

**TYTO MATERIÁLY JSOU  
VÝHRADNĚ URČENY  
POUZE PRO STUDIJNÍ  
ÚČELY STUDENTŮ  
PŘEDMĚTU  
CORE122  
Chemie a společnost**

## C2000 Chemie a společnost

### 5. Kovy, jejich využití jako materiálů, speciální aplikace

Využití kovů v minulosti a současnosti; Co je to kov; Vazba v kovech; Elektrické vlastnosti (vodič, supravodič, levitace); Tepelné vlastnosti (termoelektrické materiály); Magnetické vlastnosti (magnetický záznam); Optické vlastnosti (solární články); Strukturní vlastnosti (amorfní kovy, precipitační vytvrzování, materiály s tvarovou pamětí)

Jana PAVLŮ

Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav chemie

A: Kamenice 753/5, budova C12/222, CZ-625 00 Brno

T: +420 549 493 742 | E: [houserova@chemi.muni.cz](mailto:houserova@chemi.muni.cz)

# Proč kovy?

## Využití kovů v minuloti

šperky, ozdobné předměty, hrnce a pánve na vaření, zemědělské nástroje, zbraně, ...

<https://www.rockstone-research.com/images/1%20news/History-of-Metals.jpg>

- Před 8-6 tis. let lidé začali vyrábět předměty z kovů, jako je **zlato, stříbro a měď** (měkké – šperky, nádoby na vaření, první nástroje a zbraně, platidla)
- 3 500 let př. n. l. **olovo** (sošky)
- 2 300–700 let př. n. l. – doba **bronzová** (Cu+Sn) – první cíleně vyrobená slitina
- 750 let př. n. l. – **rtuť**
- 700–0 let př. n. l. – doba **železná** (zemědělské nástroje a zbraně)
- 1574 – první moderní ocel v Praze



Mark Ahsmann, Reconstruction of elite male burial, with some of the world's oldest gold jewellery, c. 4,500 BC. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Varna\\_Necropolis#/media/File:20140611\\_Varna\\_08.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Varna_Necropolis#/media/File:20140611_Varna_08.jpg) **CC BY-SA 4.0 License**



Swadim, Celtiberian (Vettone) swords with antennas, National Archaeological Museum, Madrid. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\\_Age\\_sword#/media/File:Antenna\\_sword.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_Age_sword#/media/File:Antenna_sword.jpg) **CC BY-SA 4.0 License**

# Proč kovy?

## Využití kovů v současnosti – ve všech oblastech lidského života

stavebnictví – mosty, mrakodrapy, ...

letecký a automobilový průmysl, dopravní prostředky, kolejnice, ...

energetický průmysl – palivo (uran), turbíny, elektrické vedení, ...

elektrotechnika – vodiče (Cu), polovodiče (Si), pájky (Sn, Pb), ...

chemický a potravinářský průmysl – potrubí, reaktory, obaly, nádoby na vaření....

zdravotnictví – implantáty, stenty, operační nástroje, ochrana proti RTG záření...

zbrojní průmysl – zbraně, munice, ...

umění – sochy, šperky, ... sport – basebalové pálky, bicykly, ...



Samy Yousef, Finger joint replacement prosthesis. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Finger\\_joint\\_replacement\\_prosthesis.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Finger_joint_replacement_prosthesis.png) [Creative Commons Attribution 3.0 Unported License](#)



Siemens Pressebild, A worker installing a turbine blade on a steam turbine rotor being assembled in a Siemens factory in Germany. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfturbine\\_Laeufer01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfturbine_Laeufer01.jpg) [GNU Free Documentation License](#)

Donaldyt ong, Burj Khalifa. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Burj\\_Khalifa.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Burj_Khalifa.jpg) [GNU Free Documentation License](#)



# Co je to kov?

## Jaké kovy znáte?

Fe



Horst J. Meuter, Eisengitter vor einem Haus. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Woluwe-Saint-Lambert\\_-\\_Region\\_Bruxelloise\\_-\\_Eisengitter\\_-\\_P1010387.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Woluwe-Saint-Lambert_-_Region_Bruxelloise_-_Eisengitter_-_P1010387.jpg) [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License](#)

Pt



Pittigrilli, Platinum finger ring with diamond. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Platinum\\_finger\\_ring\\_with\\_diamond.jpg/640px-Platinum\\_finger\\_ring\\_with\\_diamond.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Platinum_finger_ring_with_diamond.jpg/640px-Platinum_finger_ring_with_diamond.jpg) [Creative Commons Attribution 4.0 License](#)

Cu



Tangerineduel, Antique French copper fish pan with lid. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/64/Antique\\_French\\_copper\\_fish\\_pan\\_with\\_lid.jpg/640px-Antique\\_French\\_copper\\_fish\\_pan\\_with\\_lid.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/64/Antique_French_copper_fish_pan_with_lid.jpg/640px-Antique_French_copper_fish_pan_with_lid.jpg) [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 License](#)

## Jak poznáte, že jde o kov?

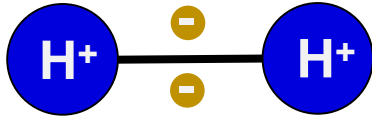
- většinou **pevná** látka  
(POZOR Hg od  $-38,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Cs od  $28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Ga od  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Rb od  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$  - **kapalné**)
- **lesklý** (na lomu nebo čerstvě připravený)
- **vysoká hustota**  
(Li 6,94 kg/l Fe 7,86, Pb 11,34 kg/l, Au 19,3 kg/l, Os 190,23 kg/l)
- **vede elektřinu a teplo**
- **kujné**

PROČ TOMU TAK JE?

MUNI  
SCI

# Vazba

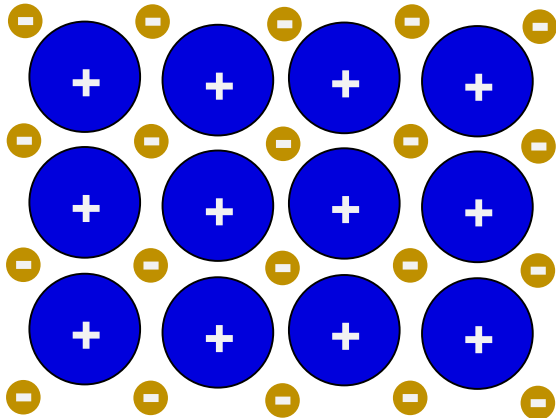
## Kovalentní vazba



Jana Pavlů, H<sub>2</sub>, 2024

- sdílení elektronů za vzniku **elektronových párů** mezi

## Kovová vazba

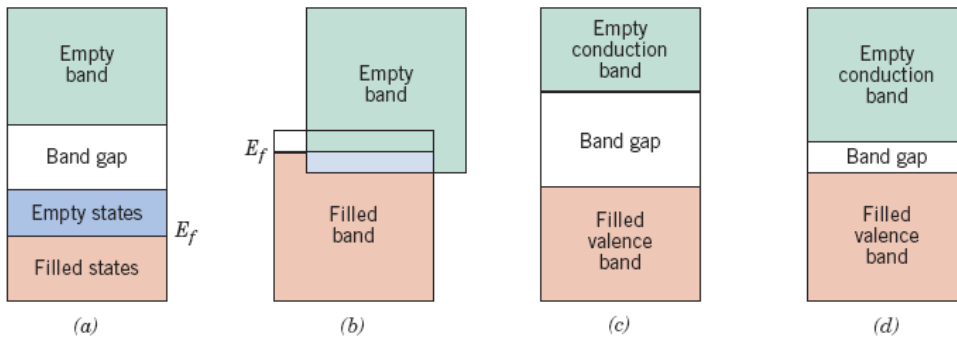
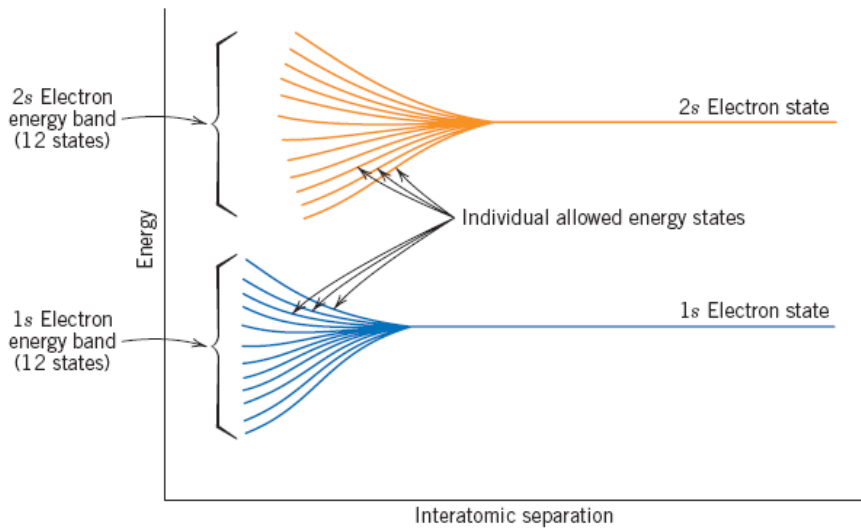


Jana Pavlů, kovová vazba, 2024

- elektrony se **delokalizují**
- strukturu kovu lze vizualizovat jako **soubor atomů** zasazených do **oblaku** relativně mobilních elektronů

# Vazba

## Pásová struktura



kovy (Cu)

kovy (Mg)

izolanty

polovodiče (Si, Ge, Se)

hladiny obsazované elektrony  
se rozštěpí → **elektronové  
energetické pásy**

**zaplněné stavy**  
**prázdné stavy**  
**zakázaný pás**

**vodivostní pás**

- u kovů stačí k excitaci energie elektrického pole, teplo
- podílejí se na vodivosti

**volné elektrony + díry**

- podílejí se na vodivosti

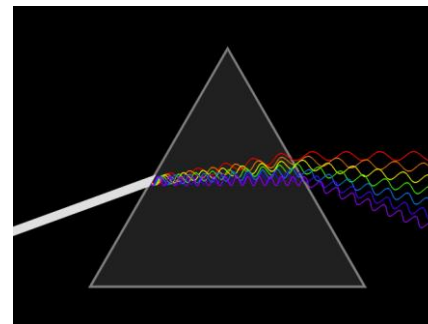
# Optické vlastnosti

## Interakce světla s hmotou

### Lom



Ulfund, A pen partially submerged in a bowl of water appears bent due to refraction at the water surface (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pen\\_in\\_water.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pen_in_water.jpg) [Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication](#)



Lucas Vieira , A triangular prism, dispersing light (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Prism#/media/File:Light\\_dispersion\\_conceptual\\_waves.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Prism#/media/File:Light_dispersion_conceptual_waves.gif) [Public Domain](#)

### Odras



**odras světla na rozhraní**  
úhel dopadu = úhel odrazu

Oregon's Mt. Hood Territory, The reflection of Mount Hood in Mirror Lake. (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection\\_\(physics\)#/media/File:Mount\\_Hood\\_reflected\\_in\\_Mirror\\_Lake,\\_Oregon.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_(physics)#/media/File:Mount_Hood_reflected_in_Mirror_Lake,_Oregon.jpg) [Public Domain](#)

### Absorbce



Rubín = safír ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + (0.5 to 2) at%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$

- modré, žluté, zelené světlo je absorbováno
- **propouštěna je červená** → tmavě červený

Humanfeather, Ruby (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ruby#/media/File:Ruby\\_gem.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Ruby#/media/File:Ruby_gem.JPG) [CC BY 3.0](#)

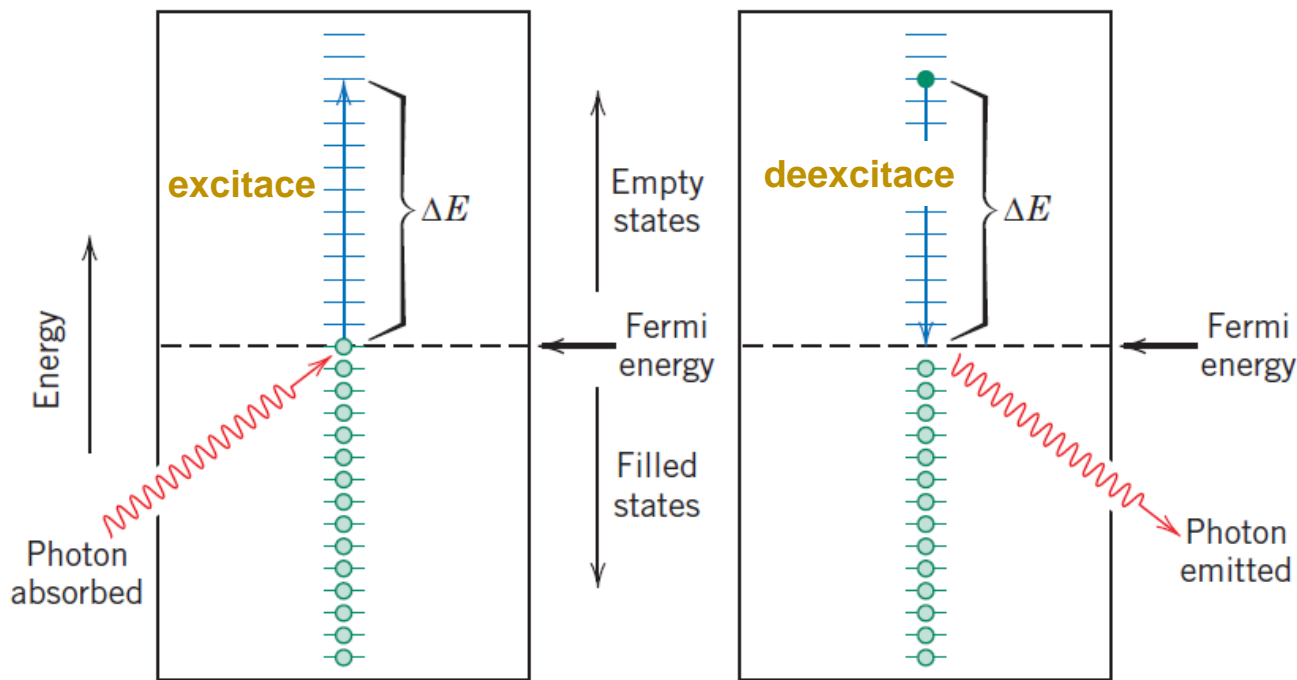


# Optické vlastnosti

## Aplikace

fosforescence, fluorescentní lampy, fotokonduktivita, LED, LASERY, solární články, optická vlákna, ...

## Absorpce a emise světla

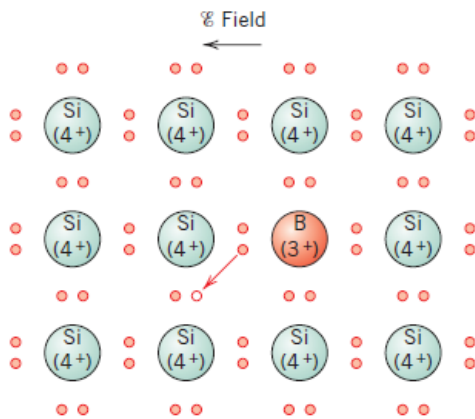


- Kovy většinu absorbovaného záření reemitují se stejným  $\lambda$  → odražené světlo
- jasně stříbřité - odrazivé v celém rozsahu viditelného spektra (Ag, Al)
- červeno-oranžová barva - některá absorbovaného světla část není reemitována (Cu, Au)

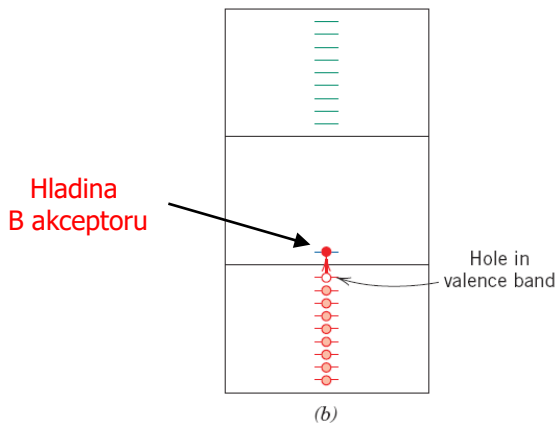
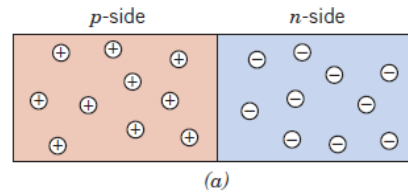
# Solární články

## p-n spoj

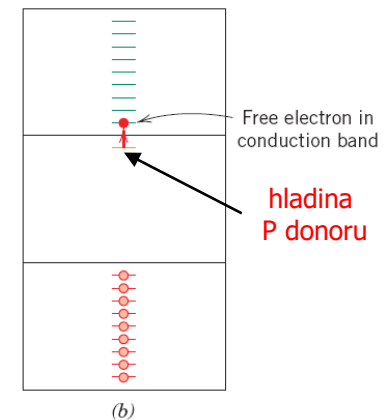
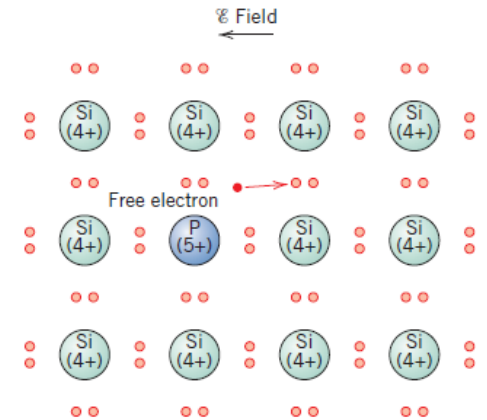
### polovodič typu p děrová vodivost



Všechny obrázky: William D. Callister, Jr.:  
Materials Science and Engineering: An  
Introduction, John Wiley & Sons, Inc., 2007



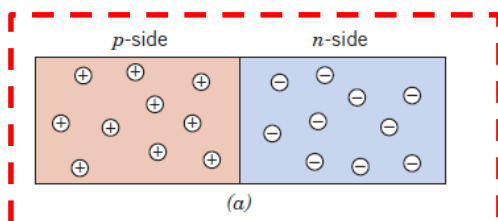
### polovodič typu n elektronová vodivost



- excitace (světlem, teplem) elektronů do vodivostního pásu a vznik děr v páse valenčním → vedou elektrický proud

# Solární články

## p-n spoj



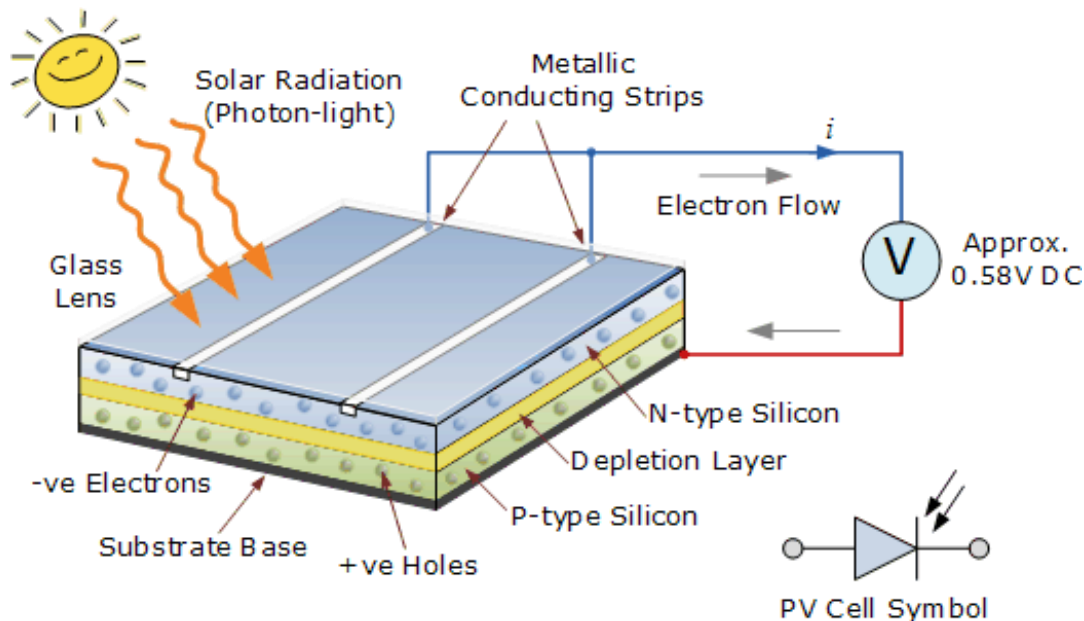
William D. Callister, Jr.: *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc., 2007

Některé z **volných elektronů** se pohybují přes spoj, aby zaplnily díry v materiálu typu p

a **díry** se pohybují přes přechod do oblasti, kde je velké množství volných elektronů.

Tento proces pokračuje, dokud počet elektronů, které prošly spojem, nebude mít dostatečně velký elektrický náboj, aby zabránil dalším nosičům v přechodu přes spoj.

Vznikne **rovnovážný stav** (elektricky neutrální situace) se zónou s „**potenciálovou bariérou**“ (vyčerpaná vrstva) kolem spoje.



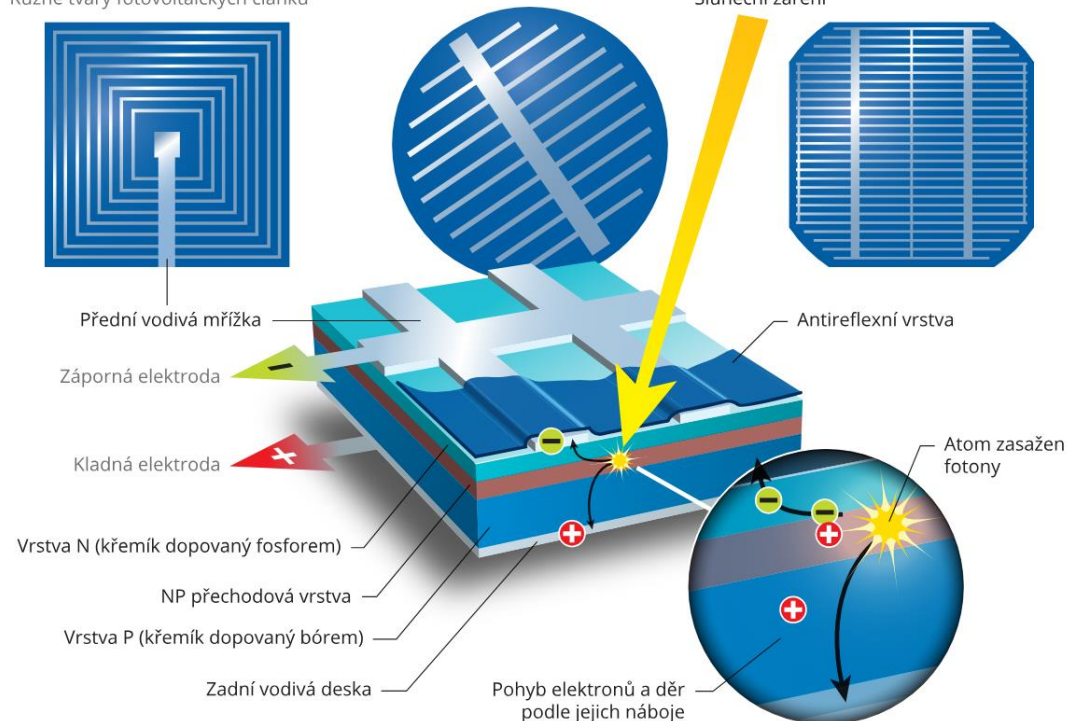
**Foton** narazí na p-n spoj polovodičového materiálu a **uvolní elektron z p-části**, který přeskočí vyčerpanou vrstvu a už nemůže zpět.

V důsledku toho se v polovodičovém materiálu typu n hromadí přebytek volných elektronů, který vytváří **elektrický proud** uvnitř solárního článku a bude pokračovat neomezeně dlouho, dokud bude vystaven slunečnímu záření.

# Solární články

## Fotovoltaický článek

Různé tvary fotovoltaických článků



Author unknown, *Princip práce fotovoltaického článku generujícího stejnosměrný elektrický proud* (online). (cit. 17.1.2024). Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunezni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/vyklad, --->

## MONOKRYSTALICKÉ ČLÁNKY

- nařezáním křemíkového monokrystalu na plátky
- účinnost od 14 do 20 %



Author unknown, *Solar Photovoltaic Panel* (online). (cit. 20.3.2021). Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/pv-panel.html--->

## POLYKRISTALICKÉ ČLÁNKY

- podložka z většího počtu menších křemíkových krystalů
- účinnost od 12 do 15 %
- lépe využijí rozptýlené světlo

## AMORFNÍ ČLÁNKY

- tenká vrstva fotocitlivého materiálu, napařená na podkladový materiál
- lze i vícevrstvé
- účinnost od 8 do 10 %
- lépe využijí rozptýlené světlo

# Optická vlákna

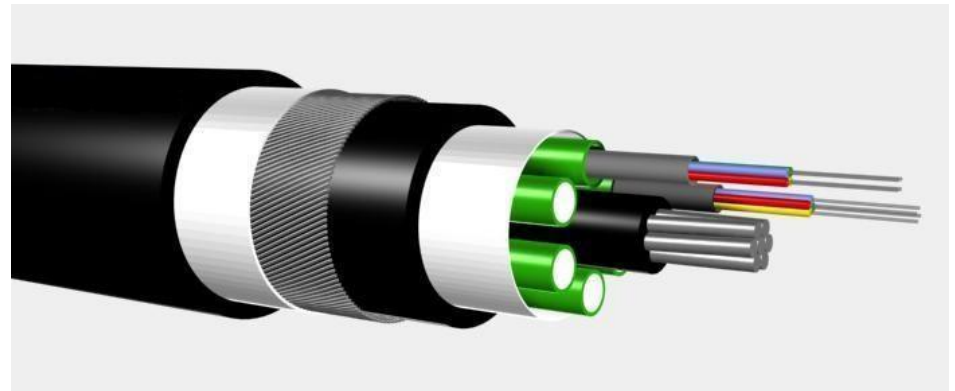
<https://youtu.be/jZOg39v73c4?t=49>

## Optické vlákno



Rickyab , Use of optical fiber in a decorative lamp or nightlight (online). (cit. 20.3.2021). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_fiber#/media/File:Use\\_of\\_optical\\_fiber\\_in\\_a\\_lamp..JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber#/media/File:Use_of_optical_fiber_in_a_lamp..JPG) [CC BY-SA 3.0](#)

## Optický kabel



Author Buy\_on\_turbosquid\_optical.jpg: Cable master derivative work: Srleffler (talk) , Optical cable(online). (cit. 20.3.2021). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Optical\\_fiber\\_cable.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Optical_fiber_cable.jpg) [CC BY-SA 3.0](#)

- 2 malá optická. vlákna – přenesou ekvivalent 24 000 telefonních hovorů
- pro stejný přenos jako u 0,1 kg optiky je nutno 33 t Cu

# Optická vlákna

## Rychlost světla

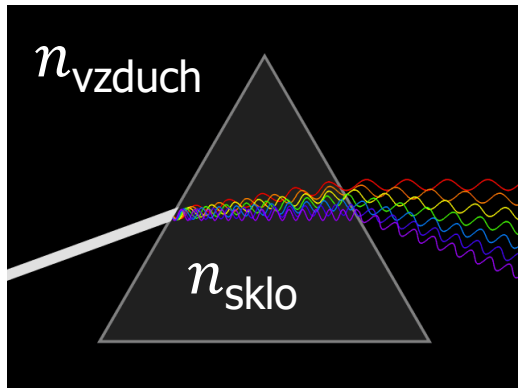
- pro různé materiály různá
- interakce světla s elektronovým oblakem → **pokles rychlosti** → ohnutí na rozhraní

## Index lomu světla

$$n = \frac{\text{rychlost světla ve vakuu}}{\text{rychlost světla v mediu}}$$

$$n_{\text{vzduch}} < n_{\text{sklo}}$$

## Lom světla



Lucas Vieira , A triangular prism, dispersing light (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Prism#/media/File:Light\\_dispersion\\_conceptual\\_waves.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Prism#/media/File:Light_dispersion_conceptual_waves.gif) [Public Domain](#)



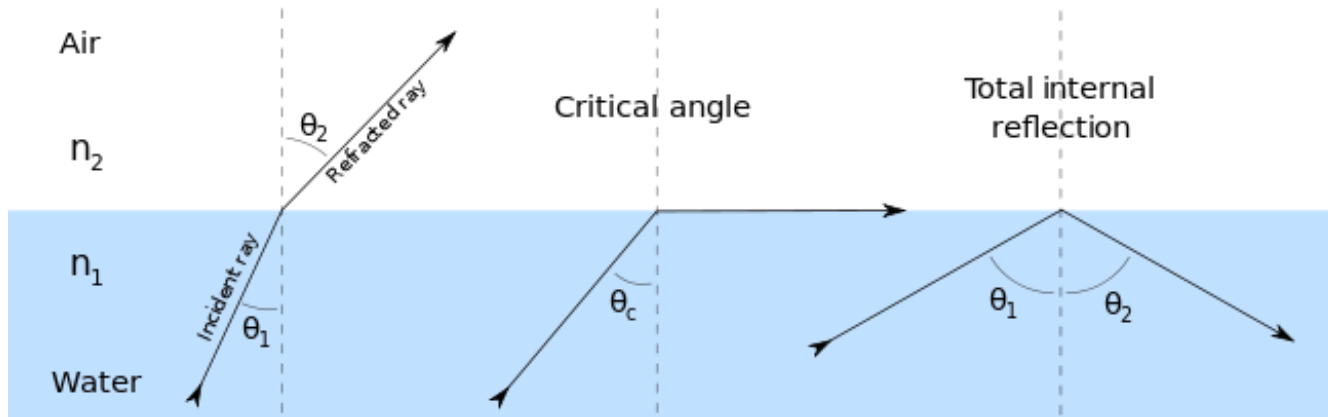
Ulfund, A pen partially submerged in a bowl of water appears bent due to refraction at the water surface (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pen\\_in\\_water.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pen_in_water.jpg) [Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication](#)

- můžeme zvyšovat index lomu skla – až se světlo nakonec bude na rozhraní odrážet

# Optická vlákna

## Odrážení světla

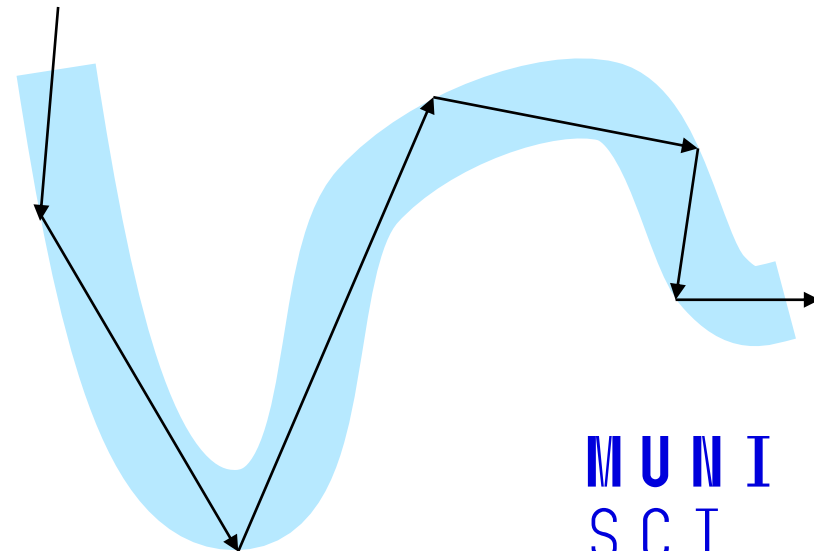
- můžeme zvyšovat **úhel dopadu paprsku** – až se světlo nakonec bude na rozhraní odrážet



Josell7, Optical reflection: critical angle and total internal reflection. (online). (cit. 20.3.2021). Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:RefractionReflection.svg> [C](#) [BY-SA 3.0](#)



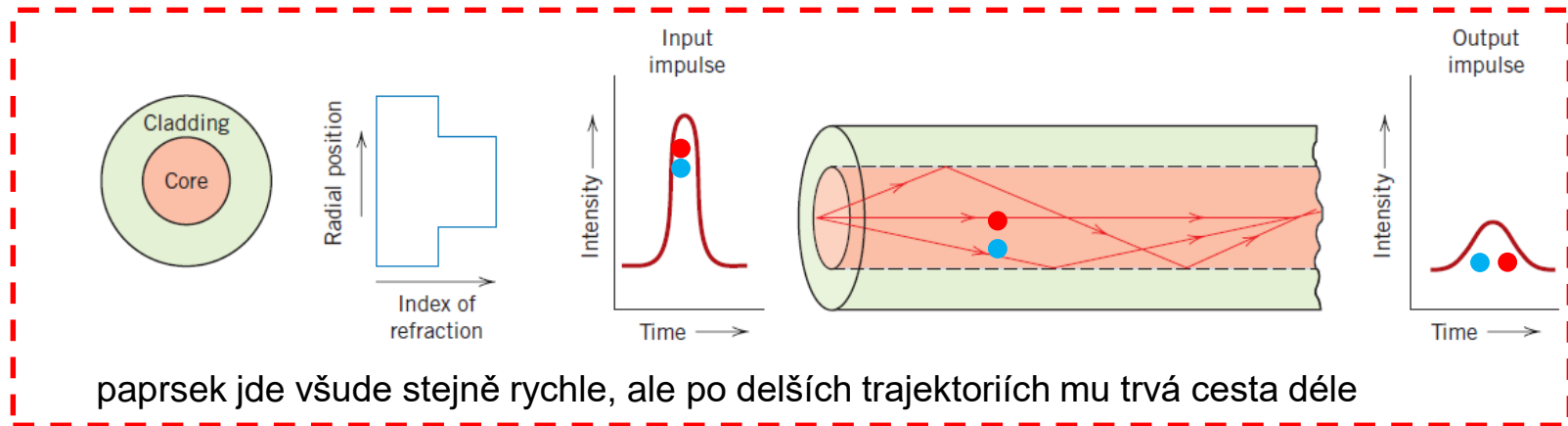
Oregon's Mt. Hood Territory, The reflection of Mount Hood in Mirror Lake. (online). (cit. 10.10.2023). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection\\_\(physics\)#/media/File:Mount\\_Hood\\_reflected\\_in\\_Mirror\\_Lake,\\_Oregon.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_(physics)#/media/File:Mount_Hood_reflected_in_Mirror_Lake,_Oregon.jpg) [Public Domain](#)



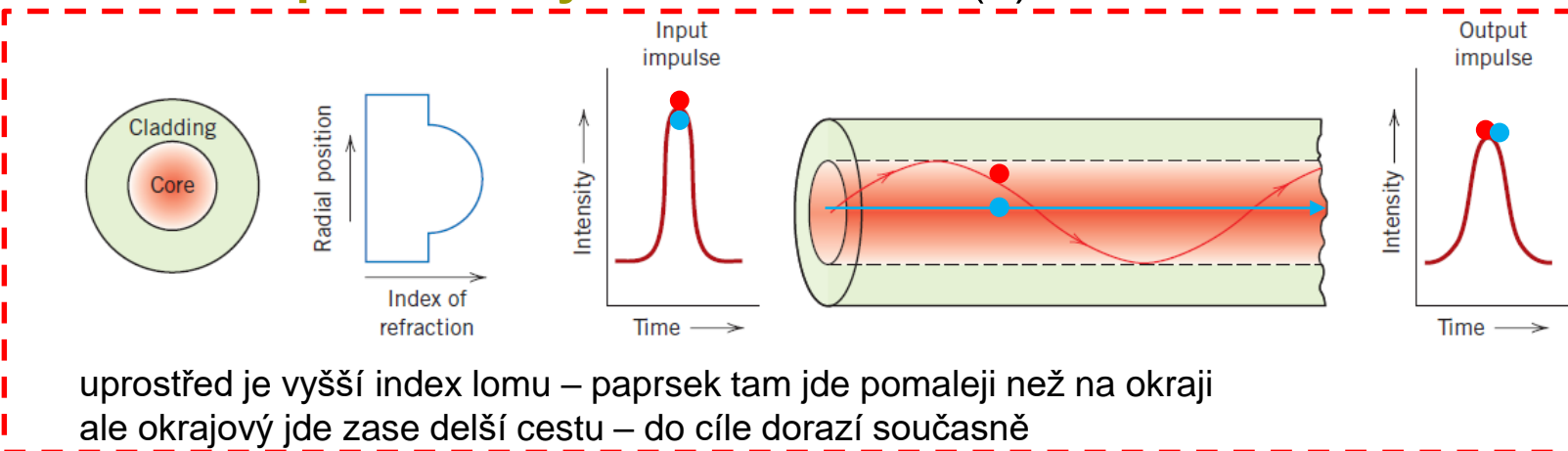
MUNI  
SCI

# Optická vlákna

- Provedení se **stupňovitým indexem lomu** ( $n$ ):



- Provedení s **parabolickým indexem lomu** ( $n$ ):

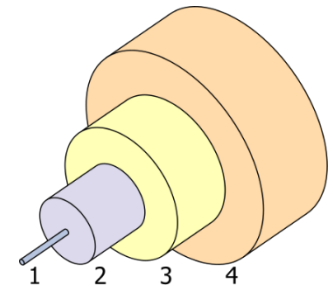




# Optická vlákna

## Optický kabel

- **sklo** s vysokým indexem lomu (**core**) + okolo vzduch s nízkým indexem lomu
- nutný **ochranný povlak (buffer)**
  - chrání optické vlákno před vlhkostí a fyzickým poškozením
  - nemá vlastnosti vzduchu
  - proto se mezi sklo optického vlákna a ochranný povlak dává vrstva skla s nízkým indexem lomu nahrazující „funkci“ vzduchu tzv. **opláštění (cladding)**
  - skla optického vlákna a opláštění se liší v dopantech
- **vrchní vrstva (jacket)** chrání před vnějšími fyzikálními silami a chemickým poškozením
- spolu s optickým vláknem je v optickém kabelu mimo jiné i **měděná slupka**, která přenáší elektrickou energii nutnou na občasné zesílení signálu



- 1.- Core 8-10  $\mu\text{m}$
- 2.- Cladding 125  $\mu\text{m}$
- 3.- Buffer 250  $\mu\text{m}$
- 4.- Jacket 400  $\mu\text{m}$

Original by Bob Mellish, SVG derivative by Benchill, Diagram of a single mode (SM) optical fiber. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levitating\\_uperconductor.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levitating_uperconductor.jpg) [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license](#)

## Přenos informace

- informace je zakódována ve formě **posloupností 0 a 1** (mobil) → **elektromagnetické vlnění o vysoké a nízké frekvenci** (signál z mobilu) → **světelný nebo nulový pulz** (optické vlákno)

# Elektrické vlastnosti

## Aplikace

vodiče, izolanty, polovodiče, Hallův jev, diody, tranzistory, PC, mikroelektronické obvody, piezoelektrina, supravodiče, Josephsonův jev, ...

## Ohmův zákon

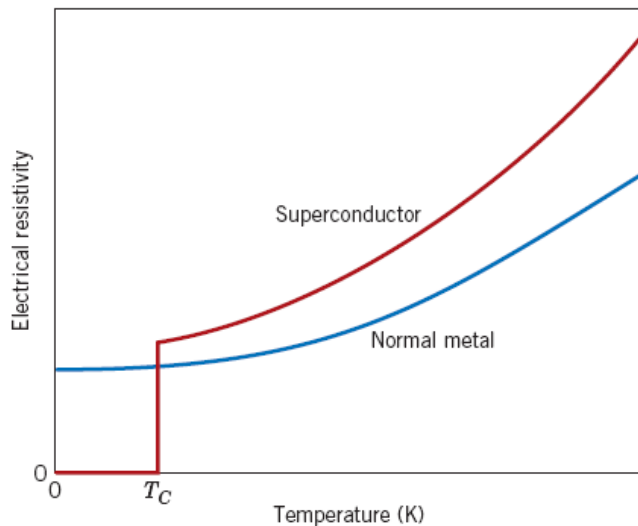
Napětí mezi konci vodiče je přímo úměrné proudu procházejícímu vodičem

$$U = IR \quad [V = A\Omega]$$

elektrické napětí  $U$ , elektrický proud  $I$ , el. odpor  $R$

$$G = \frac{1}{R} \quad [\Omega^{-1}]$$

elektrická vodivost  $G$



## Kov

- odpor klesá z klesající teplotou ke koncové hodnotě

## Supravodič

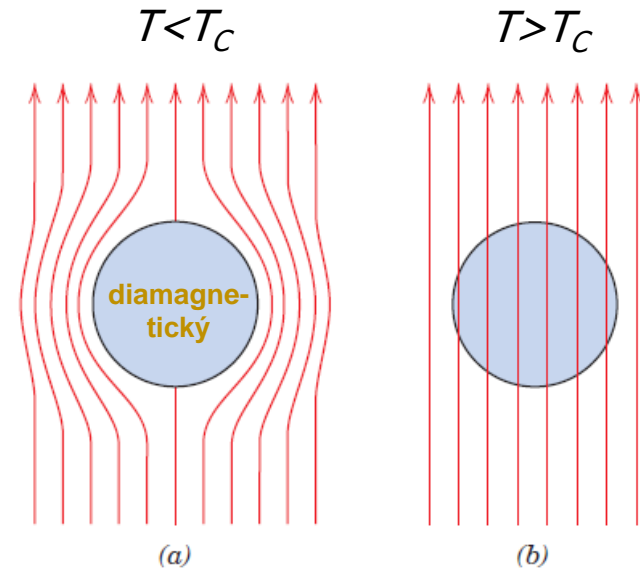
- odpor
  - klesá s klesající teplotou
  - **za kritické teploty  $T_C$  padá k nule**

# Supravodiče

## Nízkoteplotní supravodiče, typ I

- kovy pod **kritickou teplotou  $T_C$**
- nutno mít dobré chlazení (1911 Heike Kamerlingh ONES zkapalnil He)
  - umožnilo měřit supravodivost Hg

Prvek	$T_C$	Struktura
Olovo (Pb)	7,196 K	FCC
Tantal (Ta)	4,47 K	BCC
Rtuť (Hg)	4,15 K	RHL
Cín (Sn)	3,72 K	TET
Hliník (Al)	1,175 K	FCC
Molybden (Mo)	0,915 K	BCC
Zinek (Zn)	0,85 K	HEX
Titan (Ti)	0,40 K	HEX
Wolfram (W)	0,0154 K	BCC
Litium (Li)	0,0004 K	BCC



William D. Callister, Jr.: *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc., 2007

### Meissnerův efekt

- V supravodivém stavu (pod  $T_C$ ) těleso (kruh) vylučuje magnetické pole (šipky) ze svého nitra.
- Magnetické pole proniká stejným materiálem, jakmile se stane normálně vodivým.

# Supravodiče

## Vysokoteplotní supravodiče, typ II

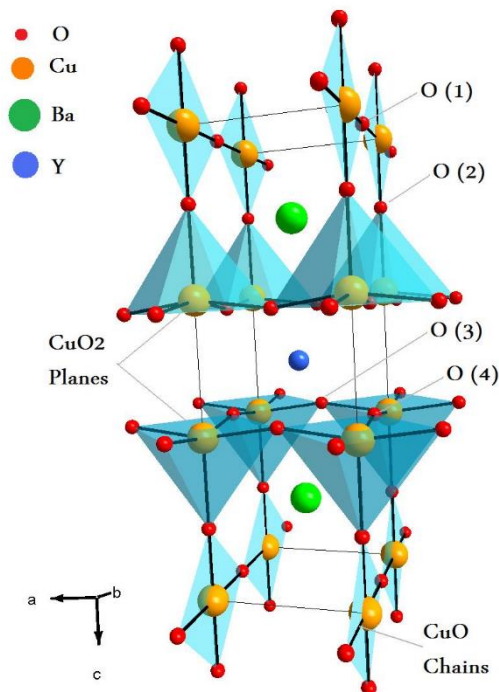
– kromě V, Tc a Nb jsou to slitiny (Nb-Ti, Nb-Zr) a kovové sloučeniny ( $V_3Ga$ ,  $Nb_3Sn$ )

– **směsné oxidy**

1986 -  $LaBaCuO$  (30 K,  $-243.15\text{ °C}$ ) - Karl Müller, Johannes Bednorz – IBM, Nobelova cena

1987 -  **$YBaCuO$**  (90 K,  $-183.15\text{ °C}$ )

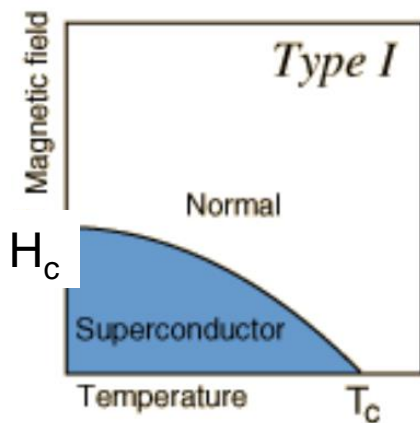
2017 -  $Sn_{12}SbTe_{11}Ba_2V_2Mg_{24}O_{50+}$  (489,15 K,  **$216\text{ °C}$** )  
(16. 1. 2024, <http://www.superconductors.org>)



*Haj33, Unit cell for the Cuprate of Barium and Yttrium (YBCO) (online). (cit. 10.10.2023).*

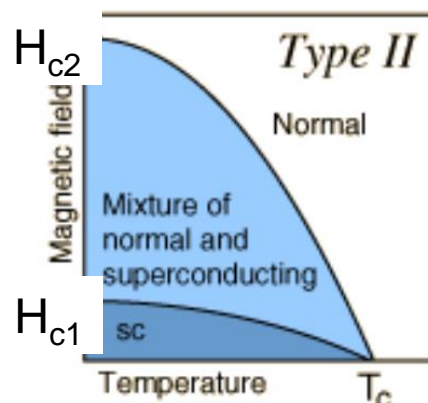
Dostupné z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature\\_superconductivity#/media/File:Ybco.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity#/media/File:Ybco.jpg)  
[Public Domain](#)

# Supravodiče a vnější magnetické pole



Diamagnetické / Supravodivé do **kritického magnetického pole**  $H_C$ .

Nad  $H_C$  se vodivost stává normální a dochází k úplnému pronikání magnetického pole.



Diamagnetické / Supravodivé po **dolní kritické magnetické pole**  $H_{C1}$ .  
Nad **horním kritickým magnetickým polem**  $H_{C2}$  je materiál normální.

Mezi  $H_{C1}$  a  $H_{C2}$  je smíšený stav  
– přítomny normální i supravodivé oblasti.

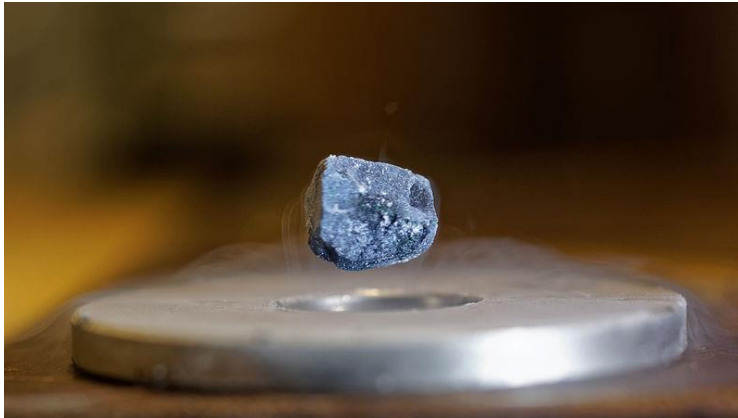
**Přechod ze supravodivého do normálního stavu je pozvolný.**

Čáry magnetického pole začnou pronikat do tělesa materiálu a se zvyšujícím se aplikovaným magnetickým polem toto pronikání pokračuje.

Carl R. Nave, *Critical Magnetic Field* (online). (cit. 19.3.2021).  
Dostupné z:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/scbc.html> [CC BY 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)

# Supravodiče - levitace

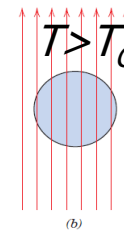
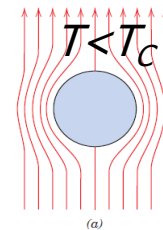
<https://youtu.be/X5EoUD-BIss?si=rPE4OomTjB-MBhON&t=167> min 3:14



Julian Litzel (Jullit31), High temperature superconductor levitating above a ring magnet. (online). (cit. 17.1.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levitating\\_superconductor.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levitating_superconductor.jpg) [GNU Free Documentation License](#)

V blízkosti supravodiče je silný magnet.

Vnější magnetické pole indukuje na povrchu supravodivé proudy. Ty vytvoří magnetické pole stejné velikosti jako vnější pole ale opačného znaménka. Tím se magnetické pole uvnitř supravodiče zcela vyruší. **Dochází k jejich vzájemnému odpuzování nezávisle na natočení magnetu.**



William D. Callister, Jr.:  
Materials Science and  
Engineering:  
An Introduction, John  
Wiley & Sons, Inc., 2007

**Supravodiče typu II nevykazují úplný Meissnerův jev**, ale dovolují **částečné pronikání magnetických siločar** do svého objemu ve formě tzv. **vortexů**.

V místech, kde magnetické pole prochází supravodičem typu II, je supravodivost zničena. Troška magnetického pole se dostane do supravodiče a drží ho na místě / na magnetu.

Díky vortexům je **magnet umístěný nad supravodičem nejen odpuzován, ale zároveň udržován ve stabilní poloze v určité vzdálenosti od supravodiče (levitace)**.

Magnet může být i zavěšen pod supravodičem (**magnetický závěs**).

Levitující magnet se může točit bez tření, zpomalovaný pouze odporem vzduchu, ve vakuu by se točil nekonečně dlouho.

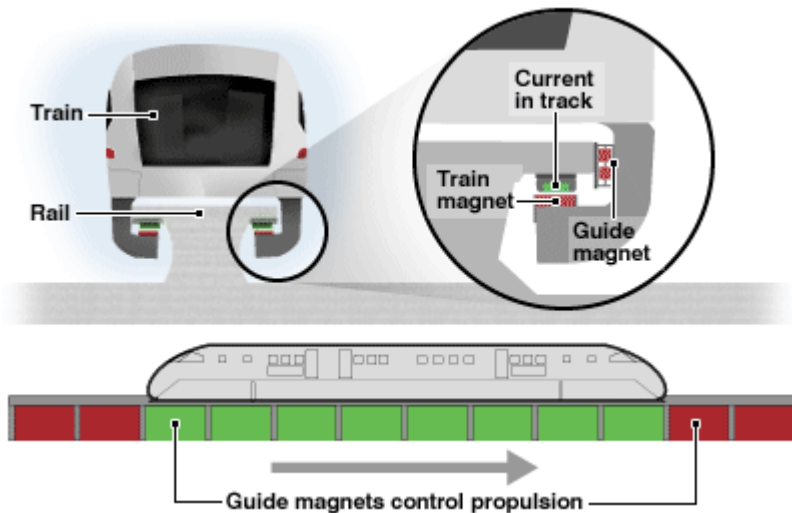
# Supravodiče - použití

## Aplikace

- přenos elektrické energie – malé ztráty + malé napětí
- magnety pro urychlovače částic
- superpočítače – vyšší rychlost přepínání a rychlejší přenos signálu
- levitující vysokorychlostní vlaky (Maglev = Magnetic levitation)
- vysoká magnetická pole (NMR, MS...)



*Ptump16, Patient being positioned for MR study of the head and abdomen. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Siemens\\_Magnetom\\_Aera\\_MRI\\_scanner.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Siemens_Magnetom_Aera_MRI_scanner.jpg) Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International licence*



Author unknown, Princip maglév (online). (cit. 17.12.2021). Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/maglev-rychlovlak/>



Stahlkocher, Transrapid on testing center in Germany nearby Lathen (online). (cit. 15.8.2024). Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Maglev#/media/Soubor:Transrapid.jpg> [BY-SA 3.0](#)

MUNI  
SCI

# Magnetické vlastnosti

## Aplikace

dveře ledniček, kompas, harddisk, kreditky, indukční vařiče, generátory, motory, MRI, ...

## Magnetický moment elektronu

orbitální pohyb elektronu kolem jádra  
~  $e^-$  ~ malá smyčka s proudem

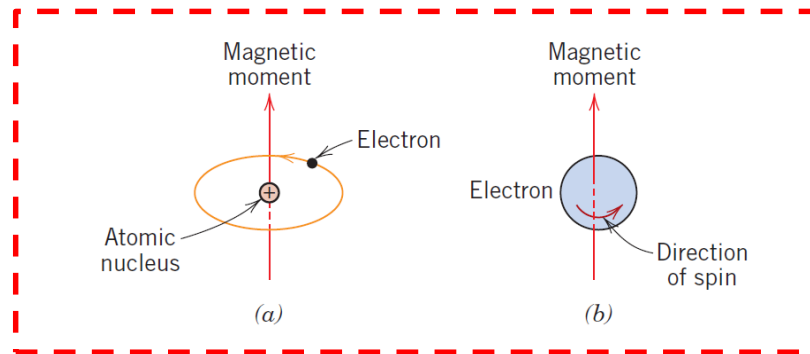
### Orbitální magnetický moment

$m_l \times \mu_B$  ( $m_l$  – mag. kvant. č.)

Rotace elektronu kolem své osy  
– lze jen orientace up nebo down

### Spinový magnetický moment

$\pm \mu_B =$  Bohr magneton ( $9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^{-2}$ )



*William D. Callister, Jr.: Materials Science and Engineering: An Introduction, John Wiley & Sons, Inc., 2007*

## Magnetický moment atomu

- vektorový součet orbitálních a spinových momentů všech elektronů
- příspěvky se mohou vyloučit

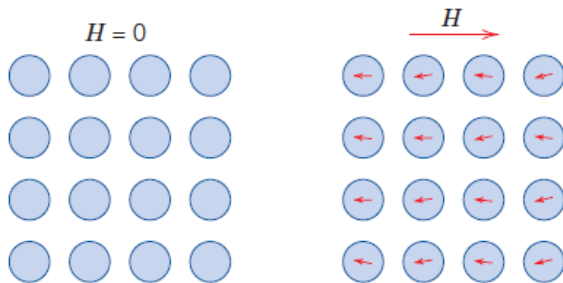
(Fe –  $2,22 m_B$ , Co –  $1,72 m_B$ , Ni –  $0,61 m_B$ )



# Magnetické vlastnosti

## Magnetický moment látky a vnější magnetické pole $H$

### Diamagnetismus



He, Cu, Au, Ag, Hg, Zn

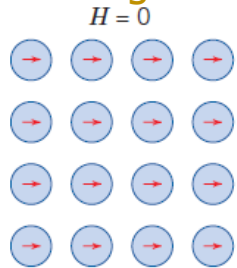
### Paramagnetismus



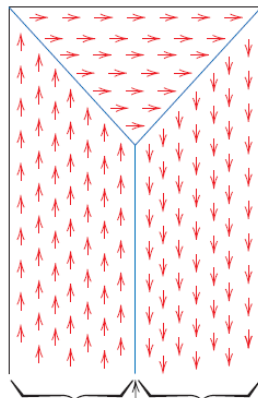
Al, Mo, Ti, Na

Všechny obrázky:  
William D. Callister,  
Jr.: Materials Science  
and Engineering: An  
Introduction, John  
Wiley & Sons, Inc.,  
2007

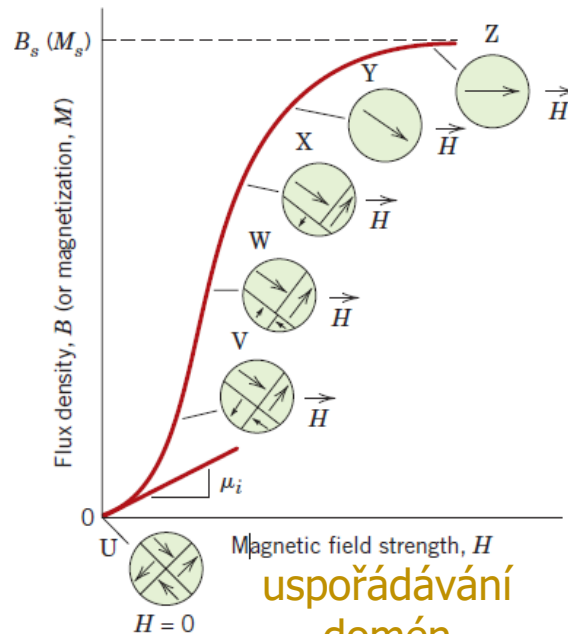
### Feromagnetismus



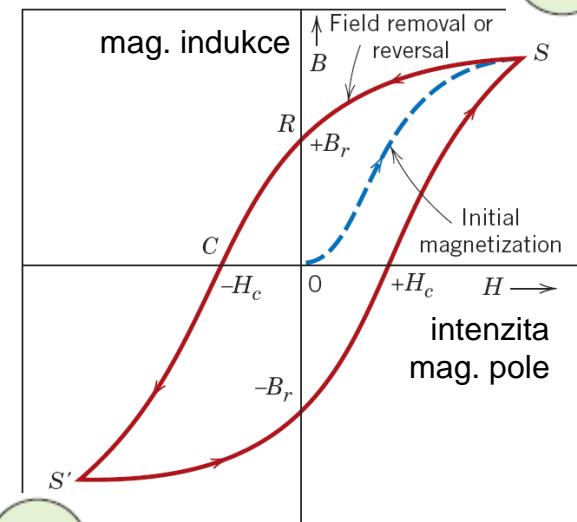
Fe, Co, Ni



domény



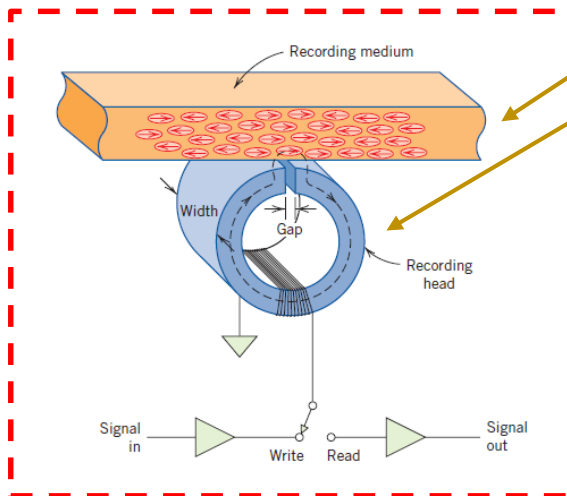
uspořádávání  
domén



překlápění domén

# Magnetický záznam

## Záznam a načítání



William D. Callister, Jr.: *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc., 2007

páska nebo disk

indukční čtecí a zapisovací hlava

- drátová **cívka** navinutá kolem magnetického materiálu jádra, do kterého je vyříznuta mezera
- **elektrický signál** v cívce vytváří **magnetické pole** napříč mezerou, které magnetizuje velmi malou oblast disku nebo pásky v blízkosti hlavy
- po odstranění magnetického pole zůstává **magnetizace**; signál byl uložen
- disková paměťová média, kreditní karty, ...

DALŠÍ ČTENÍ

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1348-magneticky-zaznam-zvuku>

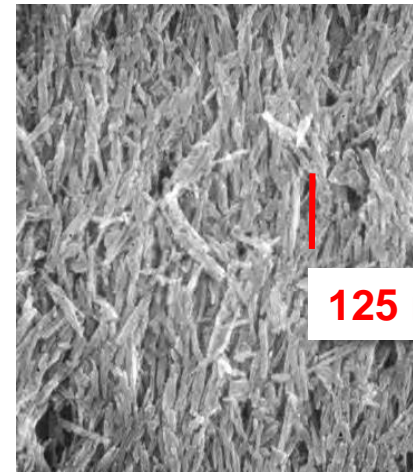
# Magnetický záznam

## Částicová média

- **jehličkovité částice**, obvykle  $\gamma$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ferit nebo  $\text{CrO}_2$  rovnoběžné se směrem pohybu hlavy **každá jehlice je jedinou doménou**, tu lze magnetizovat pouze podél její osy nebo „proti“ ní
- ukládání informací v digitální podobě, jako 1 (změna orientace) a 0 (beze změny orientace)
- páska, disketa

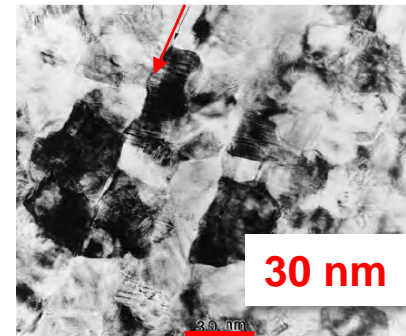
## Technologie tenkého filmu

- **vyšší úložné kapacity při nižších nákladech**
- **tenký film**, obvykle slitina  $\text{CoPtCr}$  nebo  $\text{CoCrTa}$  o tloušťce mezi 10 a 50 nm + substrát z Cr nebo jeho slitiny
- film je **polykrystalický** se zrna mezi 10 a 30 nm
- **každé zrno je jedinou doménou**
- pevné disky



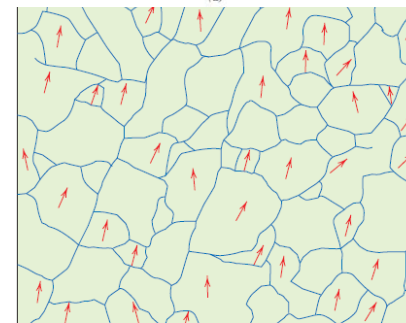
Mikrostruktura magnetického paměťového disku. Jehlicovitý  $\gamma$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  v epoxidové fenolové pryskyřici. 8000 $\times$

125 nm



(a) Tenký  $\text{Co-Cr-Pt}$  film v magnetickém paměťovém médiu s vysokou hustotou. Šipka ukazuje směr pohybu média. 500 000 $\times$ .

30 nm



(b) struktura zrna pro obr. (a); šipky u některých zrn naznačují texturu nebo směr snadné magnetizace.

# Tepelné vlastnosti

## Aplikace

snadno se ohřívající materiály, materiály vedoucí teplo, bimetaly, termoelektrika, ...

## Tepelná kapacita

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T}$$



Jebulon, Collection of copper saucepans in kitchen of Vaux-le-Vicomte castle. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Casser\\_oles\\_cuivre\\_Vaux.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Casser_oles_cuivre_Vaux.jpg) [public domain licence](#)

- říká, kolik je třeba tepla  $Q_p$  na ohřev látky o jeden stupeň Celsia



**Citlivé teploměry musí být vyrobeny z materiálů s malou měrnou tepelnou kapacitou, aby mohly detekovat a ukazovat změny teploty rychle a přesně**  
P. Kratochvíl, Thermometer (online). (cit. 1.3.2021). Dostupné z: [https://all-free-download.com/free-photos/download/red-fireworks\\_193087.html](https://all-free-download.com/free-photos/download/red-fireworks_193087.html)

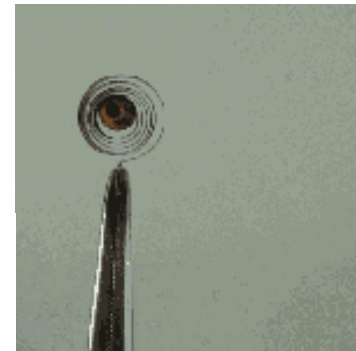
## Délková teplotní roztažnost

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$$

- prodloužení je úměrné počáteční délce  $l_0$ , přírůstku teploty  $\Delta T$  a teplotnímu součiniteli délkové roztažnosti  $\alpha$

**Bimetal (dvojkov)** = dva pevně spojené kovy s různou teplotní roztažností (teploměr, elektromechanický termostat (žehličky, přímotopy, ...), elektrické jističe)

Hustvedt, A bimetal coil from a thermometer reacts to the heat from a lighter, by uncoiling and then coiling back up when the lighter is removed. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Bimetal\\_coil\\_reacts\\_to\\_lighter.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Bimetal_coil_reacts_to_lighter.gif) [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported licence](#)

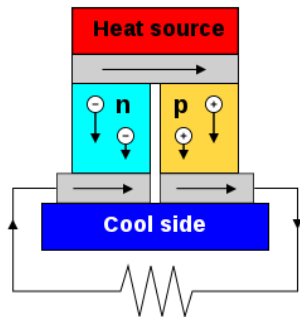


# Termoelektrika

## Peltierův-Seebeckův (termoelektrický) jev

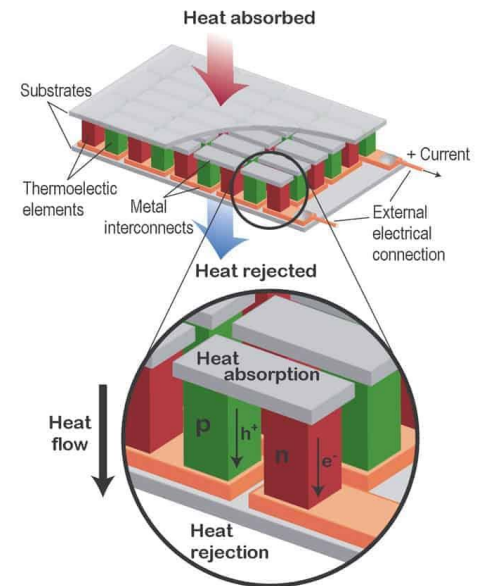
- je přímou **přeměnou rozdílu teplot na elektrické napětí** (Peltier) a naopak (Seebeck). To způsobuje nepřetržité proudění elektronů nebo děr, pokud vodiče vytvoří uzavřený obvod.

## Termoelektrický (Seebeckův) generátor



Ken Brazier, *A diagram of a thermoelectric generator.* Made with Inkscape and Gvim. (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Thermoelectric\\_Generator\\_Diagram.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Thermoelectric_Generator_Diagram.svg) [GNU Free Documentation License](#)

Hamish Johnston, *Multiple valleys boost thermoelectric performance.* (online). (cit. 30.4.2024). Dostupné z: <https://physicsworld.com/wp-content/uploads/2011/05/valley.jpg> a <https://physicsworld.com/a/multiple-valleys-boost-thermoelectric-performance/>



- dražší a méně účinný než tepelné motory
- vzniklé napětí je v řádu **několika mikrovoltů na stupeň Celsia**

## Aplikace

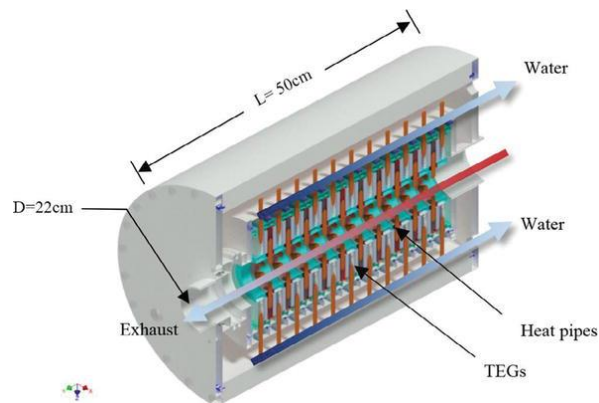
- generování elektřiny, měření elektřiny nebo chlazení objektů
- rekuperace odpadního tepla v průmyslu (elektrárny, továrny) a dopravě (automobily), vesmírná výroba energie, biotermální baterie, polovodičové termoelektrické chlazení, optoelektronická zařízení, ventilátory kamen

# Termoelektrika

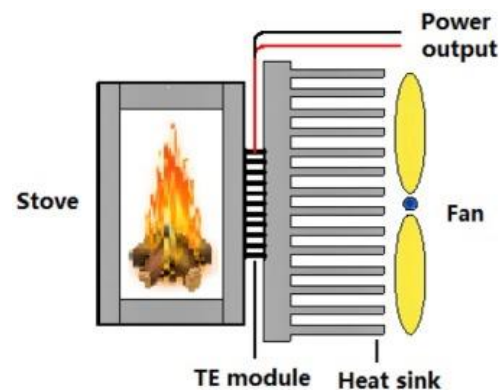
## Charakteristika použitých materiálů - figure of merit $ZT$

$$ZT = \frac{S^2}{k} \sigma T$$

- Seebeckův koeficient  $S$ , tepelná vodivost  $k$ , elektrická vodivost  $\sigma$  a absolutní teplota  $T$
- termoelektrický materiál musí být dobrý ve vedení elektřiny ( $S$ ), ale špatný ve vedení tepla ( $k$ ). Musí mít také velký tepelný výkon (poměr napětí a teplotního rozdílu napříč materiálem)
- **Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> a PdTe** – NEšetrné k životnímu prostředí
- **Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>** - komerčně dostupná zařízení - produkce cca 10 W s účinností konverze cca 5–7 % při teplotním rozdílu 200–250 °C
- **Materiály na bázi PbTe** - dlouhá životnost a funkčnost při vysokých teplotách (výfukové plyny automobilů apod.) - ale  $ZT$  stále pod 1
- Od roku 2021 - materiály dosahující  $ZT > 3$ ; monovrstvy AsP<sub>3</sub> ( $ZT = 3.36$ ); n-dopovaný InP<sub>3</sub> ( $ZT = 3.23$ ); p-dopovaný SnP<sub>3</sub>; p-dopovaný SbP<sub>3</sub> ( $ZT = 3.5$ ).



Li, Bo, Kuo Huang, and Yuying Yan. 2018. 'Thermoelectric Power Generation for Heat Recovery in Automotive Industries'. Bringing Thermoelectricity into Reality. InTech. doi:10.5772/intech.open.75467.



H.B. Gao, G.H. Huang, H.J. Li, Z.G. Qu, Y.J. Zhang, Development of stove-powered thermoelectric generators: A review, Applied Thermal Engineering, 96 (2016)297-310, https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.032.

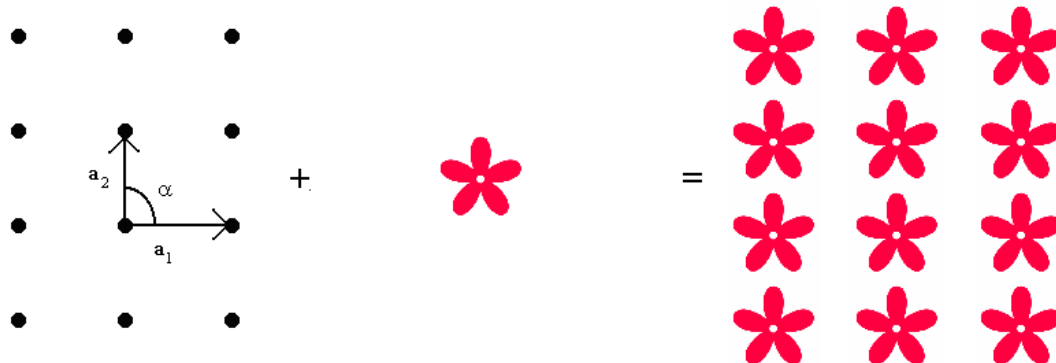


# Strukturní vlastnosti

## Aplikace

- tvrdé materiály (řezné nástroje pro obrábění, těžbu, vrtání základů, technické součásti, tvrdokovové vrtáky, soustružnické, frézovací a kovoobráběcí nástroje, ...)
- měkké materiály (výroba šperků, pokovování a elektroinstalace, ...)
- měkké oceli (konstrukční ocel, značky, automobily, nábytek, oplocení, ...)
- porézní materiály (reaktory, implantáty, ...)
- nanočástice (katalýza, nosiče pro podávání léčiv, elektrody, baterie, antimikrobiální účinky (např. nanoměď nebo nanostříbro - nátěry pro povrchy ve zdravotnických zařízeních a v oblastech přípravy jídel), ...)
- amorfni kovy, precipitační vytvrzování, materiály s tvarovou pamětí

## Krystalová struktura



Jana Pavlů,  
Krystalová  
struktura

# Amorfní (nekrytalické) kovy

- **Postrádají klasickou krystalovou strukturu** se zrny a hranicemi zrn

## Vlastnosti

- Pevnost – 2x větší než ocel, tvrdost
- Houževnatost – lepší než keramiky
- Elasticita – vyšší mez kluzu
- korozivzdornost, kompatibilní s lidskými kostmi

## Absence hranic mezi zrny

- Odolnost proti korozi a opotřebení
- Velmi měkké magnetické vlastnosti
- Vysoký elektrický odpor
- Snadná magnetizace-demagnetizace
- Nízká tepelná vodivost

## Příprava

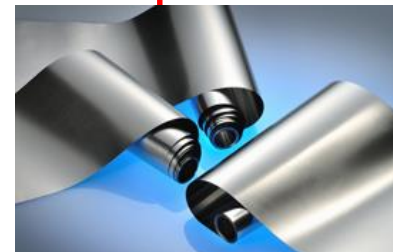
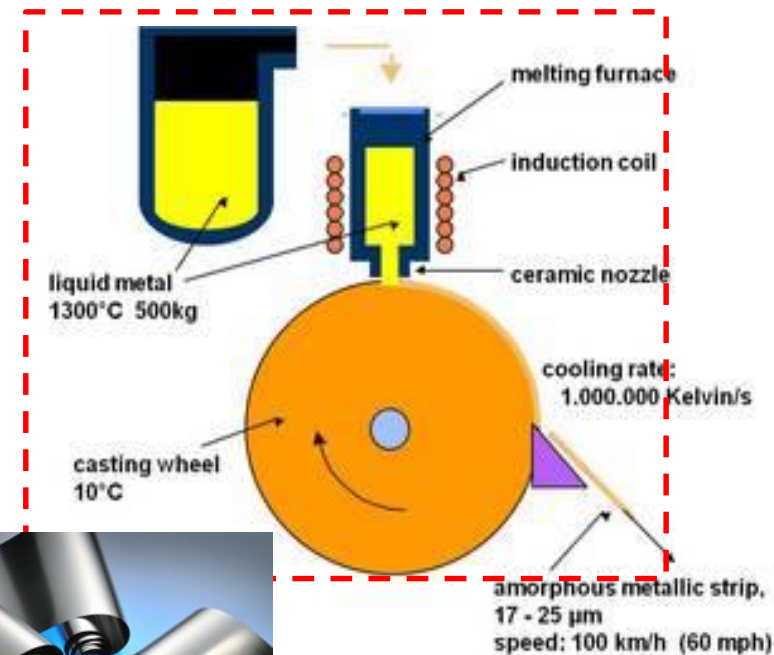
### velmi rychlé ochlazování taveniny

- Tenká kovová fólie 25  $\mu\text{m}$  x 200 mm
- Chlazení 1 000 000  $^{\circ}\text{C} / \text{s}$ , aby nedošlo ke krystalizaci a zachovala se meta-stabilní amorfní struktura
- Natlačení taveniny na rychle rotující vodou chlazený Cu válec



---, *Amorphous Alloys* (online). Dostupné z: [www.sekels.com/en/sekels-products/amorphous-cores/amorphous-alloys](http://www.sekels.com/en/sekels-products/amorphous-cores/amorphous-alloys)

Telford, Mark. (2004). The case for bulk metallic glass. *Materials Today*. 7. 36-43. 10.1016/S1369-7021(04)00124-5.



---, *Amorphous Coils and Core for Transformers* (online). (cit. 13.5.2021). Dostupné z: [https://www.hitachi-metals.co.jp/e/products/infr/en/p0\\_1.html](https://www.hitachi-metals.co.jp/e/products/infr/en/p0_1.html)



# Amorfní (nekrystalické) kovy

## Aplikace

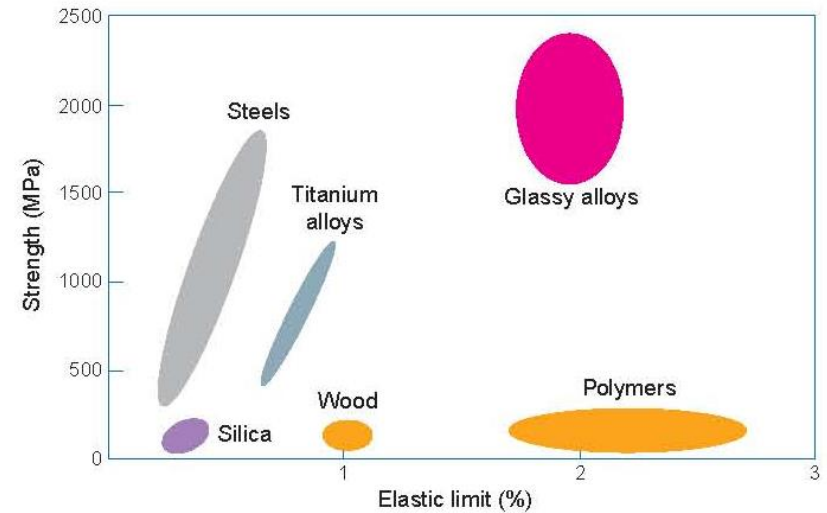
- Sportovní vybavení – golf, baseball, tenis, lyže, snowboardy ...  
99 % energie přeneseno na míček



Telford, Mark. (2004). The case for bulk metallic glass. *Materials Today*. 7. 36-43. 10.1016/S1369-7021(04)00124-5.

- Obalová technika, povrchy - luxusní hodinky, lehké obaly elektroniky (mobily, notebooky)
- Medicína – oční skalpely, implantáty, pouzdra kardiostimulátorů
- Vojenství – projektily, bomby, letadla, ponorky

Metallic Glass Consulting, LLC, ---  
(online). (cit. 1.5.2024) Dostupné  
z: <https://metallicglassconsulting.com/>  
<https://i0.wp.com/metallicglassconsulting.com/wp-content/uploads/2015/04/FrontPagePicture.jpg?w=1500&ssl=1>



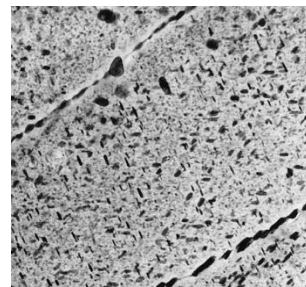
Telford, Mark. (2004). The case for bulk metallic glass. *Materials Today*. 7. 36-43. 10.1016/S1369-7021(04)00124-5.



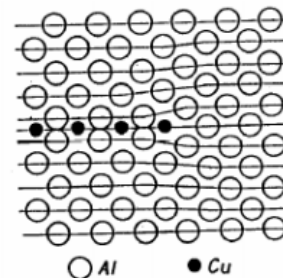
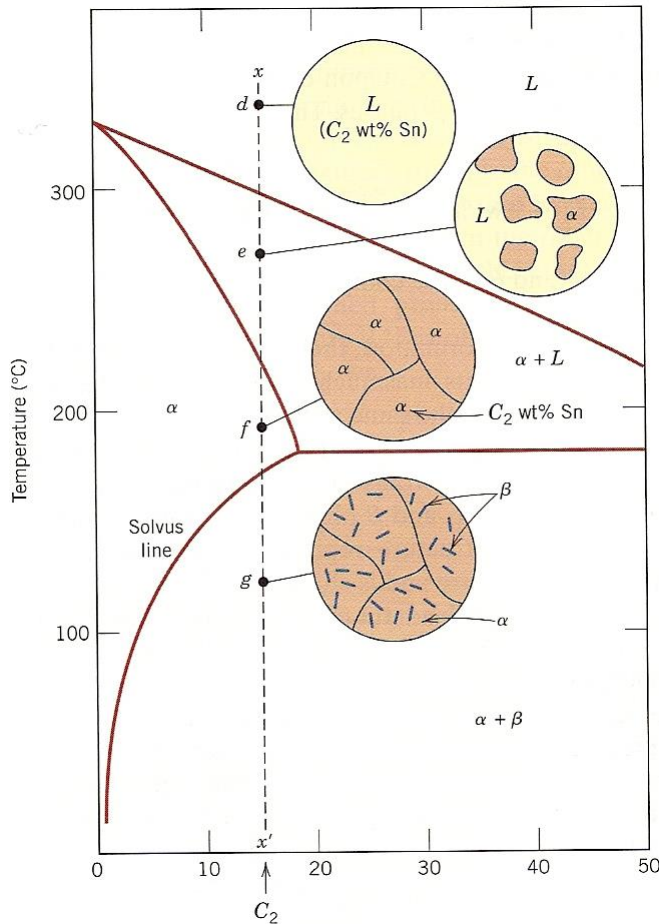
# Precipitační vytvrzování

## Al-Cu

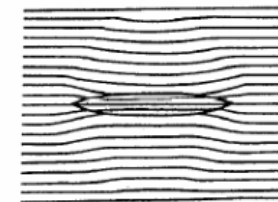
sled fázových přeměn, které vedou k homogenní dispersi nanometrických koherentních či semikoherentních precipitátů v měkké a houževnaté matici



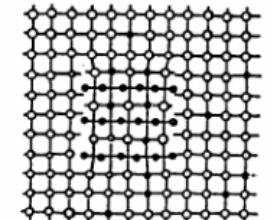
Precipitates in an Al-Alloy  
 William D. Callister, Jr.: *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc. p. 405 figure 11.26



**GPI** koherentní



**GPII** semikoherentní  $\theta'$  semikoher.



# Precipitační vytvrzování

## Al (fcc) matrice + $\text{Al}_2\text{Cu}$ = dural

- základní odlitek hrubozrnné Al +  $\text{CuAl}_2$
- slitinu ohřejeme, rychle ochladíme v  $\text{H}_2\text{O}$
- a znovu ohřejeme na nižší teplotu
  - velmi jemné částice intermetalické fáze
  - **velmi tvrdé + lehké**

## Aplikace

- Rámy letadel
- Rámy motorových člunů a automobilů
- Jízdní kola
- Lehké zbraně
- Chirurgické a ortopedické nástroje
- Výroba komponentů měřicích přístrojů



Besco Medical, Duralumin Crutch. (online). (cit. 1.5.2024). Dostupné z: <https://www.bescomedical.com/512-Duralumin-Crutches.html>  
<https://www.bescomedical.com/data/attachment/202011/20/d85d8b9606ccb-d94f6f58400acbbcbca.jpg>

<https://youtu.be/EeXabVKaIWg>



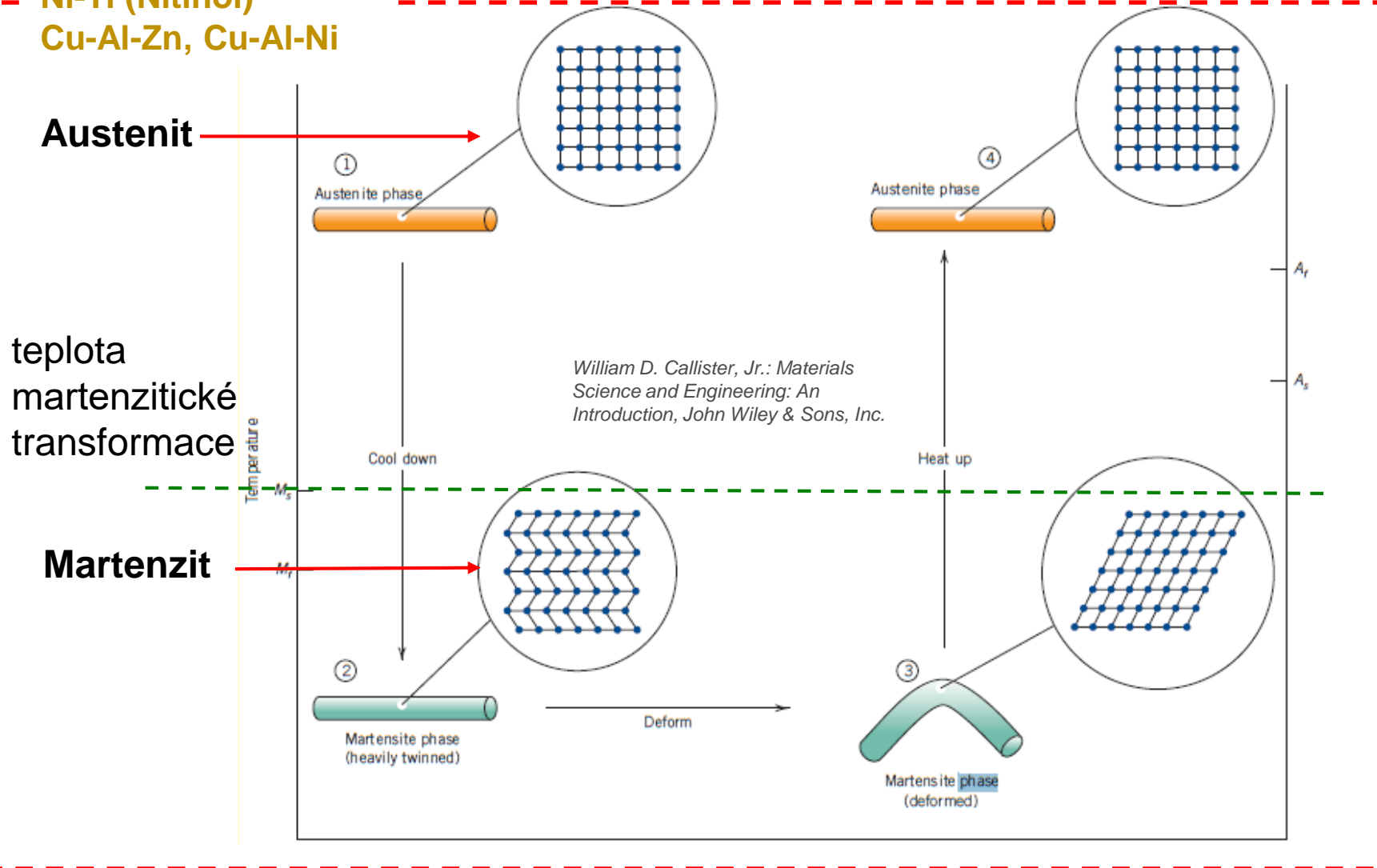
Pre98 Antiques, Duralumin sauer behorden pistol (online). (cit. 1.5.2024) Dostupné z <https://pre98.com/shop/wed-12-11-extremely-rare-important-duralumin-sauer-behorden-pistol-with-black-anodized-finish-1-of-3-known/> <https://pre98.com/wp-content/uploads/2019/12/sauerDural-1.jpg>



Bernd K, Ju-Air Junkers Ju 52/3m HB/HOS in flight over Austria. (online). (cit. 1.5.2024). Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Ju-Air\\_Junkers\\_Ju-52\\_in\\_flight\\_over\\_Austria.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Ju-Air_Junkers_Ju-52_in_flight_over_Austria.jpg) [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

# Materiály s tvarovou pamětí

Ni-Ti (Nitinol)  
Cu-Al-Zn, Cu-Al-Ni



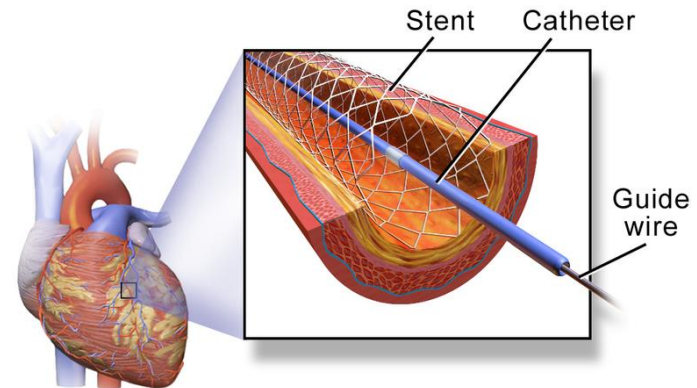
# Materiály s tvarovou pamětí

## Aplikace

vynikající konstrukční vlastnosti  
- **spojky potrubí** - spojování špatně svařitelných materiálů nebo na nepřístupných místech – například v křídlech letadel.

- **otevírače a zavírače žaluzií klimatizátoru, směšovací vodní baterie, pojistné ventily**  
- SMA prvek detekuje teplotu a zároveň na ni reaguje akcí

- **katetry, stenty, chirurgické nástroje, rovnátka**



Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014".  
WikiJournal of Medicine 1 (2). DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436



A. Nespoli, S. Besseghini, S. Pittaccio, E. Villa, S. Viscuso, The high potential of shape memory alloys in developing miniature mechanical devices: A review on shape memory alloy mini-actuators, *Sensors and Actuators A: Physical*, 158 (1) (2010) 149-160, ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.12.020>.

**Děkuji za pozornost**

M U N I

S C I

**MASARYKOVA  
UNIVERZITA**