)	63 Eu Europium 151.964(3)	64 Gd Gadolinium 157.25(3)	65 Tb Terbium 158.92534(7)	66 Dy Dysprosium 162.50(1)	67 Ho Holmium 164.93032(2)	68 Er Erbium 167.259(4)	69 Tm Thulium 168.93032(2)	70 Yb Ytterbium 173.054(7)	71 Lu Lutetium 174.967(1)
89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.0377(4)	91 Pa Protactinium 231.0362(8)	92 U Uranium 238.02891(3)	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [244]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [251]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]	103 Lr Lawrencium [260]

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

	<i>Měď</i>	<i>Stříbro</i>	<i>Zlato</i>
El. konfigurace	$3d^{10} 4s^1$	$4d^{10} 5s^1$	$4f^{14} 5d^{10} 6s^1$
Teplota tání [°C]	1085	962	1064
Teplota varu [°C]	2562	2162	2970
Objeven	9 000 př.n.l.	5 000 př.n.l.	6 000 př.n.l.
Vzhled	červeno-oranžový ¹ 	stříbrno-bílý ² 	žlutý ³ 

¹Zdroj: Texas Lane/Commons

²Zdroj: Dnn87/Commons

³Zdroj: Alliance for Responsible Mining/Commons

Roentgenium

- ▶ Umělý prvek, protonové číslo 111, Rg.
- ▶ Tři jádra tohoto prvku byla připravena v roce 1994 v GSI v Darmstadtu:⁴
- ▶ $^{209}_{83}\text{Bi} + ^{64}_{28}\text{Ni} \longrightarrow ^{272}_{111}\text{Rg} + ^1_0\text{n}$
- ▶ Pojmenován byl v roce 2004 podle německého fyzika Wilhelma Conrada Röntgena.⁵

Izotop	Poločas rozpadu
^{280}Rg	3,9 s
^{281}Rg	11 s
^{282}Rg	1,7 min
^{283}Rg	5,1 min
^{286}Rg	10,7 min



Wilhelm Conrad Röntgen.⁶

⁴The new element 111

⁵Name and symbol of the element with atomic number 111 (IUPAC Recommendations 2004)

⁶Zdroj: LIFE Photo Archive/Commons

Měď

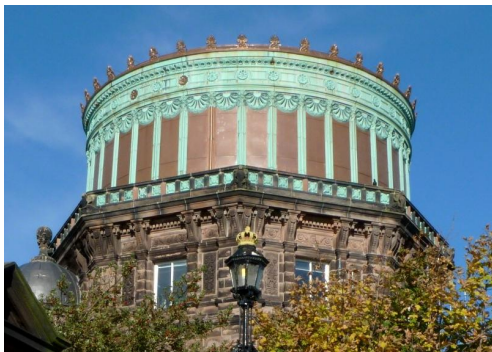
- ▶ Vede velmi dobře elektrický proud i teplo.
- ▶ Krystaluje v kubické plošně centrované soustavě.
- ▶ Má dva stabilní izotopy a 27 radioizotopů.

63	69,17
65	30,83

- ▶ Vytváří sloučeniny v oxidačních číslech 0 až V, nejčastěji pak I a II.
- ▶ S vodou nereaguje.
- ▶ Na vzduchu se pomalu oxiduje, což je dobře pozorovatelné na měděných střechách. Vrstva oxidu chrání měď před další oxidací (pasivace).
- ▶ Rozpouští se pouze v oxidujících kyselinách.
- ▶ V přítomnosti vlhkosti reaguje s chlorem.

Chemické a fyzikální vlastnosti

Měď



Královská observatoř v Edinburghu.⁹



Socha svobody.¹⁰

⁹Zdroj: Chi And H/Commons

¹⁰Zdroj: Daniel Schwen/Commons

Stříbro

- ▶ Měkký a dobře opracovatelný ušlechtilý kov. Je velmi dobrým vodičem elektřiny i tepla.
- ▶ Krystaluje v kubické, plošně centrované mřížce.
- ▶ Ušlechtilý kov, nereaguje s kyslíkem, ani s neoxidujícími kyselinami.
- ▶ Z koncentrované HI uvolňuje vodík.
- ▶ Rozpouští se v HNO_3 .
- ▶ Vytváří sloučeniny v oxidačních číslech 0 až III. Nejběžnější je oxidační číslo I.
- ▶ Má dva stabilní izotopy a 28 radioizotopů.

107	51,84
109	48,16

Zlato

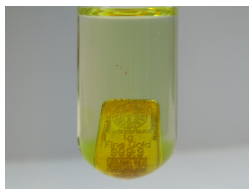
- ▶ Lépe zpracovatelné než stříbro. Je velmi dobrým vodičem elektřiny i tepla.
- ▶ Krystaluje v kubické, plošně centrované mřížce.
- ▶ Ušlechtilý kov, nereaguje s kyslíkem, ani s neoxidujícími kyselinami.
- ▶ Rozpouští se v lučavce královské za vzniku chlorokomplexů:
- ▶ $\text{Au} + 3 \text{HNO}_3 + 4 \text{HCl} \rightleftharpoons [\text{AuCl}_4]^- + 3 \text{NO}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$
- ▶ Kovové zlato je možné rozpustit i působením kyseliny selenové:¹¹
- ▶ $2 \text{Au} + 6 \text{H}_2\text{SeO}_4 \xrightarrow{300^\circ\text{C}} 3 \text{SeO}_2 + \text{Au}_2(\text{SeO}_4)_3 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- ▶ Vytváří sloučeniny v oxidačních číslech -I až V. Nejběžnější jsou oxidační čísla I a III.
- ▶ Má jeden stabilní izotop (^{197}Au) a 36 radioizotopů.

¹¹Action of selenic acid on gold

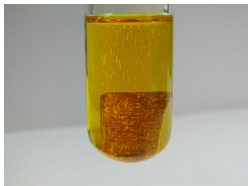
Chemické a fyzikální vlastnosti

Zlato

Zlato se ochotně rozpouští v lučavce královské.



Začátek.¹²



Barva se postupně mění¹³



až na oranžovou.¹⁴

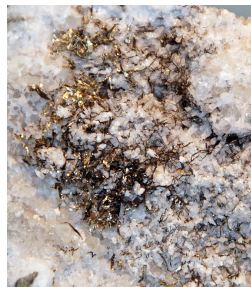
¹²Zdroj: Daniel Grohmann/Commons

¹³Zdroj: Daniel Grohmann/Commons

¹⁴Zdroj: Daniel Grohmann/Commons

Výskyt a získávání

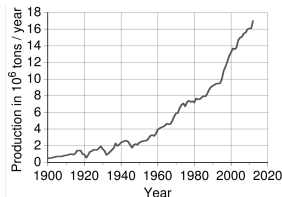
- ▶ Zastoupení jednotlivých prvků v zemské kůře:
 - ▶ Cu: 63 ppm
 - ▶ Ag: 0,08 ppm
 - ▶ Au: 0,004 ppm
- ▶ Všechny tři prvky se v přírodě vyskytují v ryzí podobě.
- ▶ U mědi se vyskytuje především ve formě sulfidů, oxidů a uhličitánů.
- ▶ Stříbro se vyskytuje jako sulfid, leštěnec stříbrný, a také v kovové podobě, často ve formě slitin.
- ▶ Zlato se vyskytuje také v ryzí formě, ale i jako telluridy.
- ▶ V přírodě se setkáváme i se slitinou zlata se stříbrem, která je označována jako *élektrum*.



Élektrum na křemenu.¹⁵

¹⁵Zdroj: James St. John/Commons

Výskyt a získávání



Objem roční výroby
mědi.¹⁶



Objem roční výroby stříb-
ra.¹⁷



Objem roční výroby zla-
ta.¹⁸

¹⁶Zdroj: Leyo/Commons

¹⁷Zdroj: Leyo, Con-struct/Commons

¹⁸Zdroj: Leyo, Con-struct/Commons

Chalkopyrit (kyz měděný)

- ▶ Tetragonální minerál, CuFeS_2 .¹⁹
- ▶ Jde o nejdůležitější rudu mědi.²⁰
- ▶ Dříve se těžila hlubinnou těžbou, nyní převážně povrchově.



Chalkopyrit, Peru.²¹



Chalkopyrit, Mexiko.²²

¹⁹Chalkopyrit

²⁰Chalcopyrite

²¹Zdroj: James St. John/Commons

²²Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

Výskyt a získávání

Měď



Měděný důl Chuquicamata v Chile²³

²³Zdroj: Reinhard Jahn/Commons

Výskyt a získávání

Měď

Malachit

- ▶ Jednoklonný minerál, $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$,²⁴ světle až tmavě zelený.²⁵
- ▶ Ve starověku se využíval jako zelený pigment a také v sochařství.
- ▶ Jako ruda mědi má menší význam než chalkopyrit.



Malachit a aragonit (CaCO_3).²⁶



Malachitová soška.²⁷

²⁴Malachit

²⁵Malachite

²⁶Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

²⁷Zdroj: pepperedjane/Commons

Chalkocit

- ▶ Jednoklonný sulfidický minerál, Cu_2S ,²⁸ šedé až černé barvy.²⁹
- ▶ Má nejvyšší obsah mědi (80 %) ze všech dostupný rud.



Chalkocit, Namibie.³⁰



Chalkocit a azurit ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$),
Namibie.³¹

²⁸Chalkozín

²⁹Chalcocite

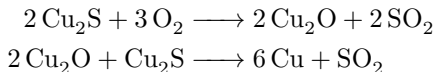
³⁰Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

³¹Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

Výskyt a získávání

Měď

- ▶ Oxidické rudy se redukuje koksem.
- ▶ Běžně se ale využívají rozšířenější sulfidické rudy, např. CuFeS_2 .³²
- ▶ Ruda je nejprve rozdrčena a koncentrována flotací.
- ▶ Tavením s křemenným pískem při teplotě 1400 °C se sulfid železnatý převede na oxid a poté reakcí s křemenným pískem na strusku:
 - ▶ $2\text{FeS} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{FeO} + \text{SO}_2$
 - ▶ $2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{SiO}_4$
- ▶ Struska zůstává nahoře, pod ní je tzv. *měděný lech*, který je směsí Cu_2S a FeS .
- ▶ Tavenina lechu je následně zpracovávána v konvertoru, kde se k ní přidá křemen a dmýchá se do ní vzduch. Železo přechází opět do strusky a měď se oxiduje na oxid a dochází k jeho redukcii na kovovou měď:

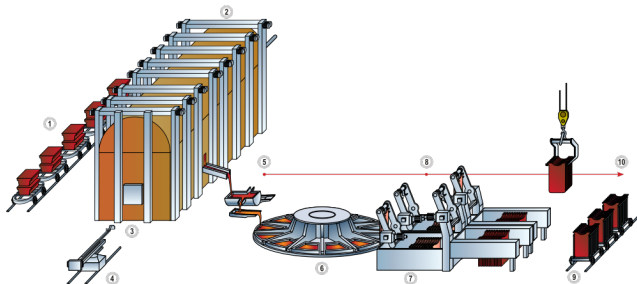


³²Visiting The World's Deepest Open Pit Mine

Výskyt a získávání

Měď

- ▶ Získaný SO_2 se využívá pro výrobu kyseliny sírové.
- ▶ Vyrobená surová měď se čistí elektrolyticky.
- ▶ Odlíje se z ní anoda, která se ponoří do roztoku síranu měďnatého.
- ▶ Katoda je z čisté mědi a v průběhu elektrolýzy se na ní vylučuje přečištěná měď.
- ▶ $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$



Čištění mědi.³³

³³Zdroj: UMMC-Holding LLC/Commons

Výskyt a získávání

Měď



Měděné anody.³⁴

³⁴Zdroj: U.S. National Archives and Records Administration/Commons

Výskyt a získávání

Měď

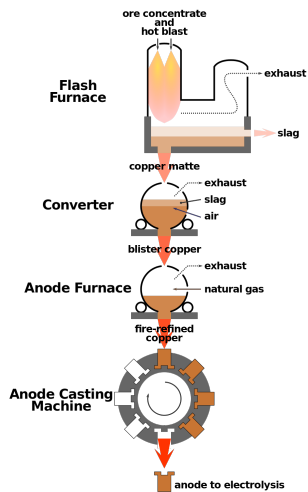


Schéma výroby mědi.³⁵

³⁵Zdroj: US Environmental Protection Agency/Commons

Recyklace mědi

- ▶ Až 80 % mědi se získává recyklací.
- ▶ Měď je po železe a hliníku třetí kov, který se nejvíce recykluje.
- ▶ Během recyklace nedochází ke snížení kvality.
- ▶ Měděný šrot je roztaven a následně redukován.
- ▶ Znečištěný šrot je rafinován elektrolyticky.
- ▶ Poté se tavenina odlévá do ingotů.

Akantit

- ▶ Jednoklonný sulfidický minerál, Ag_2S ,³⁶ šedé až černé barvy.³⁷
- ▶ Poprvé byl popsán v roce 1855 v Jáchymově.³⁸



Akantit, Mexiko.³⁹



Akantit, Čína.⁴⁰

³⁶Akantit

³⁷Acanthite

³⁸G. A. Kenngott

³⁹Zdroj: Rock Currier/Commons

⁴⁰Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

Pyrargyrit

- ▶ Trigonální sulfidický minerál, Ag_3SbS_3 ,⁴¹ tmavě červené až šedé barvy.⁴²
- ▶ Důležitý zdroj stříbra.



Pyrargyrit, Mexiko.⁴³



Pyrargyrit, Německo.⁴⁴

⁴¹Pyrargyrit

⁴²Pyrargyrite

⁴³Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

⁴⁴Zdroj: Didier Descouens/Commons

Hessite

- ▶ Monoklinický minerál, Ag_2Te , šedé barvy.⁴⁵
- ▶ Má i zajímavé optické vlastnosti.⁴⁶



Hessit, Rumunsko.⁴⁷



Hessit a zlato, Rumunsko.⁴⁸

⁴⁵Hessite

⁴⁶Na CEITEC se podařilo zobrazit a analyzovat terahertzové vlnění

⁴⁷Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

⁴⁸Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

- ▶ Hlavními zdroji stříbra jsou rudy mědi, olova a zinku.
- ▶ Získává se jako vedlejší produkt výroby těchto kovů.⁴⁹
- ▶ Anodové kaly z výroby mědi se zpracovávají horkou H_2SO_4 za současného vhánění vzduchu, čímž dojde k rozpuštění části kovů.
- ▶ Zbytek je zahříván s křemenem nebo vápnem, čímž přejde většina kovů do strusky.
- ▶ Stříbro se izoluje z dusičnanového roztoku elektrolyticky.
- ▶ Stejně jako v případě mědi je důležitým zdrojem i recyklace stříbra.⁵⁰
- ▶ Komerční stříbro má čistotu minimálně 99,9 %.

⁴⁹ Jak se co dělá - Stříbro

⁵⁰ Silver Recovery from Scrap and Low-Grade Residue

Krennerit

- ▶ Orthorombický minerál, Au_3AgTe_8 , stříbrno-bílé barvy.⁵¹
- ▶ Jeho složení je závislé na lokalitě, limitní složení jsou AuTe_2 a Au_3AgTe_8 .



Krennerit, USA.⁵²



Krennerit, USA.⁵³

⁵¹Krennerite

⁵²Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

⁵³Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

Petzit

- ▶ Kubický minerál, Ag_3AuTe_2 , šedé až černé barvy.⁵⁴
- ▶ Často se vyskytuje společně s dalšími minerály telluru a zlata.



Petzit, Austrálie.⁵⁵



Petzit, Austrálie.⁵⁶

⁵⁴Petzite

⁵⁵Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

⁵⁶Zdroj: Robert M. Lavinsky/Commons

Výskyt a získávání

Zlato

- ▶ Zlato se dříve získávalo rýžováním říčních písků, ale tyto zdroje jsou již dnes vyčerpány.



Pánvička na rýžování zlata.⁵⁷



Pánvička se zlatem.⁵⁸

⁵⁷Zdroj: Nate Cull/Commons

⁵⁸Zdroj: Mike Beauregard/Commons

Výskyt a získávání

Zlato

- ▶ Území dnešní ČR bylo a stále je bohaté na zlato.
- ▶ Těžba zlata zde probíhala už ve 3. století př. n. l.⁵⁹
- ▶ Nejvíce zlata se vytěžilo ve 13. a 14. století za vlády Jana Lucemburského a Karla IV., kdy těžba probíhala prakticky na celém území.
- ▶ Nejdůležitější lokality jsou:
 - ▶ Jílovský revír u Prahy
 - ▶ Knínská zlatonosná oblast ve středním Povltaví
 - ▶ Kašperské hory
 - ▶ Pozůstatky povrchových dolů v okrese Klatovy (Hartmanice) jsou kulturní památkou České republiky.⁶⁰
- ▶ Podle odhadů bylo na našem území vytěženo 100 tun zlata, jak povrchovým, tak i hlubinným způsobem.
- ▶ Zhruba stejné množství zlata je stále uloženo v zemi.

⁵⁹Historie těžby zlata u nás

⁶⁰Povrchové doly na zlato

Výskyt a získávání

Zlato



Pozůstatky po dolování v lokalitě Hartmanice.⁶¹

⁶¹Zdroj: Czeva/Commons

Výskyt a získávání

Zlato

- ▶ Dnes se využívají hlavně horniny s dostatečným obsahem zlata.
- ▶ Pro ekonomické využití je nutná koncentrace alespoň 0,5 ppm.
- ▶ Hornina se rozebere na jemný prášek a zlato se pak získává buď reakcí s rtuťí a tvorbou amalgámu.
- ▶ Amalgám se následně termicky rozloží a rtuť je oddestilována.
- ▶ To je ekologicky velmi nešetrný způsob.⁶²



Těžba zlata.⁶³

⁶²Illegal gold mines flood Amazon forests with toxic mercury

⁶³Zdroj: Yewenyi/Commons

Výskyt a získávání

Zlato

- ▶ Druhý způsob je reakcí s alkalickým kyanidem a kyslíkem.⁶⁴
- ▶ $4 \text{ Au} + 8 \text{ NaCN} + \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{ Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 4 \text{ NaOH}$
- ▶ Vzniklý komplex se izoluje sorpcí na aktivní uhlí.
- ▶ Zlato lze pak izolovat redukcí zinkovým prachem:
- ▶ $2 \text{ Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + \text{Zn} \longrightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4] + 2 \text{ Au}$
- ▶ Zlato je poté odfiltrováno a přetaveno do podoby tyčí, které jsou dále rafinovány.
- ▶ Kyanidový způsob s sebou také nese riziko ekologických škod, v minulosti bylo zaznamenáno několik velkých havárií spojených s těžbou zlata.⁶⁵

⁶⁴How gold is produced

⁶⁵List of gold mining disasters

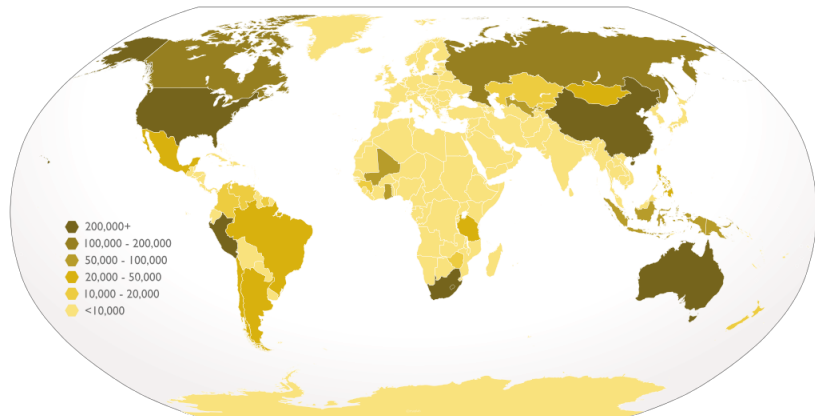
Největší producenti zlata v letech 2016 a 2017⁶⁶

Produkce zlata v tunách		
Země	2016	2017
Čína	453	440
Austrálie	290	300
Rusko	253	255
USA	222	245
Kanada	165	180
Peru	153	155
Jižní Afrika	145	145
Mexiko	111	110
Uzbekistán	102	100
Brazílie	85	85
Indonésie	80	80

⁶⁶Mineral commodity summaries 2018

Výskyt a získávání

Zlato

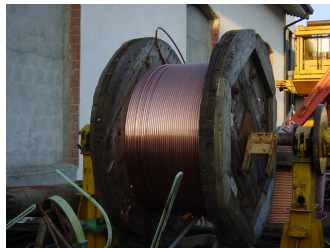


Mapa získávání zlata.⁶⁷

⁶⁷Zdroj: Maplab/Commons

- ▶ **Měď** je už dvě století využívána pro výrobu elektrických vodičů a kontaktů.
- ▶ Měrný elektrický odpor⁶⁸ mědi je $16,78 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$ při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- ▶ Zhruba 60 % mědi se využívá na tyto aplikace.
- ▶ Vlivem velkých změn v energetické infrastruktuře silně roste poptávka po mědi a klesá její dostupnost.⁶⁹

Materiál	Měrný odpor [$\text{n}\Omega \cdot \text{m}$]
Stříbro	15,9
Měď	16,8
Zlato	24,4
Hliník	26,5
Železo	97,0
Grafit	2500–5000



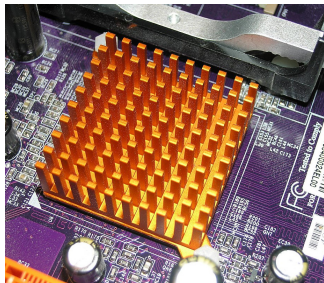
Měděné vodiče.⁷⁰

⁶⁸Hodnota elektrického odporu 1 m vodiče

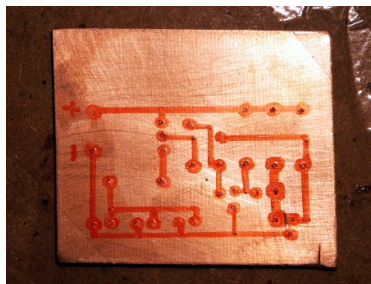
⁶⁹The copper shortage is getting real

⁷⁰Zdroj: Giovanni Dall'Orto/Commons

- ▶ V elektronice se dále využívá i velmi dobré tepelné vodivosti mědi.
- ▶ Měděné chladiče se používají k chlazení zesilovačů, výkonových součástek, CPU, ...
- ▶ Měděné dráty se také využívají pro konstrukci vinutí cívek motorů.



Měděný chladič.⁷¹



Cuprexitivová destička pro přípravu DPS.⁷²

⁷¹Zdroj: Audriusa/Commons

⁷²Zdroj: Marek Nožka/Commons

- ▶ Další velká oblast využití mědi (asi 20 %) je stavebnictví. Zde se využívá korozní odolnosti a časové stability mědi.
- ▶ Měď po čase získává charakteristické zelené zbarvení způsobené oxidací – vzniká hydroxid-síran nebo hydroxid-uhličitan měďnatý.



Synagoga v Trenčíně.⁷³

⁷³Zdroj: Motacilla/Commons

- ▶ **Dural** nebo **duraliminium** je skupina slitin hliníku s mědí, hořčíkem, manganem a dalšími kovy.
- ▶ Např. dural 3003 obsahuje 0,5 % mědi, 1 % manganu.⁷⁴
- ▶ Slitina byla vyvinuta v roce 1909.
- ▶ Využívá se hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu, ale také při výrobě sportovních a zdravotních pomůcek.



Vzorek duralu použitého pro konstrukci vzducholodi USS Akron.⁷⁵

⁷⁴Aluminum alloy 3003

⁷⁵Zdroj: [DigitallImageServices.com/Commons](https://www.digitallimageservices.com/Commons)

- ▶ Měď a její slitiny mají baktericidní účinky.
- ▶ V roce 1852 zjistil Victor Burq, že zaměstnanci mědných hutí jsou výrazněji odolnější vůči epidemii cholery než jiní lidé.⁷⁶
- ▶ Čím je vyšší aktivní povrch mědi, tím jsou její antimikrobiální účinky vyšší.
- ▶ Velmi výrazného zrychlení a zvýšení účinnosti lze dosáhnout přípravou porézní mědi.⁷⁷
- ▶ Tu můžeme získat např. ze slitiny mědi a manganu selektivním odleptáním manganu.⁷⁸

⁷⁶Copper Destroys Viruses and Bacteria. Why Isn't It Everywhere?

⁷⁷Pozoruhodná mikro-nanoměď zabíjí bakterie skoro jako bájná Medúza

⁷⁸Special porous copper kills golden staph bacteria 120 times faster

Stříbro

- ▶ Velká část stříbra se využívá ve šperkařství a výrobě mincí.
- ▶ Čisté stříbro nemá výhodné mechanické vlastnosti, proto se využívají slitiny s mědí.
- ▶ Nevýhodou stříbra je pomalé černání způsobené oxidací kyslíkem.
- ▶ Stříbrný vzhled lze obnovit pomocí hliníkové fólie, soli a vody, kdy dojde k elektrolytickému čištění.



Stříbrné náušnice.⁷⁹

⁷⁹Zdroj: LBM1948/Commons

- ▶ Světlocitlivosti solí stříbra se využívá v klasické fotografii.
- ▶ Na povrchu filmu je nanесena vrstva stříbrné soli s malým průměrem částic.
- ▶ Po dopadu světla dojde k černání filmu způsobeného vylučováním stříbra.
- ▶ V dnešní době trhu dominuje digitální fotografie, proto spotřeba stříbra v této oblasti klesá.⁸⁰

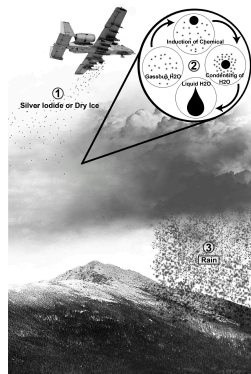


Fotografický film.⁸¹

⁸⁰A Big Source of Silver Bullion Demand Has Disappeared

⁸¹Zdroj: El Grafo/Commons

- ▶ Rozprašováním malých částic jodidu stříbrného lze docílit tvorby mraků a následného deště.
- ▶ Metoda je založena na tvorbě nukleačních center, jodid stříbrný má podobnou krystalickou strukturu jako led.⁸²
- ▶ Rozprašování se provádí letadly.⁸³
- ▶ Je to jedna z možností, jak zvýšit množství srážek v suchých oblastech.



Rozprašování AgI.⁸⁴

⁸²Cloud seeding, no longer magical thinking, is poised for use this winter

⁸³Cloud seeding: How the UAE gets creative to increase rainfall

⁸⁴Zdroj: Naomi E Tesla/Commons

Koloidní stříbro

- ▶ Koloidní disperze stříbra ve vodě se využívají jako přípravky s baktericidními účinky.
- ▶ Aktivní složkou jsou ionty Ag^+ , které narušují metabolismus bakterií.
- ▶ Nanočástice Ag se na vzduchu oxidují na Ag_2O , který ve vodném roztoku vytváří nízkou koncentraci Ag^+ .
- ▶ Ta je dostatečná, aby se projevily baktericidní účinky.



Koloidní stříbro.⁸⁵

⁸⁵Zdroj: Silverliving/Commons

Zlato

- ▶ Hlavní využití zlata je v ekonomice a šperkařství.
- ▶ *Zlatý standard* byl dříve využívám ke krytí měny hodnotou zlata v majetku emitenta.⁸⁶
- ▶ Mince byly buď raženy ze zlata nebo jako platinidlo sloužily bankovky, které byly kryté hodnotou zlata.



Zlaté dukáty.⁸⁷

⁸⁶Čím je kryta měna?

⁸⁷Zdroj: National Museum of American History/Commons

- ▶ Čistota zlata se v klenotnictví udává v karátech (kt).⁸⁸
- ▶ Čisté zlato má ryzost 24 kt.
- ▶ Ryzost je dána vztahem: $X = \frac{m_{Au}}{m}$.

Karáty	9	14	18	21,6	22	23,6	24
Ryzostní číslo	5	4	3	2	1	0	00



Zlatý náhrdelník, Peru, 1450-1532.⁸⁹

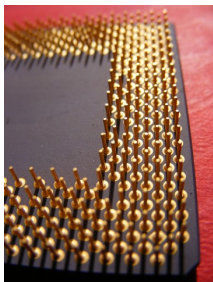
⁸⁸Co nám říká punc?

⁸⁹Zdroj: Daderot/Commons

Využití

Zlato

- ▶ V roce 2000 se spotřebovalo 280 tun zlata v elektronických aplikacích, spotřeba v této oblasti neustále roste.⁹⁰
- ▶ Hlavní využití zlata je pokovování konektorů, tím se sníží jejich odpor a zvýší odolnost vůči korozi.
- ▶ Dále se používá jako vodič v integrovaných obvodech a CPU.



Pozlacené piny CPU.⁹¹



Pozlacené konektory.⁹²

⁹⁰Current and future uses of gold in electronics

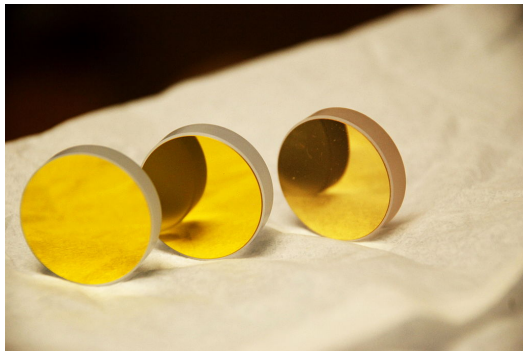
⁹¹Zdroj: Emilian Robert Vicol/Commons

⁹²Zdroj: Cjp24/Commons

- ▶ Zlato má velmi dobrou odrazivost v oblasti viditelného i infračerveného záření, toho se využívá v optických aplikacích.



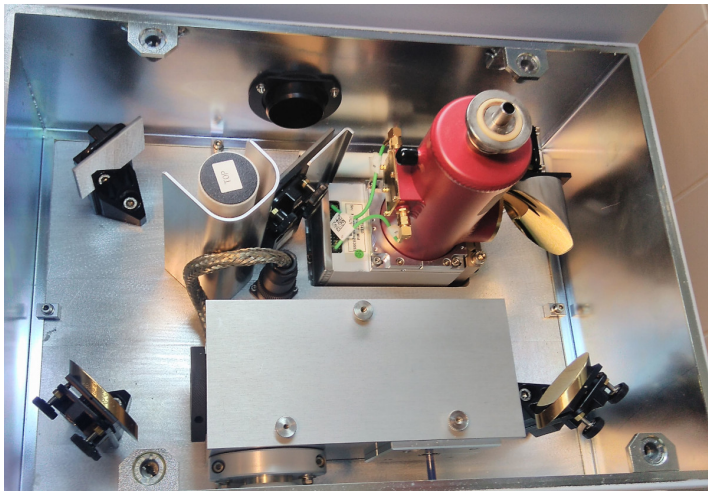
Zlaté zrcadlo.⁹³



Pozlacená zrcadla do spektrometrů.⁹⁴

⁹³Zdroj: Metropolitan Museum of Art/Commons

⁹⁴Zdroj: Eric Magnan/Commons



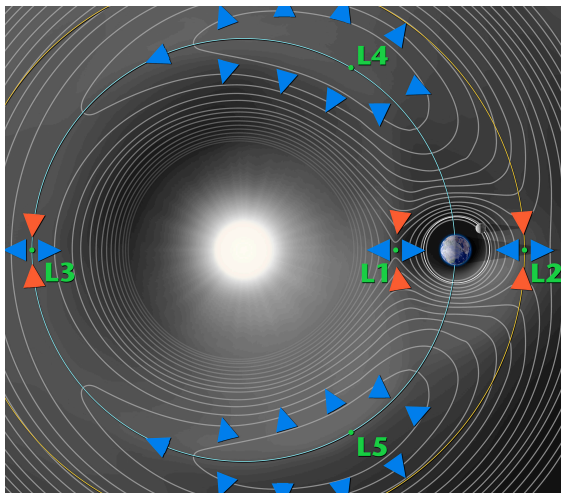
TG/IR modul

- ▶ Vesmírný dalekohled Jamese Webba je nástupce Hubbleova teleskopu.⁹⁵
- ▶ Je umístěn v libračním centru L2 soustavy Země–Slunce, přibližně 1,5 milionu km od Země.
- ▶ Na rozdíl od Hubbleova teleskopu teleskop pracuje v oblasti infračerveného záření (0,6–28 μm).
- ▶ Aby bylo možné pracovat v IR oblasti je nutné, aby zrcadlo teleskopu bylo chlazené na velmi nízkou teplotu, pod 50 K.
- ▶ Zrcadla jsou vyrobená z beryllia, které je dostatečně lehké a mechanicky odolné. Velkou výhodou je i jeho nízká tepelná roztažnost.
- ▶ Celková plocha zrcadla je 25 m² a je potaženo vrstvou zlata o tloušťce přibližně 100 nm.⁹⁶
- ▶ Teleskop odstartoval 25. prosince 2021 na raketě Ariane 5, do bodu L2 dorazil přibližně za měsíc od startu.
- ▶ První snímek byl zveřejněn 11. července 2022.⁹⁷

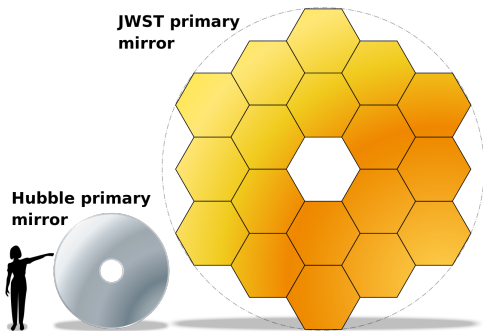
⁹⁵JWST na kosmonautix.cz

⁹⁶Mirrors Webb/NASA

⁹⁷President Biden Reveals First Image from NASA's Webb Telescope



Lagrangeovy body Země.⁹⁸



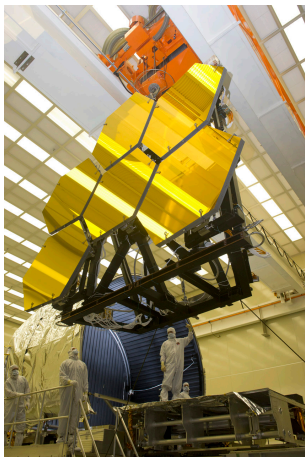
Srovnání zrcadel Hubbleova a Webbova teleskopu.⁹⁹



Model rakety Ariane 5.¹⁰⁰

⁹⁹Zdroj: NASA/Commons

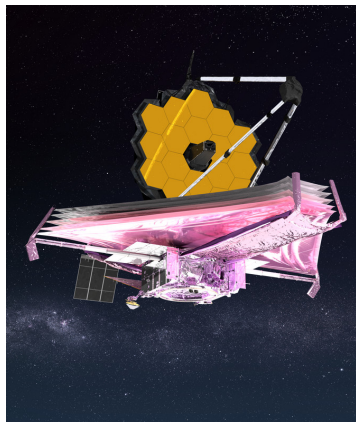
¹⁰⁰Zdroj: ignis/Commons



Zrcadlo JWST.¹⁰¹

¹⁰¹Zdroj: NASA/Commons

¹⁰²Zdroj: NASA/Commons



Ilustrace JWST ve vesmíru.¹⁰²



Snímek vzdáleného vesmíru pořízený JWST.¹⁰³

¹⁰³Zdroj: NASA/Commons

Jedlé zlato

- ▶ Potravinářské aditivum E175,¹⁰⁴ jeho čistota musí být 23–24 karátů, aby byla vyloučena přítomnost toxických kovů.¹⁰⁵
- ▶ Vzhledem k nízké reaktivitě zlata, dokáže projít trávicím traktem, aniž by došlo ke vzniku zdravotního rizika.¹⁰⁶
- ▶ Konzumace zlata se datuje až do starověkého Egypta.



Dort se zlatými vločkami.¹⁰⁷

¹⁰⁴E175 - Zlato

¹⁰⁵Vzácný kov na talíři: Je možné bez zdravotních následků sníst zlato?

¹⁰⁶Is A \$90 24-Karat Gold Burger Worth It?

¹⁰⁷Zdroj: Iragazzidoro/Commons

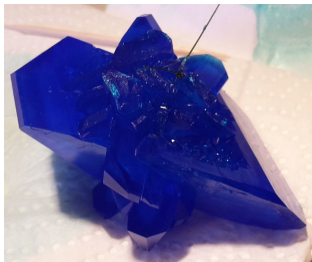
- ▶ **Měď** vytváří sloučeniny v rozmezí oxidačních čísel 0 až +IV. Nejběžnější jsou I a II.
- ▶ Karbonylové sloučeniny v oxidačním čísle Cu^0 jsou stabilní jen za kryogenních podmínek.

Ox. číslo	Sloučenina
0	$\text{Cu}(\text{CO})_3$
1	Cu_2O , $[\text{CuCl}_2]^-$
2	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cs}_2[\text{CuCl}_4]$
3	$[\text{CuF}_6]^{3-}$
4	$[\text{CuF}_6]^{2-}$

Sloučeniny

Měď

- ▶ Modrá skalice, pentahydrát síranu měďnatého, je modrá pevná látka se vzorcem $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$.
- ▶ Ve vodném roztoku vytváří oktaedrický komplex, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$.
- ▶ Používá se jako herbicid a fungicid.



Krystaly modré skalice.¹⁰⁸



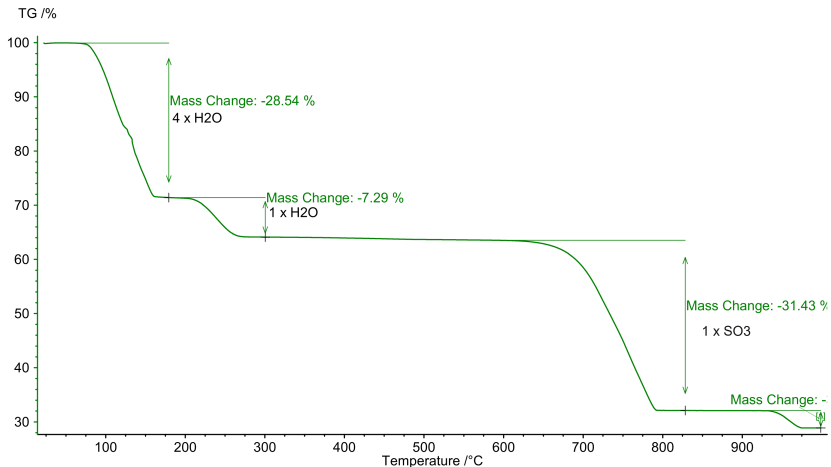
Bezvodý síran měďnatý.¹⁰⁹

¹⁰⁸Zdroj: Crystal Titan/Commons

¹⁰⁹Zdroj: W. Oelen/Commons

Sloučeniny

Měď



Termogravimetrická analýza modré skalice

- ▶ Vzhledem k elektrodovému potenciálu mědi (+0,34 V), nemůže měď reagovat s kyselinou sírovou za vzniku vodíku.
- ▶ Kyselina sírová nejprve oxiduje měď:
- ▶
$$\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{T}} \text{CuO} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- ▶ Vzniklý oxid pak reaguje s další kyselinou sírovou za vzniku síranu:
- ▶
$$\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$$
- ▶ Celková reakce je tedy:
- ▶
$$\text{Cu} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{T}} \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- ▶ Alternativní možností je využít k oxidaci kyselinu dusičnou:
- ▶
$$3 \text{Cu} + 2 \text{HNO}_3 \longrightarrow 3 \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NO}$$
- ▶
$$\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$$

Sloučeniny

Měď

- ▶ První organokovovou sloučeninou mědi byl červený acetylid měďný, připravený v roce 1859 reakcí:
- ▶ $2 \text{CuCl} + \text{C}_2\text{H}_2 \xrightarrow{\text{NH}_3} \text{Cu}_2\text{C}_2 + 2 \text{HCl}$
- ▶ Tato sloučenina je velmi citlivá na náraz a změny teploty, snadno exploduje.
- ▶ Reakce halogenidů měďných s organolithnými sloučeninami poskytují organoměďné látky:
- ▶ $\text{CuCl} + 2 \text{MeLi} \longrightarrow \text{Me}_2\text{CuLi} + \text{LiCl}$
- ▶ $\text{CuMe} + \text{MeLi} \longrightarrow \text{Me}_2\text{CuLi}$
- ▶ Tyto sloučeniny se označují jako Gilmanovy reagenty, reakcí s organohalogenidem vytváří vazbu C–C.¹¹⁰
- ▶ $\text{Me}_2\text{CuLi} + \text{EtCl} \longrightarrow \text{Me–Cu} + \text{Me–Et} + \text{LiCl}$



Sražena
 Cu_2C_2 .¹¹¹

¹¹⁰Organocopper(I) Compounds and Organocuprates in Synthesis

¹¹¹Zdroj: Leiem/Commons

- ▶ Stříbro vytváří sloučeniny v rozmezí oxidačních čísel 0 až +III. Nejběžnější oxidační číslo je I.
- ▶ Karbonylové sloučeniny v oxidačním čísle Ag^0 jsou stabilní jen za kryogenních podmínek.

Ox. číslo	Sloučenina
0	$\text{Ag}(\text{CO})_3$
1	AgCl
2	$[\text{Ag}(\text{py})_4]^{2+}$, AgF_2
3	AgF_3 , $[\text{AgF}_4]^-$, $[\text{AgF}_6]^{3-}$

- ▶ Všechny halogenidy stříbrné jsou *fotocitlivé*.
- ▶ Fluorid stříbrný, AgF, je žluto-hnědá pevná látka. Na rozdíl od ostatních halogenidů stříbrných je rozpustný ve vodě.
- ▶ Můžeme jej připravit reakcí uhličitanu nebo oxidu stříbrného s fluorovodíkem:¹¹²
- ▶ $\text{Ag}_2\text{CO}_3 + 2 \text{HF} \longrightarrow 2 \text{AgF} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
- ▶ Chlorid stříbrný, AgCl, je bílá pevná látka. Je nerozpustný ve vodě, čehož se využívá v *argentometrii*.
- ▶ V přírodě se vyskytuje jako minerál *chlorargyrit*.¹¹³
- ▶ Bromid stříbrný, AgBr, je nažloutlá pevná látka, nerozpustná ve vodě.
- ▶ Jodid stříbrný, AgI, je žlutá pevná látka, nerozpustná ve vodě.

¹¹²Laboratory Preparation of the Fluorinating Agents SbF₃ and AgF

¹¹³Chlorargyrite

Sloučeniny

Stříbro



Chlorid, bromid a jodid stříbrný.¹¹⁴

¹¹⁴Zdroj: Rrausch1974/Commons

▶ **Argentometrie**

- ▶ Metoda srážecí odměrné analýzy.
- ▶ Jako odměrný roztok se využívá AgNO_3 .
- ▶ Hlavní využití je ke stanovení chloridů, např. v pitné vodě:
- ▶ $\text{AgNO}_3 + \text{KCl} \longrightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{KNO}_3$
- ▶ Indikátorem je chroman draselný:
- ▶ $2 \text{AgNO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \longrightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \downarrow + 2 \text{KNO}_3$
- ▶ Argentometricky lze stanovit všechny halogenidy, kromě fluoridů.

Halogenid	AgCl	AgBr	AgI
pK_s	9,80	12,20	15,82



Sraženina chloridu stříbrného.¹¹⁵

¹¹⁵Zdroj: Milana995/Commons

Sloučeniny

Stříbro



Konec argentometrické titrace.¹¹⁶

¹¹⁶Zdroj: Anhella/Commons

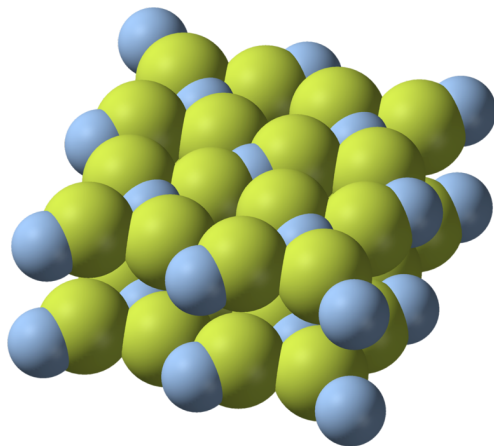
- ▶ **Gravimetrické stanovení chloridů ve formě AgCl**
- ▶ Chloridy se sráží za chladu roztokem dusičnanu stříbrného v prostředí HNO_3 .
- ▶ Po kvantitativním vysrážení se roztok zahřeje téměř k varu.
- ▶ Poté se nechá dvě hodiny stát v temnu, aby nedocházelo k rozkladu světlem.
- ▶ Po filtraci se promývá, až do negativní reakce na stříbrné ionty.
- ▶ Sraženina se následně suší při teplotě $130\text{ }^\circ\text{C}$ do konstantní hmotnosti.

- ▶ Fluorid stříbrnatý, AgF_2 , je jednou z mála sloučenin stříbra v oxidačním stavu II.
- ▶ Je to bílý krystalický prášek, postupně ale tmavne.
- ▶ Lze ho připravit oxidací Ag_2O pomocí plynného fluoru nebo fluoridu, příp. chloridu stříbrného za vyšší teploty:
- ▶ $2 \text{Ag}_2\text{O} + 2 \text{F}_2 \longrightarrow 2 \text{AgF}_2 + \text{O}_2$
- ▶ $2 \text{AgF} + \text{F}_2 \xrightarrow{200^\circ\text{C}} 2 \text{AgF}_2$
- ▶ Neutronovou difrakcí bylo prokázáno, že se jedná skutečně o AgF_2 a ne o komplexní fluorid ($\text{Ag}^{\text{I}}[\text{Ag}^{\text{III}}\text{F}_4]$).¹¹⁷
- ▶ Využívá se jako velmi silné oxidační a fluorační činidlo, dokáže fluorovat benzen, i plynný xenon:
- ▶ $\text{C}_6\text{H}_6 + 2 \text{AgF}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{F} + 2 \text{AgF} + \text{HF}$ ¹¹⁸
- ▶ $\text{Xe} + 2 \text{AgF}_2 \xrightarrow{\text{HF}} \text{XeF}_2 + 2 \text{AgF}$ ¹¹⁹

¹¹⁷Structure and Bonding in Silver Halides. A Quantum Chemical Study ...

¹¹⁸New method for selective monofluorination of aromatics using silver difluoride

¹¹⁹On the reaction between xenon and fluorine



Krystalová struktura AgF_2 .¹²⁰

- ▶ Fluorid stříbrný, AgF_3 , je nestabilní fluorid, ve kterém má stříbro oxidační stav III.
- ▶ Je to červená, diamagnetická látka, má podobnou krystalovou strukturu jako fluorid zlatý.¹²¹
- ▶ Připravuje se reakcí draslíku s dusičnanem stříbrným a fluorem za zvýšeného tlaku a teploty:¹²²
- ▶ $2\text{K} + \text{AgNO}_3 + 2\text{F}_2 \xrightarrow{400^\circ\text{C}} \text{K}[\text{AgF}_4] + \text{KNO}_3$
- ▶ a následnou reakcí s BF_3 :
- ▶ $\text{K}[\text{AgF}_4] + \text{BF}_3 \longrightarrow \text{AgF}_3 + \text{K}[\text{BF}_4]$

¹²¹Silver trifluoride: preparation, crystal structure, some properties, and comparison with AuF_3

¹²²The synthesis and structural characterization of novel transition metal fluorides

Sloučeniny

Zlato

- ▶ Zlato vytváří sloučeniny v rozmezí oxidačních čísel $-I$ až $+V$. Nejběžnější oxidační stavy jsou I a III .
- ▶ V kapalném amoniaku vytváří komplexní ion $[Au(NH_3)_n]^-$.
- ▶ Reakcí AuF s HF/SbF_5 v přítomnosti xenonu vzniká sloučenina $(AuXe_4)(Sb_2F_{11})_2$, obsahuje planární kation $AuXe_4$.¹²³

Ox. číslo	Sloučenina
-1	$[Au(NH_3)_n]^-$, $CsAu$
1	$[Au(CN)_2]^-$
2	$[Au\{S_2C_2(CN)_2\}_2]^{2-}$
3	AuF_3 , Au_2Cl_6 , $[AuBr_4]^-$
5	$[AuF_6]^-$

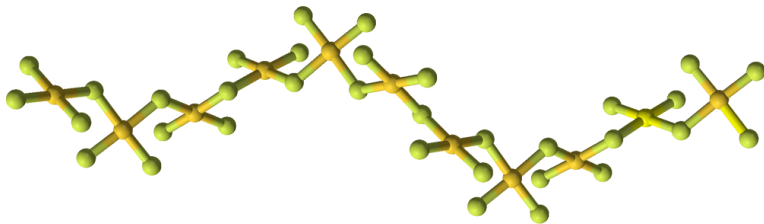
¹²³Xenon as a Complex Ligand: The Tetra Xenono Gold(II) Cation ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶

- ▶ Fluorid zlatitý, AuF_3 , je oranžová pevná látka, sublimuje při teplotě $300\text{ }^\circ\text{C}$.
- ▶ Připravuje se přímou reakcí z prvků, fluorací chloridu zlatitého:
- ▶ $2\text{Au} + 3\text{F}_2 \longrightarrow 2\text{AuF}_3$
- ▶ $2\text{AuCl}_3 + 3\text{F}_2 \longrightarrow 2\text{AuF}_3 + 3\text{Cl}_2$
- ▶ nebo reakcí:¹²⁴
- ▶ $2\text{Au} + 4\text{BrF}_3 \longrightarrow 2(\text{BrF}_2)[\text{AuF}_4] + \text{Br}_2$
- ▶ $(\text{BrF}_2)[\text{AuF}_4] \xrightarrow{60\text{ }^\circ\text{C}} \text{AuF}_3 + \text{BrF}_3$
- ▶ Využívá se jako silné fluorační činidlo.¹²⁵

¹²⁴Housecroft, C. E. a Sharpe, A. G. *Anorganická chemie*. Praha: VŠCHT, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6. s. 1152

¹²⁵GREENWOOD, N. N. a Alan EARNSHAW. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-854-2738-9. s. 1467

- Krystalová struktura se skládá ze čtvercových jednotek AuF_4 , které jsou propojeny vrcholy do šroubovice.¹²⁶

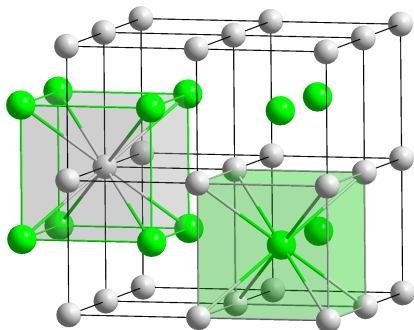


Krystalová struktura AuF_3 .¹²⁷

¹²⁶The crystal structure of gold trifluoride

¹²⁷Zdroj: Ben Mills/Commons

- ▶ Zlatid cesný, CsAu, je sůl obsahující cesný kation a zlatidový anion ($\text{Cs}^+ \text{Au}^-$).¹²⁸
- ▶ Získává se zahříváním směsi cesia se zlatem.
- ▶ Hydrolýzou poskytuje hydroxid cesný a kovové zlato.
- ▶ $2 \text{CsAu} + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{CsOH} + 2 \text{Au} + 2 \text{H}_2$



Krystalová struktura CsAu.¹²⁹

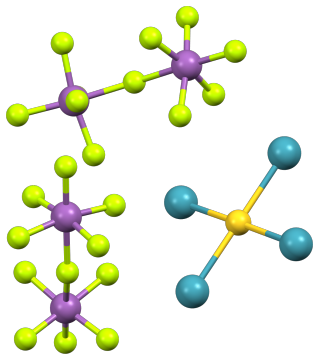
¹²⁸Das Verhalten der Alkalimetalle zu Kupfer, Silber und Gold

¹²⁹Zdroj: Solid State/Commons

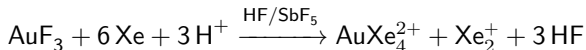
Sloučeniny

Zlato

- ▶ V roce 2000 byla připravena první sloučenina vzácného plynu s ušlechtilým kovem.
- ▶ Reakcí fluoridu zlatitého s plynným xenonem v prostředí HF/SbF₅ byla připravena sůl [AuXe₄][Sb₂F₁₁]₂.
- ▶ Produkt se povedlo vykrytalovat ve dvou modifikacích – v trojklonné a čtverečné soustavě.¹³⁰ Délka vazby Au–Xe je 274 pm.
- ▶ Zlato má v této sloučenině oxidační číslo II.



Krystalová struktura AuXe₄²⁺(Sb₂F₁₁)₂.

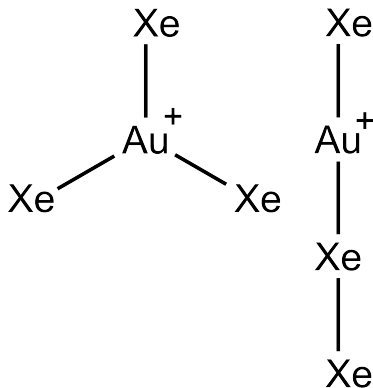


¹³⁰Xenon as a Complex Ligand: The Tetraxenonogold(II) Cation in AuXe₄²⁺(Sb₂F₁₁)₂

Sloučeniny

Zlato

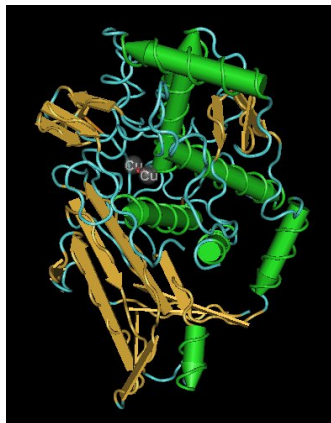
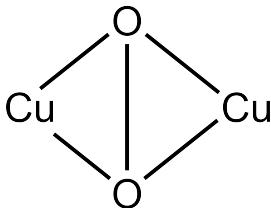
- ▶ Laserovou ablací kovového zlata v atmosféře plynného xenonu lze získat ionty obsahující vazbu Xe–Au.¹³¹
- ▶ Hmotnostní spektrometrií bylo určeno složení iontů jako AuXe₃⁺.
- ▶ Tomuto složení odpovídají dva izomery.
- ▶ Pomocí infračervené spektroskopie bylo prokázáno, že vzniká lineární izomer, takže dochází i ke vzniku vazby Xe–Xe.



¹³¹Spectroscopic evidence of a Xe–Xe bond in the linear Xe₂Au⁺Xe ion

- ▶ Měď patří mezi prvků důležité pro živé organismy.
- ▶ Vyskytuje se v řadě enzymatických cyklů, např. v metabolismu sacharidů a také při tvorbě kostní hmoty a červených krvinek.
- ▶ Měď je součástí *hemocyaninu*, analogu hemoglobinu u některých živočichů.
- ▶ Denní dávka mědi by se měla pohybovat mezi 1 a 100 mg. Zdroji mědi jsou ořechy, houby, koryši, měkkýši, játra a kakao.
- ▶ Nedostatek mědi se projevuje chudokrevností, zhoršením metabolismu sacharidů a zpomalením duševního vývoje.
- ▶ Při předávkování mědí hrozí podobné obtíže jako u kadmia a rtuti.

- ▶ Hemocyanin, je metaloprotein obsahující dva ionty mědi.
- ▶ Je součástí respiračního cyklu měkkýšů a některých členovců.
- ▶ Ionty mědi slouží k navázání molekuly kyslíku.
- ▶ Při oxidaci přechází bezbarvá forma (Cu^I) na modrou (Cu^{II}).



Molekulová struktura hemocyaninu.¹³²

Děkuji za pozornost

Zdeněk Moravec

`hugo@chemi.muni.cz`

`https://is.muni.cz/www/moravec/`