Kompozitní a magnetické materiály – technologie a aplikační potenciál

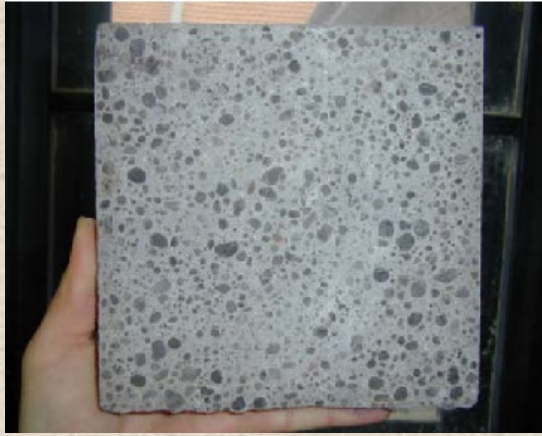
P. Svoboda

Katedra fyziky kondenzovaných látek

Kompozitní materiály:

- Aplikačně výhodná kombinace dvou či více materiálů
- pevnost
- pružnost
- teplotní roztažnost
- částicové a vláknové zpevnění

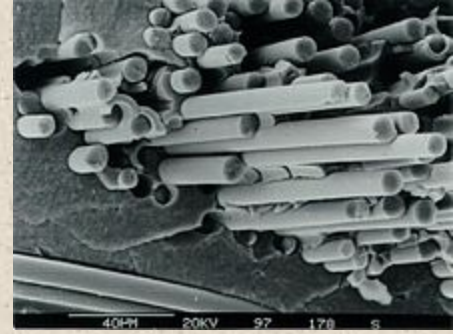
Kompozitní materiály:



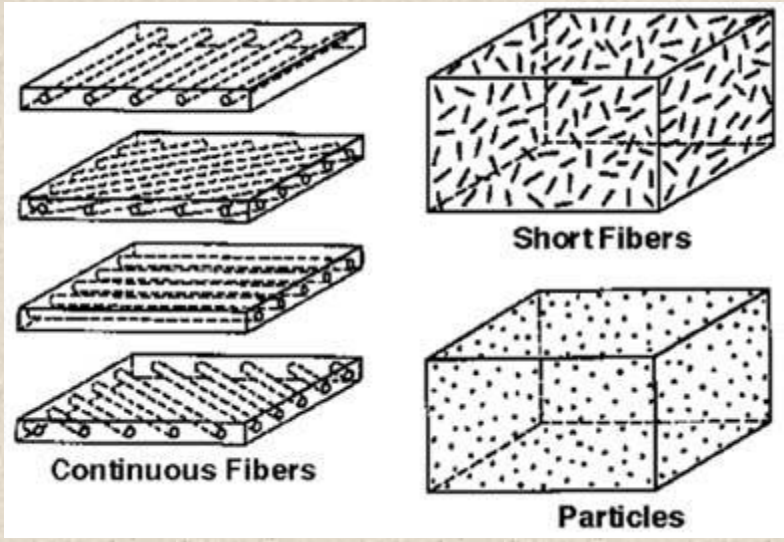
- Nejstarší kompozity:
  - cihly z bláta zpevněné slámou (cca 6000 let)
  - beton – starověký Řím
  - papír – starověká Čína

- Kombinace materiálů - změna vlastností:
  - mechanické
  - tepelné
  - elektrické
  - optické

CMC – ceramic matrix composite:

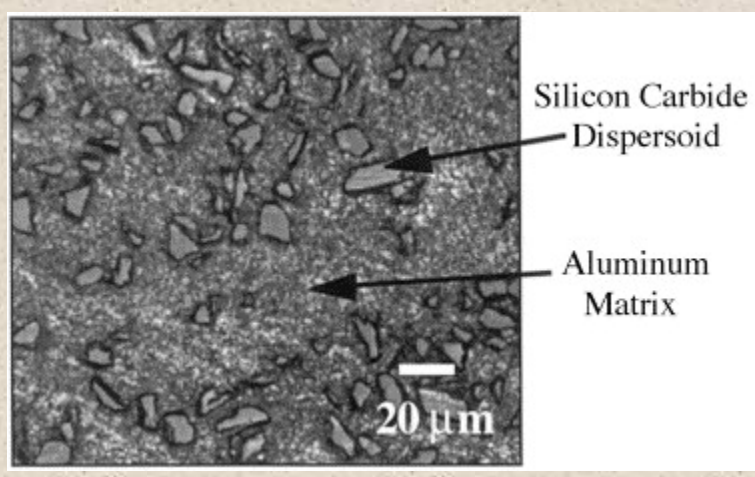


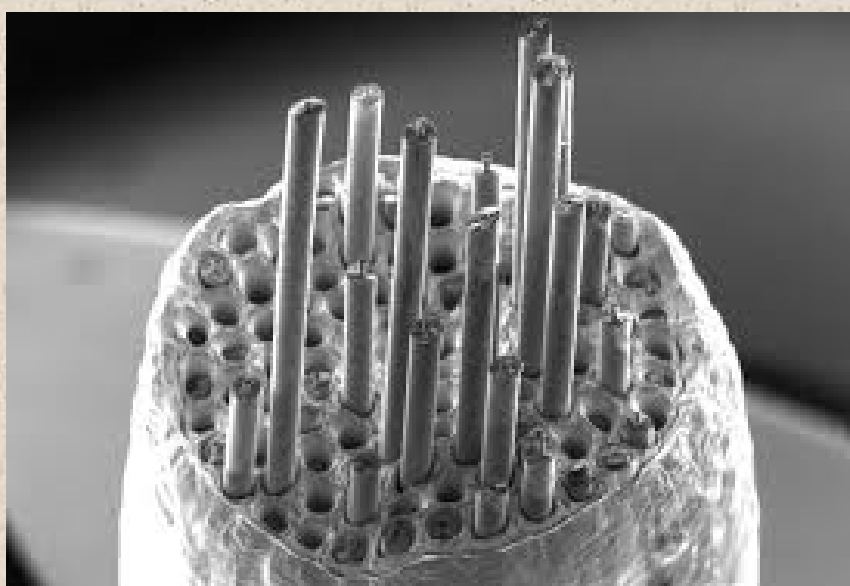
- Vláknové kompozity:
- Vysoká odolnost:
  - vůči lomu
  - tepelnému šoku
  - vůči deformacím
- Příprava
  - klad vláken
  - doplnění matice (výplně)
  - reakce (sintrování, pyrolýza, elektroforéza...)



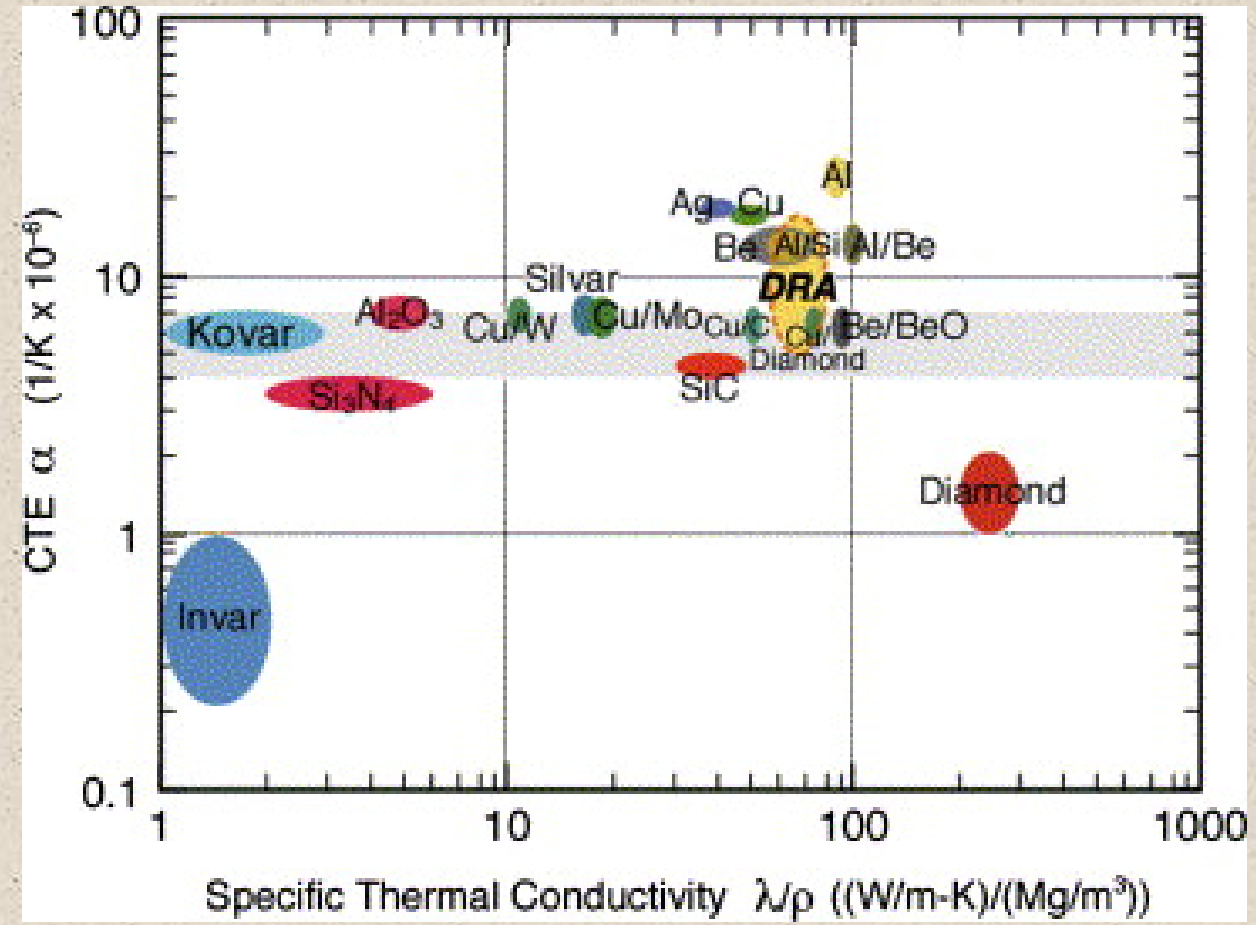
MMC – metal matrix composite:

- Vláknové a destičkové kompozity:
- Vysoká odolnost:
  - vůči deformaci – pancíře
  - vůči korozi
- Změna transportních vlastností
  - elektrická a tepelná vodivost
  - supravodivost



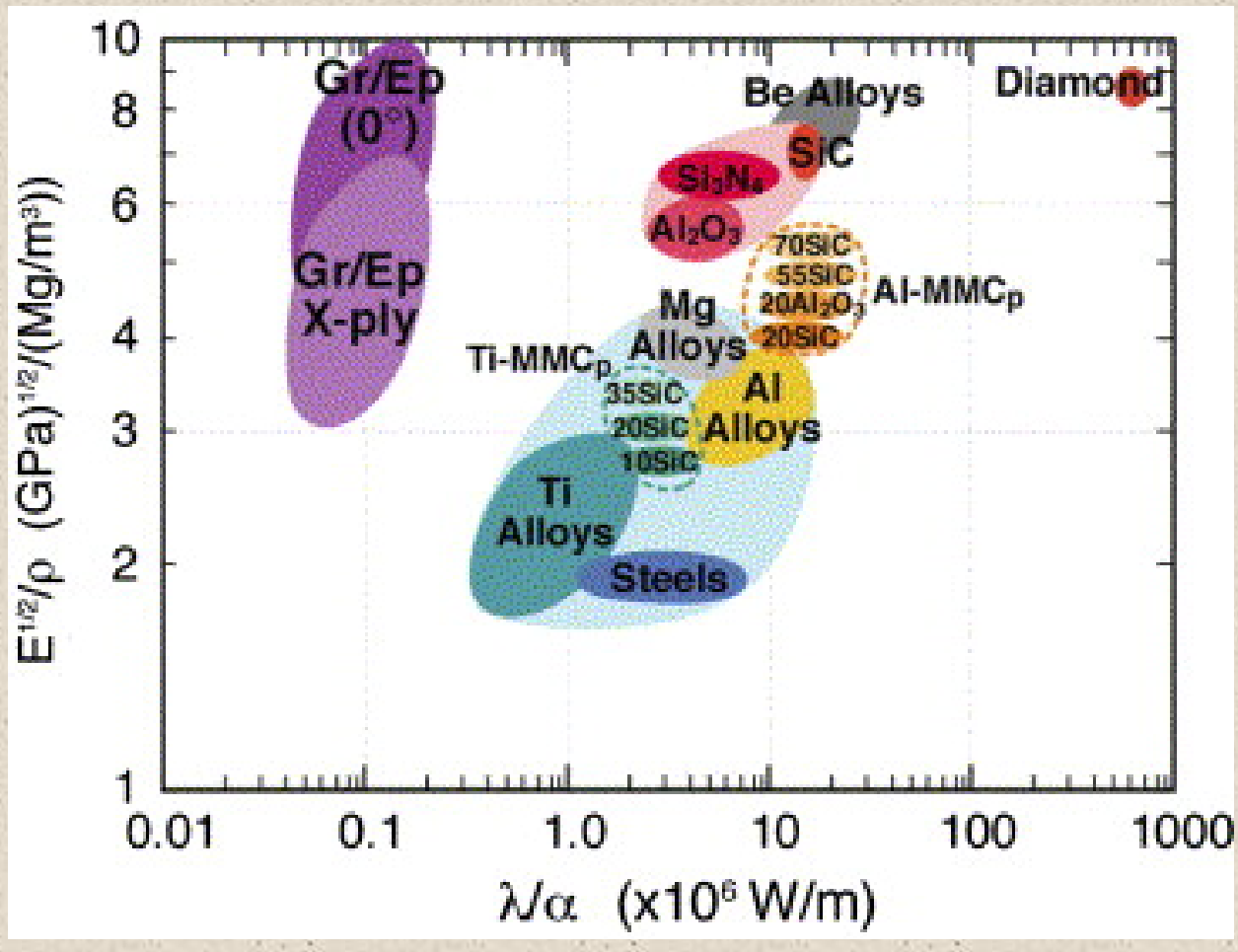


kompozity:



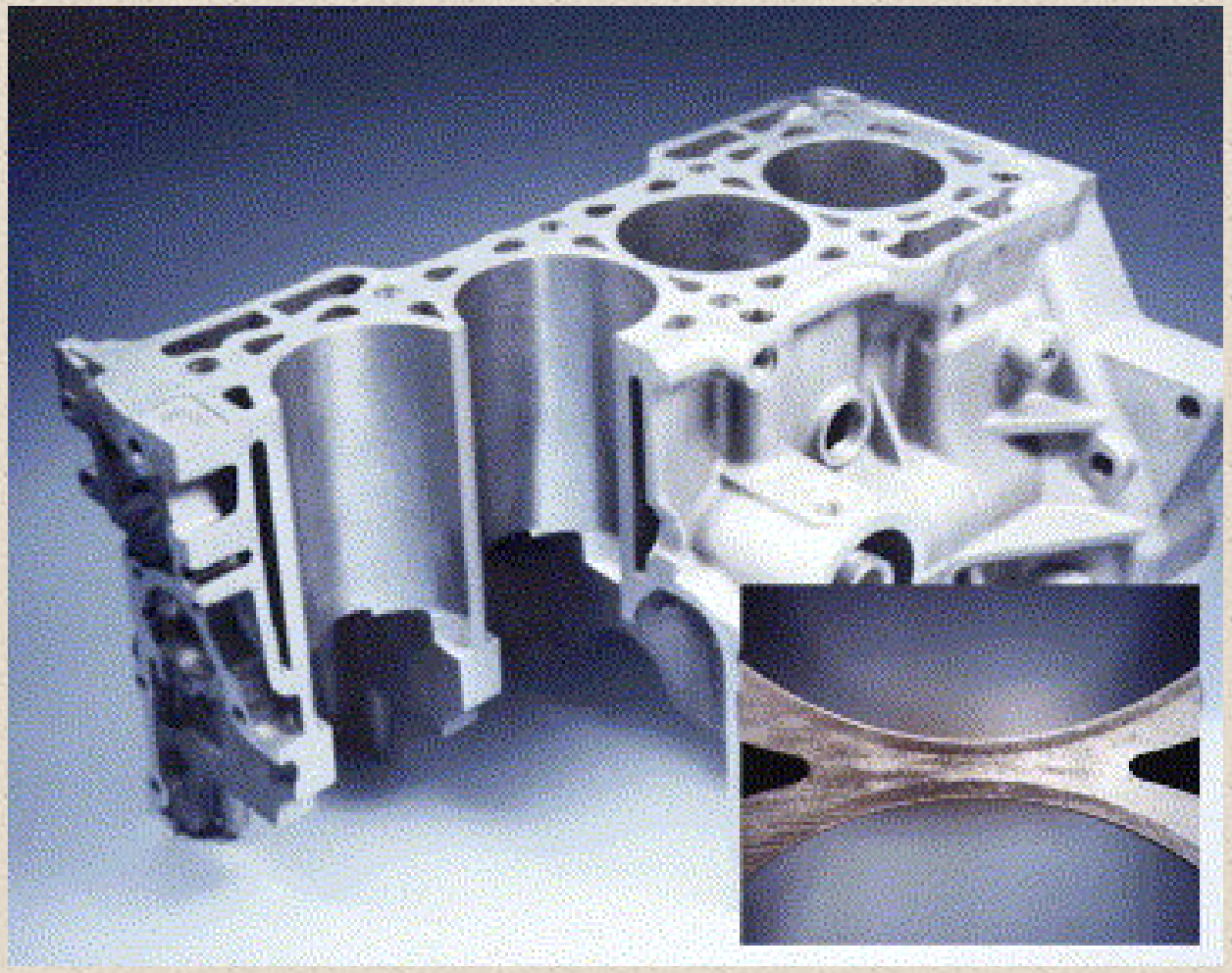
Porovnání materiálů pro tepelné namáhání. Vysoká hodnota λ/ρ – úzký pás α.

kompozity:



Porovnání materiálů pro přesné nástroje. Vysoká hodnota mechanické a tepelné odolnosti.

kompozity:



Odlitek bloku motoru Honda Prelude 2.0 l – odlitek Al se selektivním částicovým posílením povrchu.

kompozity:

Ukázka ultratvrdých a otěruvzdorných komponent z kompozitu Fe/TiC MMC.

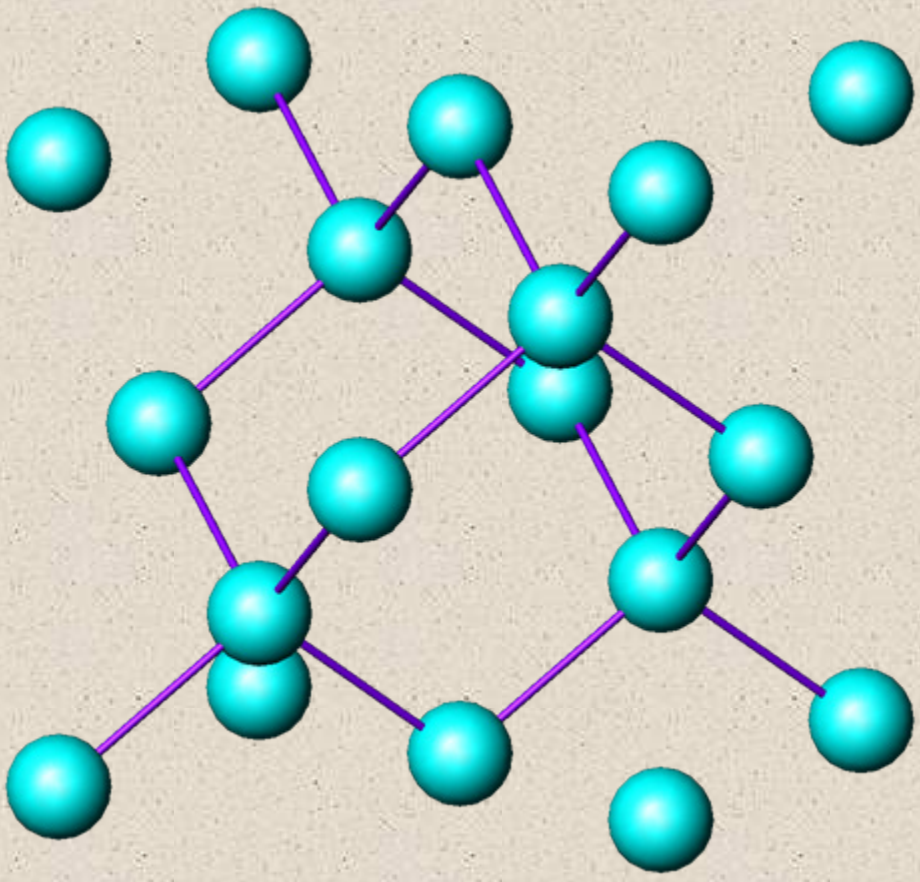
kompozity:

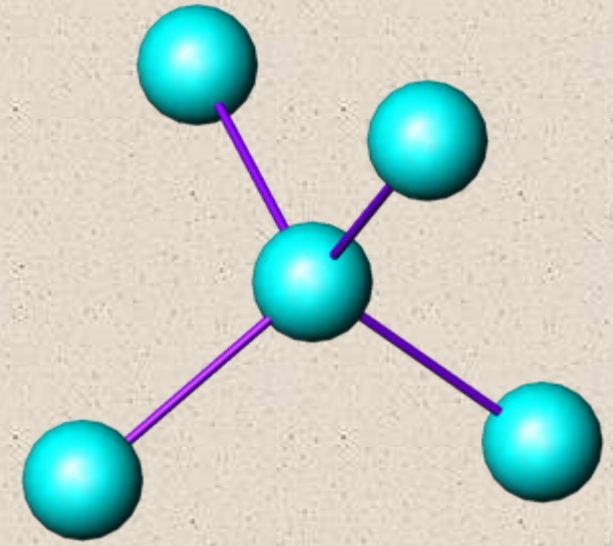
MMC kompozit pro vedení vysokého napětí – jádro tvoří Al/Al2O3 vláknový kompozit, vnější vodiče jsou Al dráty. Celý vodič je lehčí, pevnější a odolnější než ocelové vodiče.

kompozity:

Náhrada ploténky.

Obyčejný uhlík? Diamant!

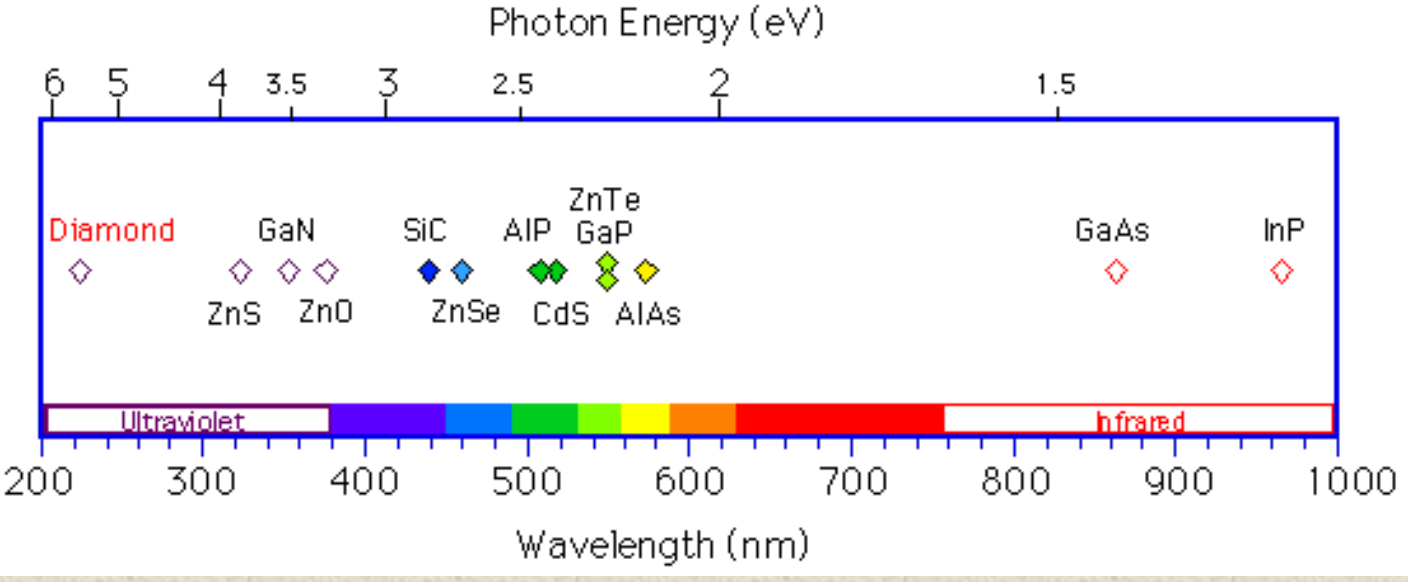




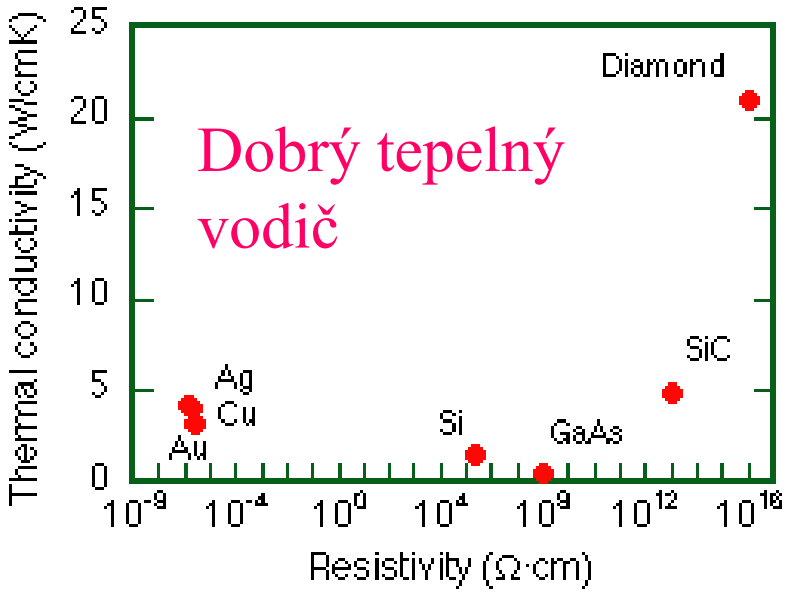
Diamant

- Největší výhoda – nejen extrémní fyzikálně chemické vlastnosti, ale jejich unikátní kombinace.
  - Silný elektrický izolant, ale vysoká tepelná vodivost v širokém teplotním oboru.
  - Chemicky odolný, otěruvzdorný
  - Biokompatibilní, obecně inertní, ale povrch může být uzpůsoben zachytávat enzymy
- Lze připravovat v tenkých vrstvách

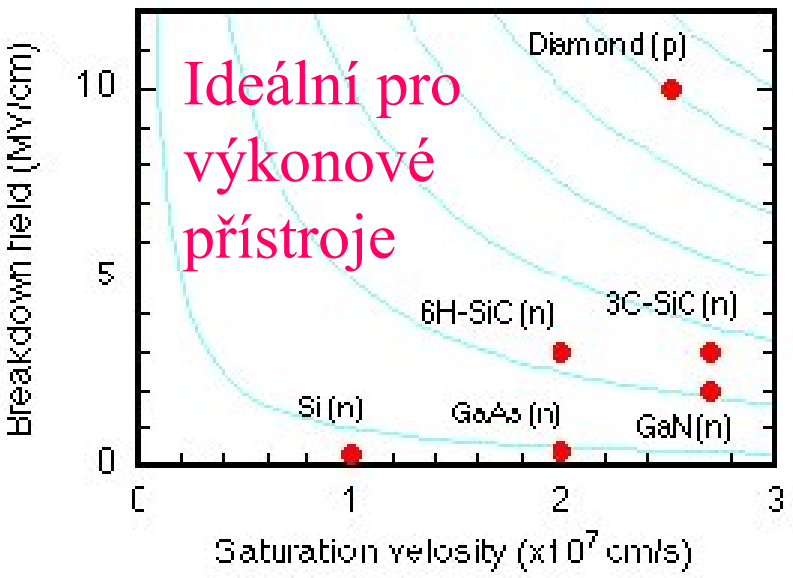
Diamant


Photon Energy (eV)
6
5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
Diamond
GaN
ZnS
ZnO
SiC
ZnSe
AlP
ZnTe
GaP
CdS
AlAs
GaAs
InP
Ultraviolet
Infrared
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Wavelength (nm)

Diamant



Dobrý tepelný vodič



Ideální pro výkonové přístroje

Diamant

- Opticky transparentní UV-IR: **Součástky laserů**
- Extrémně tvrdý: **nástroje, mechanické aplikace**
- Vysoká tepelná vodivost: **odvod tepla**
- Široký zakázaný pás, 5.45 eV, vysoká pohyblivost nositelů náboje: **Vysokofrekvenční přístroje, optoelektronika**
- Radiační odolnost: **detektory - UV**
- Bio-kompatibilita: **biosensory, membrány**

Diamant - příprava

1. Hot filament technique (W, Ta wire on 2000 C^{o})
2. Plasma/ acetylene torch
3. DC-discharge PACVD (100-200 Torr, Tp - 5000C^{o})

   [Plasma Asisted Chemical Vapour Deposition]
4. Laser decomposition
5. MW-PACVD

   [Microwave- Plasma Asisted Chemical Vapour Deposition]

Diamant

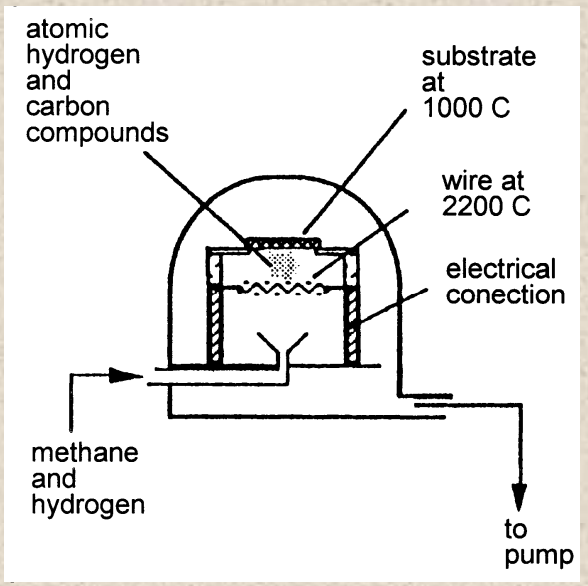
1. Hot filament technique

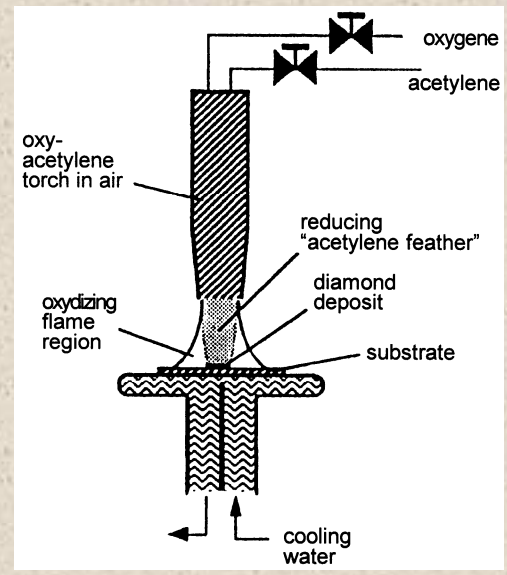
(W, Ta wire on 2000 C^{o})

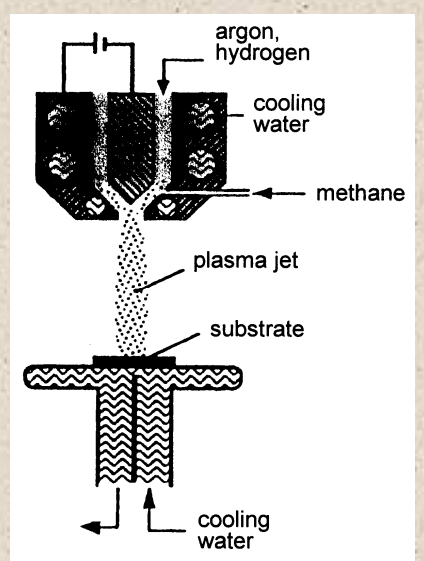
2. Plasma/ acetylene torch

3. DC-discharge PACVD

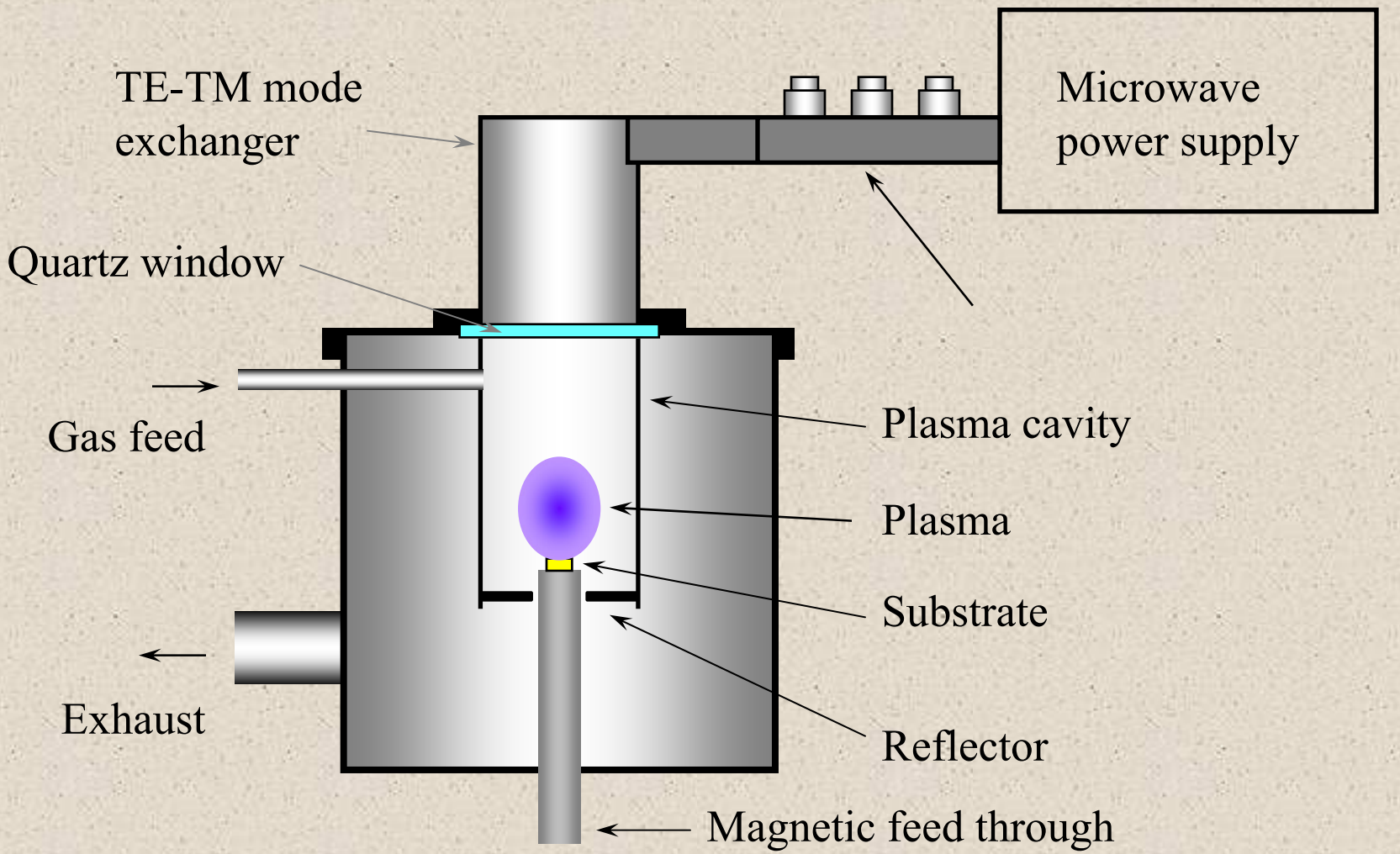
(100-200 Torr, Tp - 5000C$^{o)}$





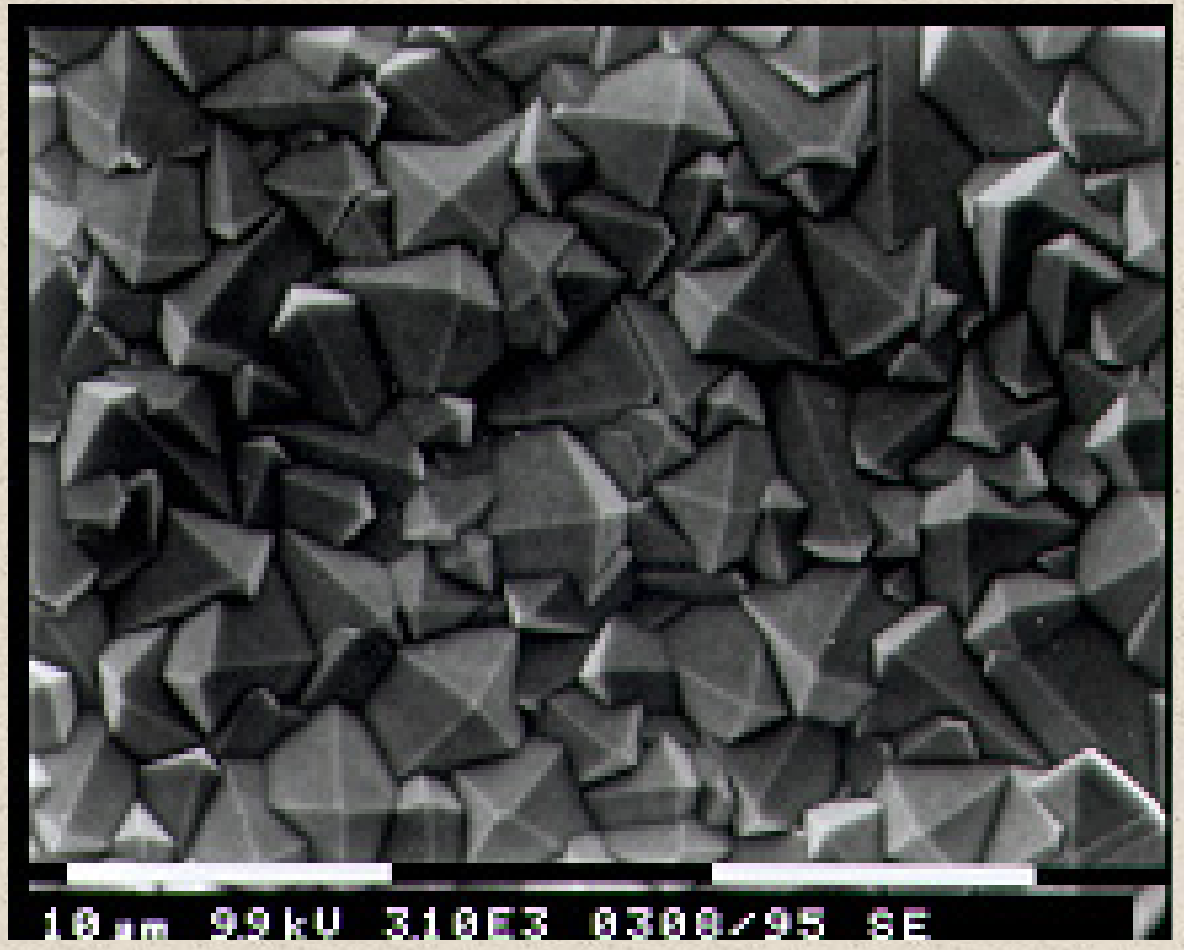


Diamant


TE-TM mode exchanger
Microwave power supply
Quartz window
Gas feed
Plasma cavity
Plasma
Substrate
Exhaust
Reflector
Magnetic feed through

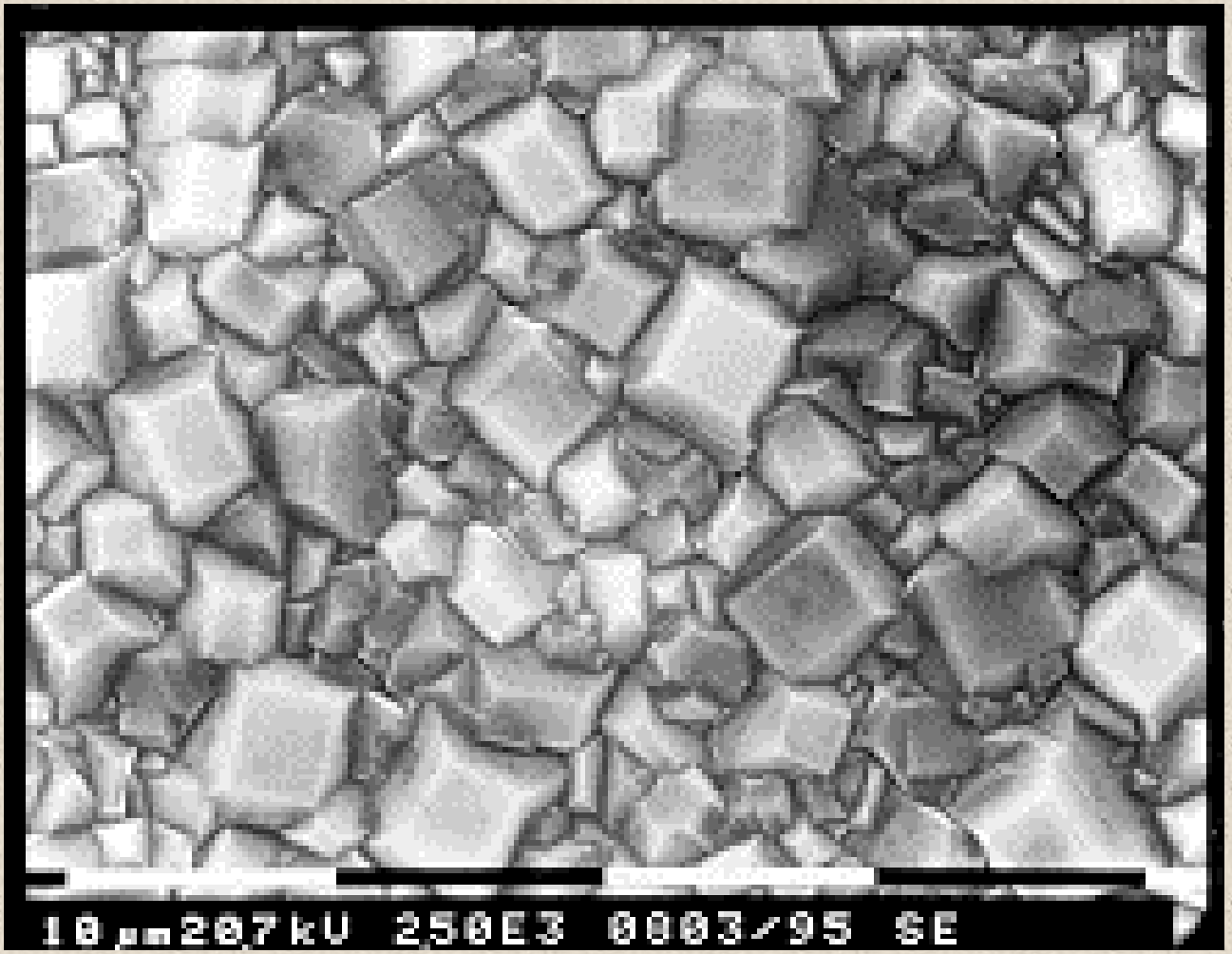
Diamant

- <111> film



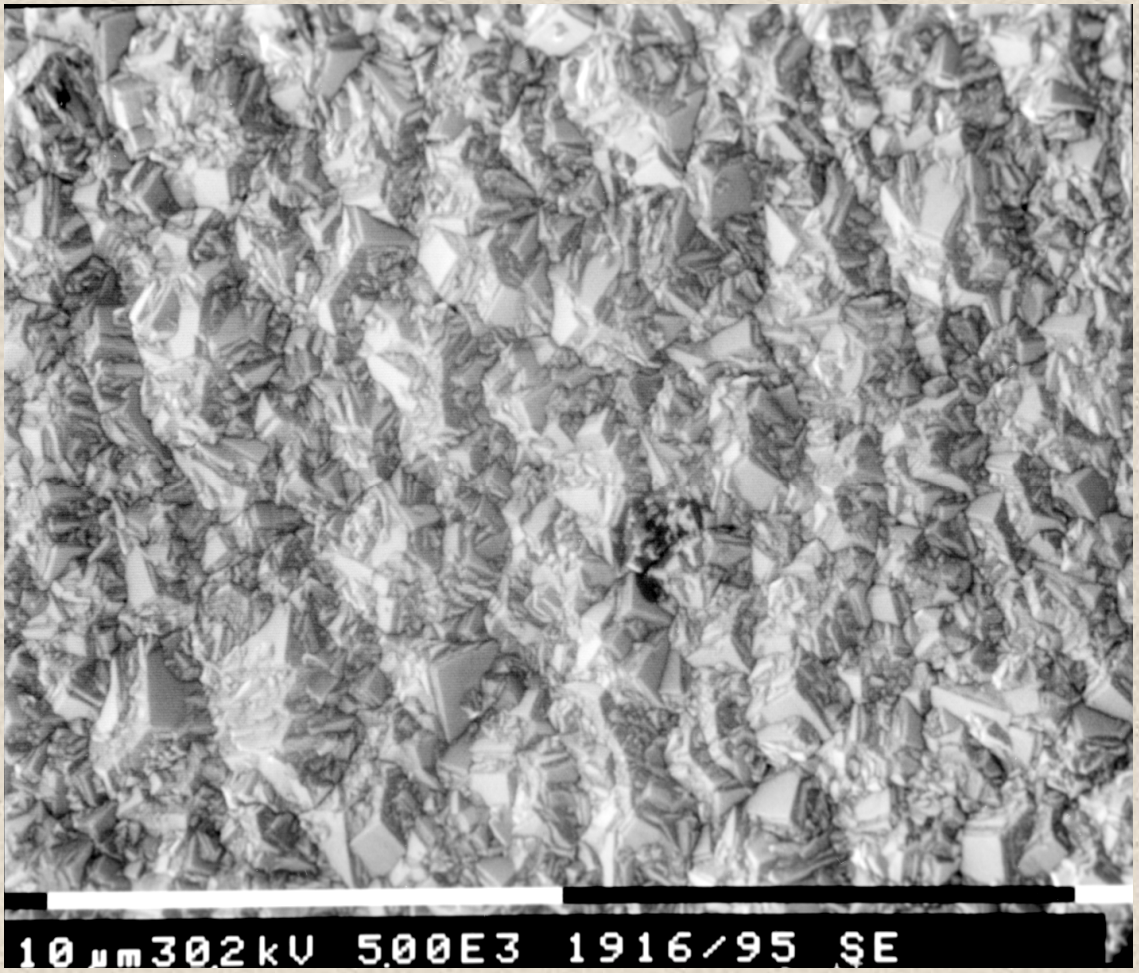
Diamant

- <100> film



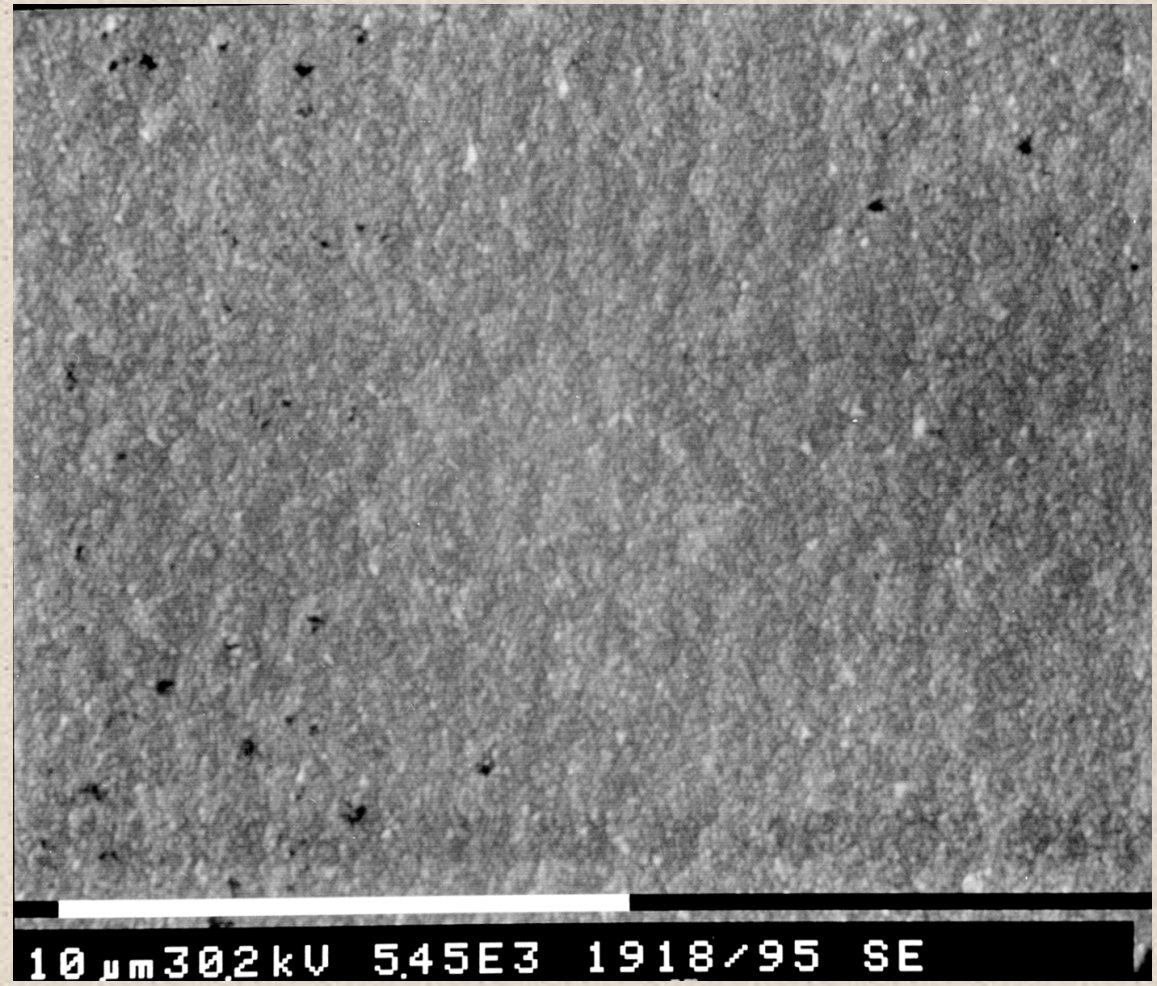
Diamant

- mikrokryst. film



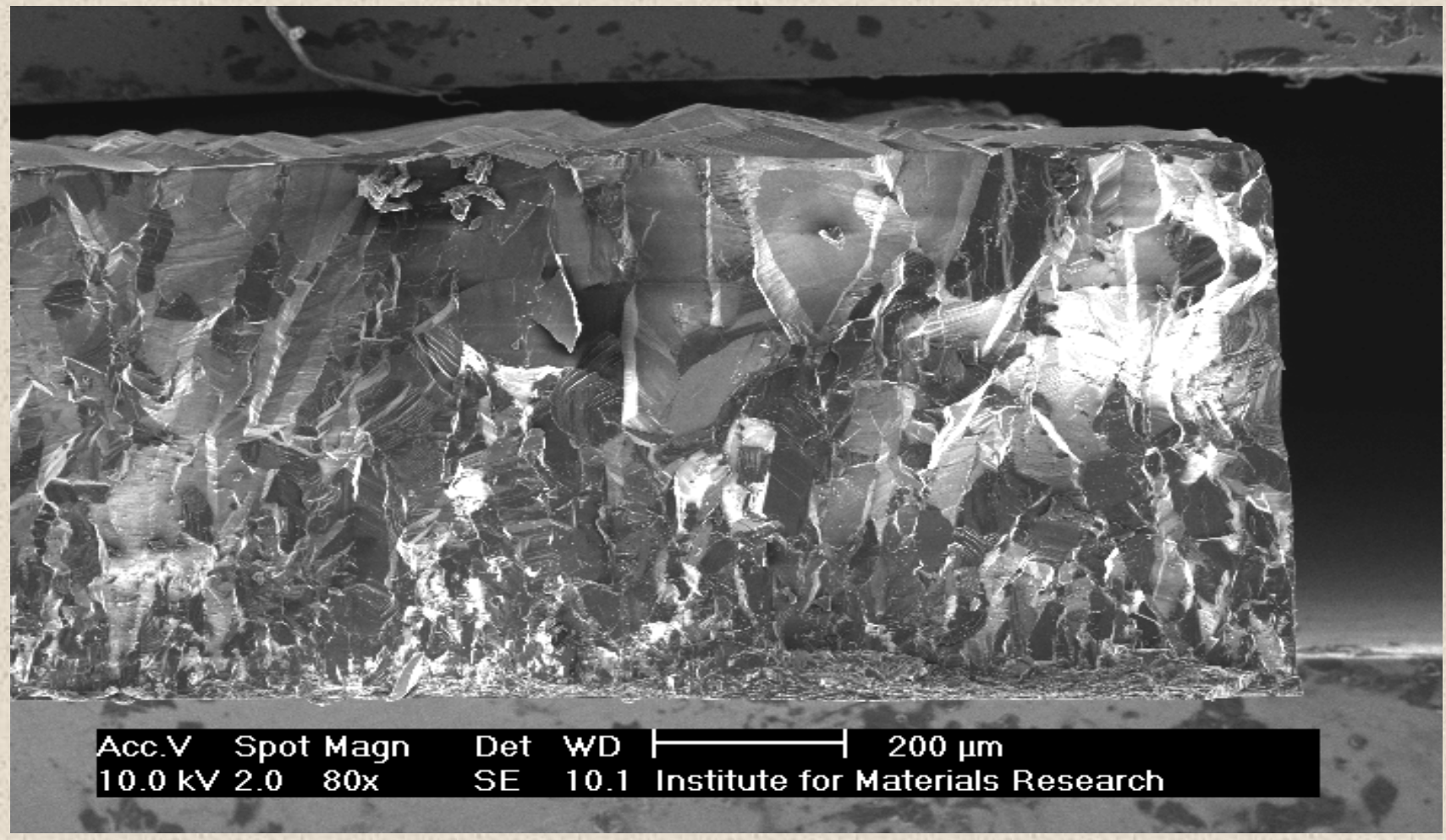
Diamant

- nanokryst. film



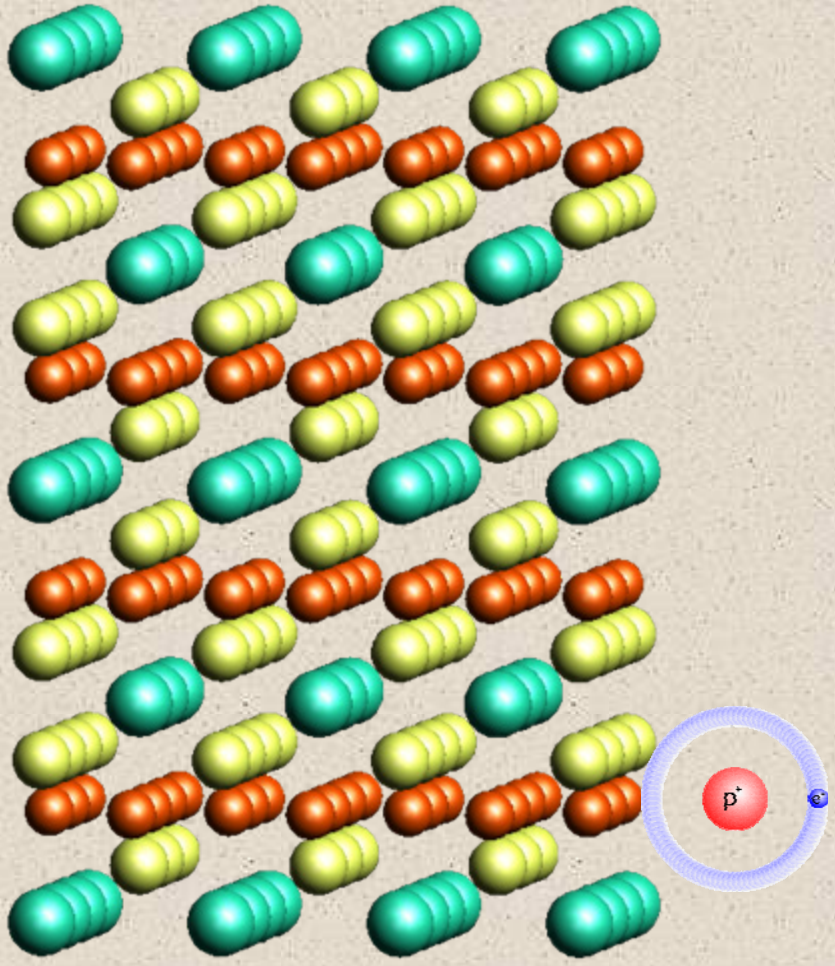
Diamant

- „optical quality“ film



➢Hydridy kovů a intermetalik – vodíková energetika

Tak takhle asi ne...



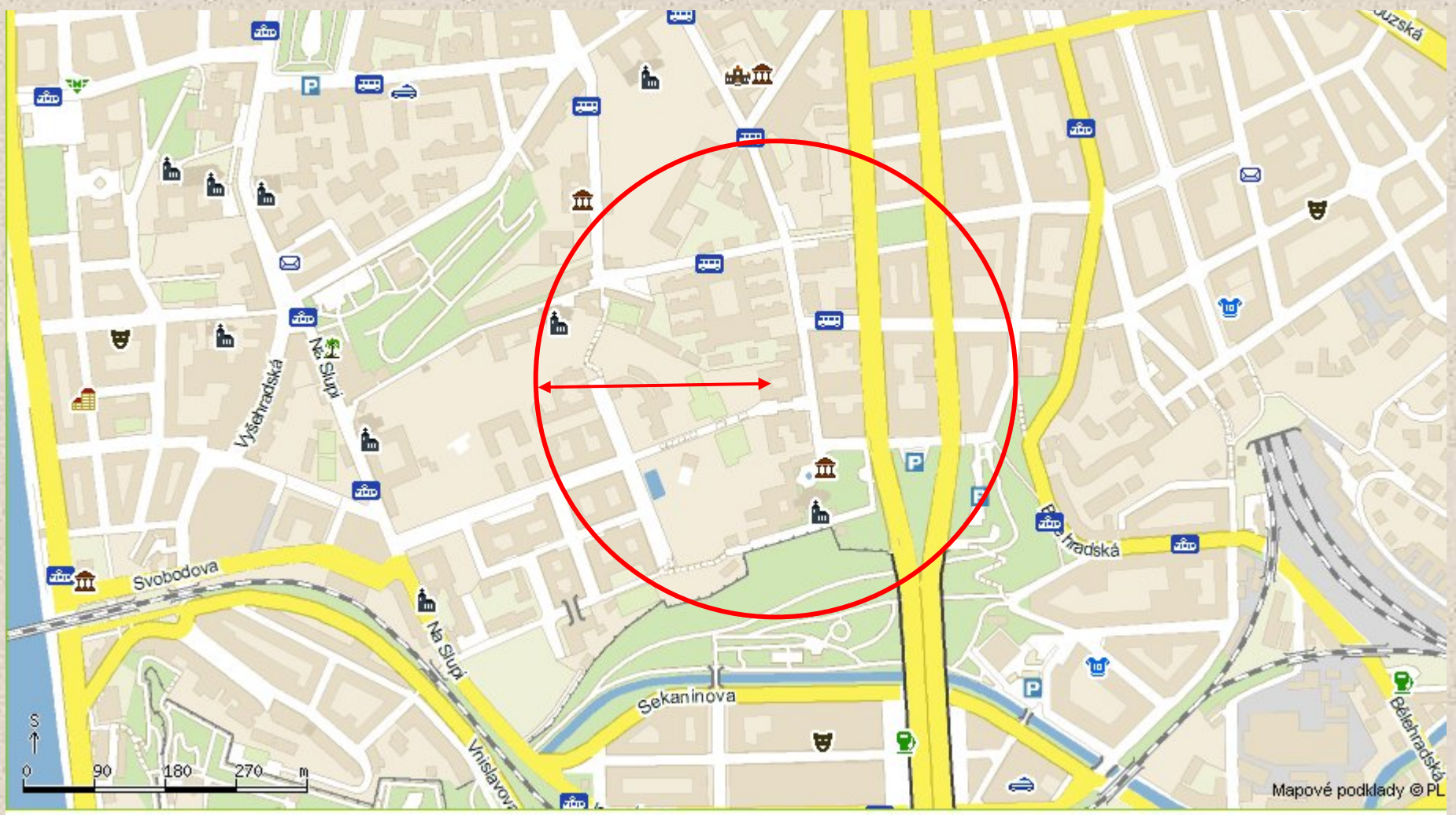
Materiál	at. H / cm^3 (x 10^{22})	hmotnostní % vodíku
H_2 plyn, 200 bar	0.99	100
kapalný H_2, 20 K	4.2	100
pevný H_2, 4.2 K	5.3	100
MgH_2	6.5	7.6
Mg_2NiH_4	5.9	3.6
$FeTiH_2$	6.0	1.89
$LaNi_5H_6$	5.5	1.37

Vodík = proton + elektron

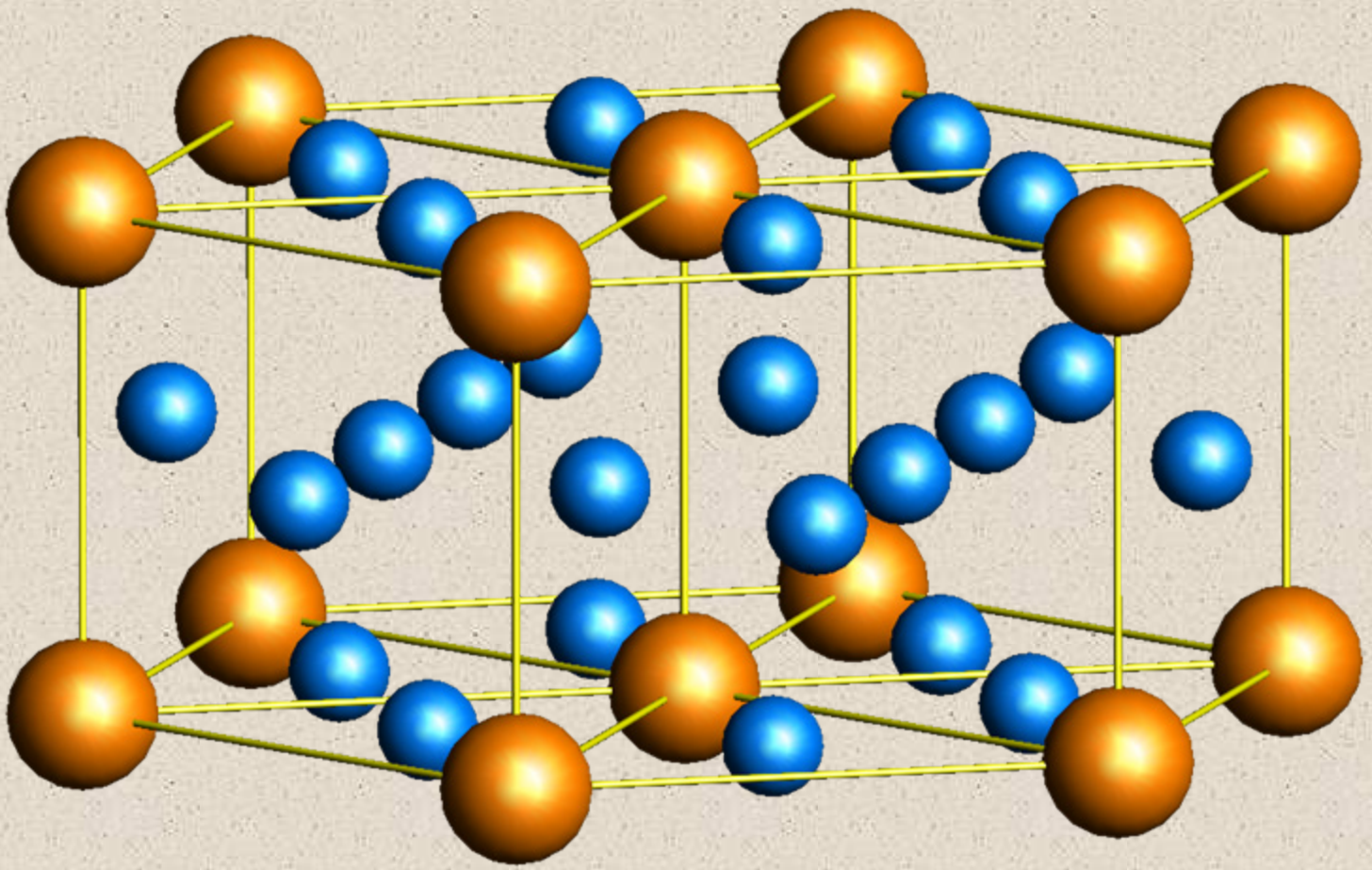
Vodík = proton + elektron

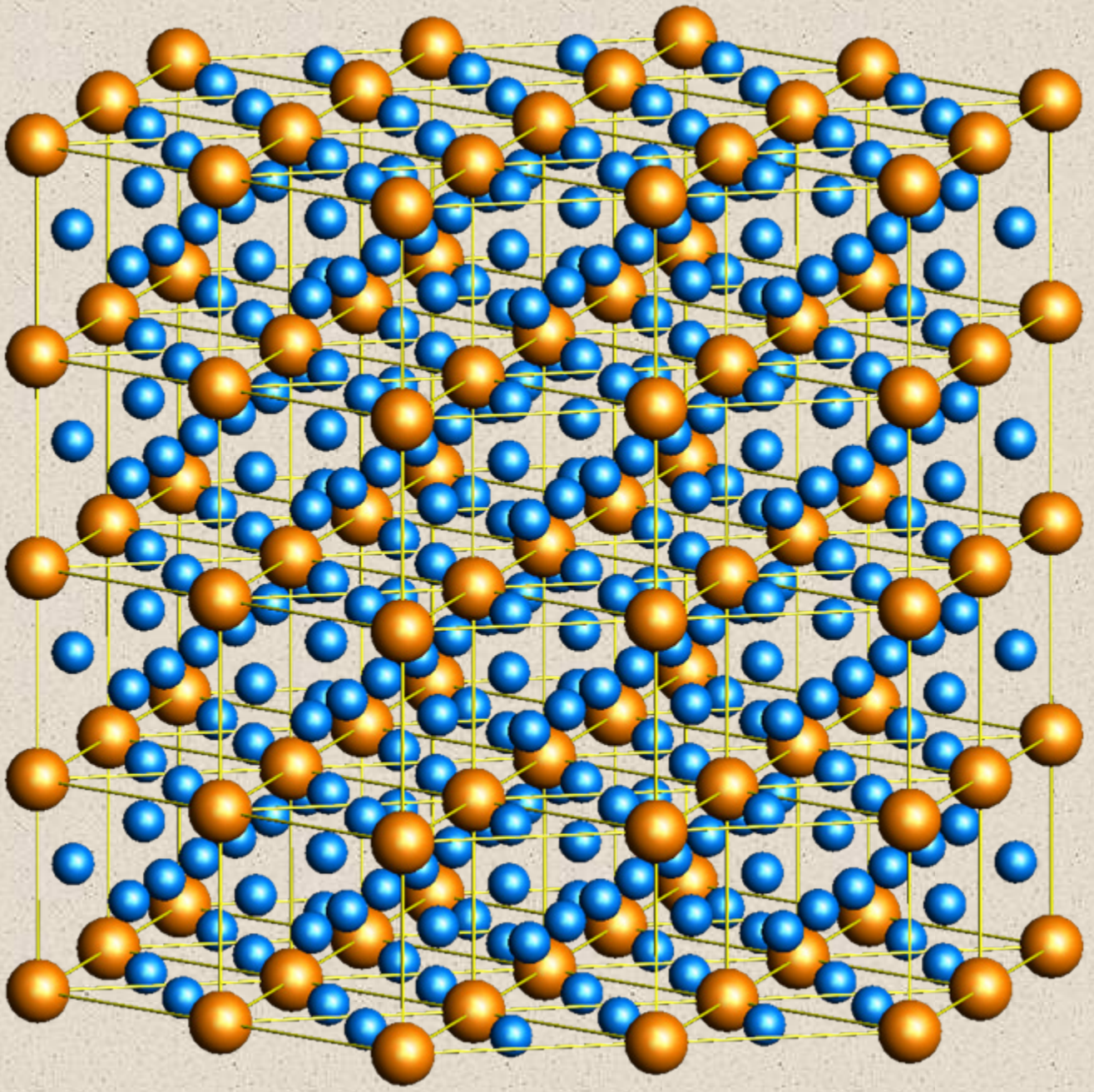
(+ spousta „prázdného“ místa)

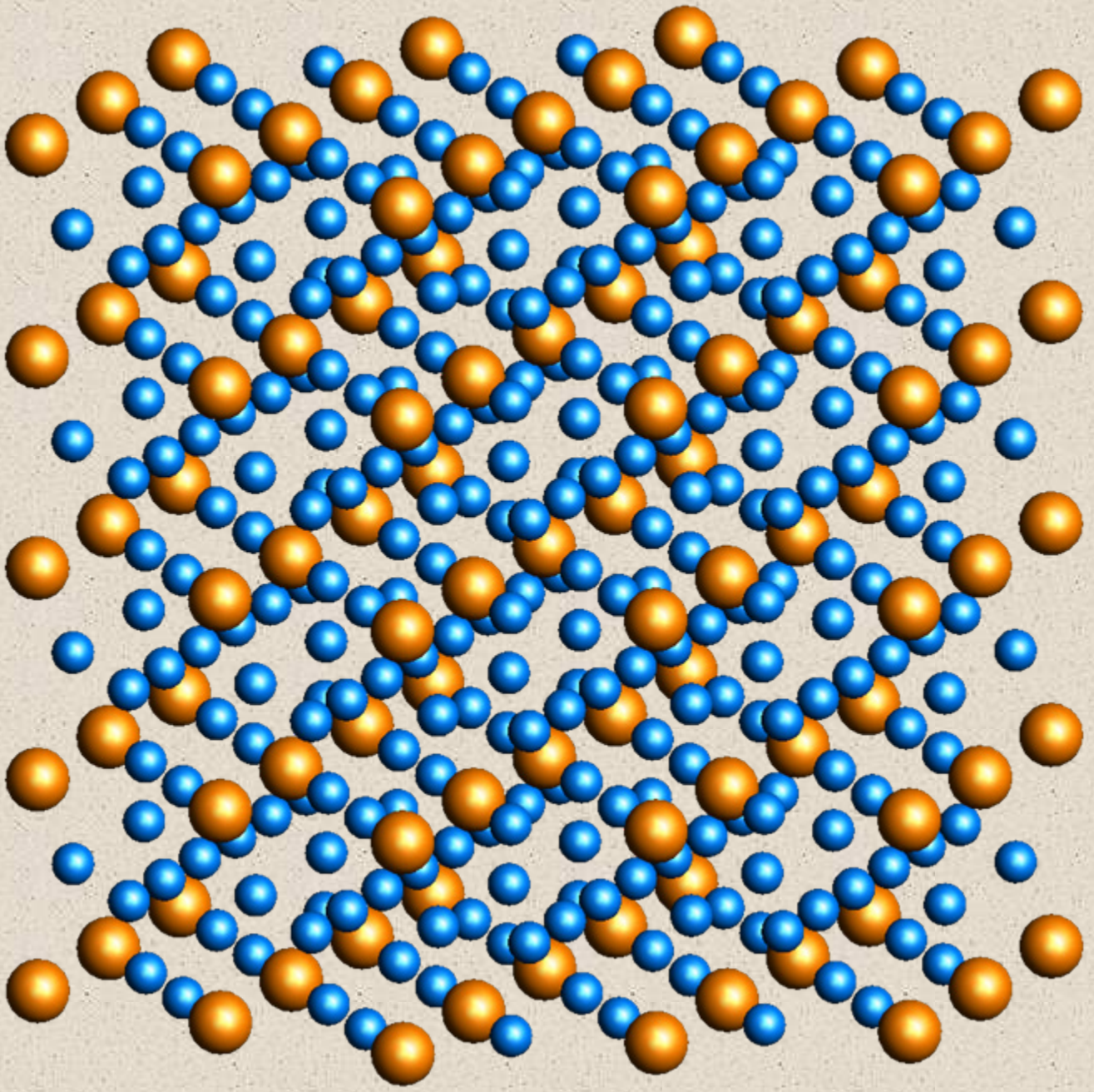
R(vodíku) / R(protonu) ~ 28 000

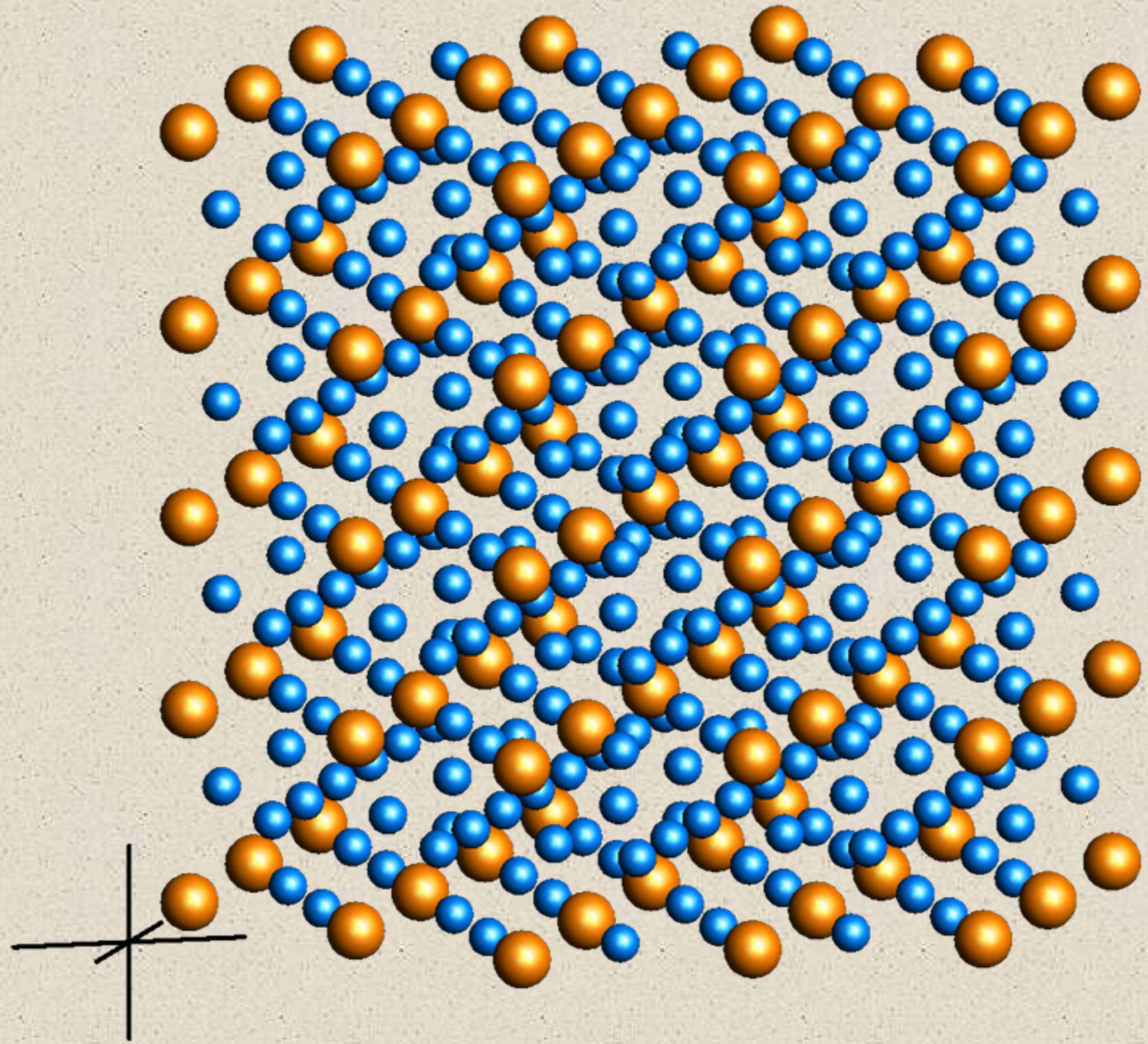

Svobodova
Na Slupi
Vyšehradská
Sekaninova
Vnislavova
Bělehradská
S
0
90
180
270
m
Mapové podklady © PL

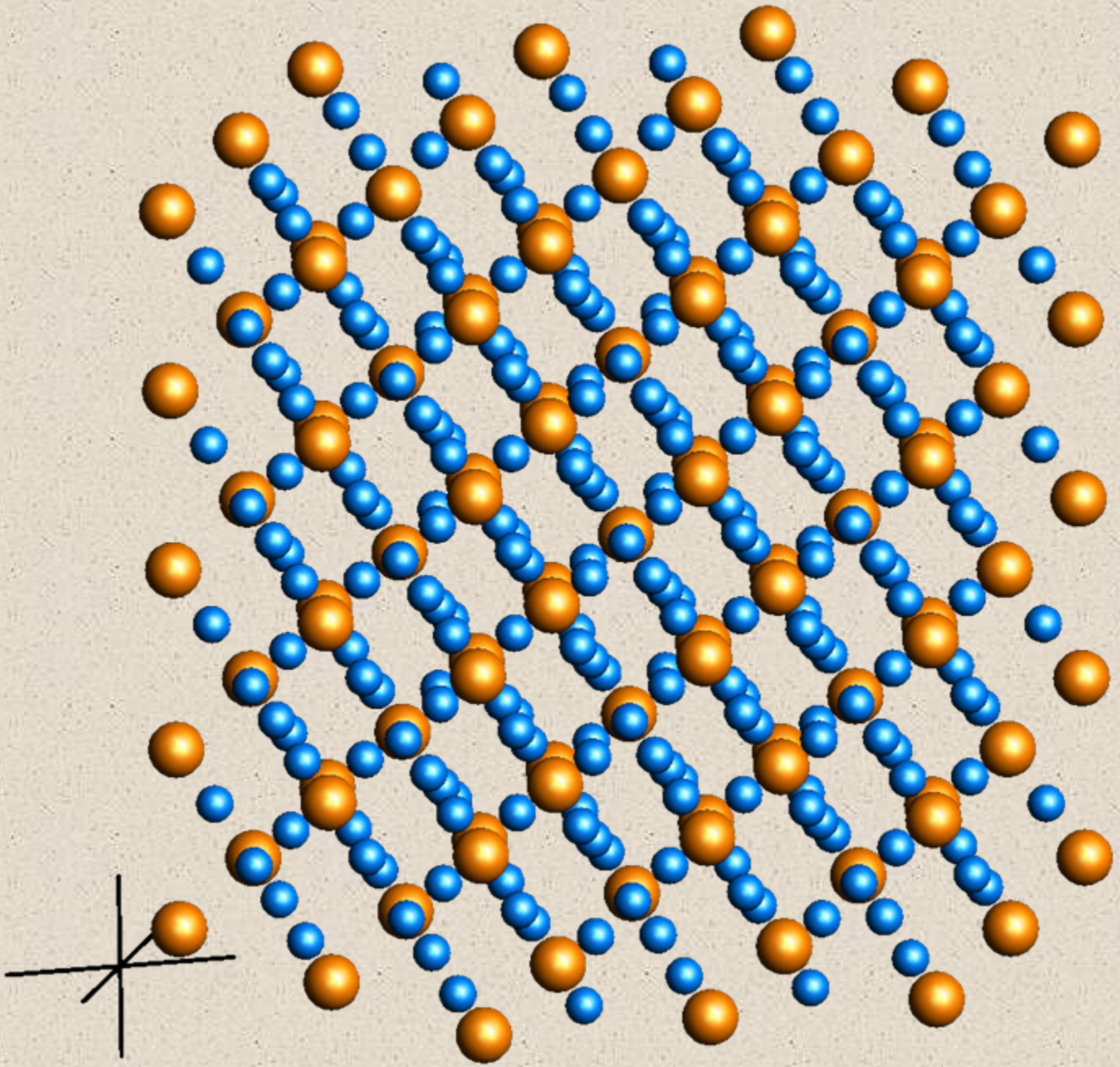
Jak to funguje:

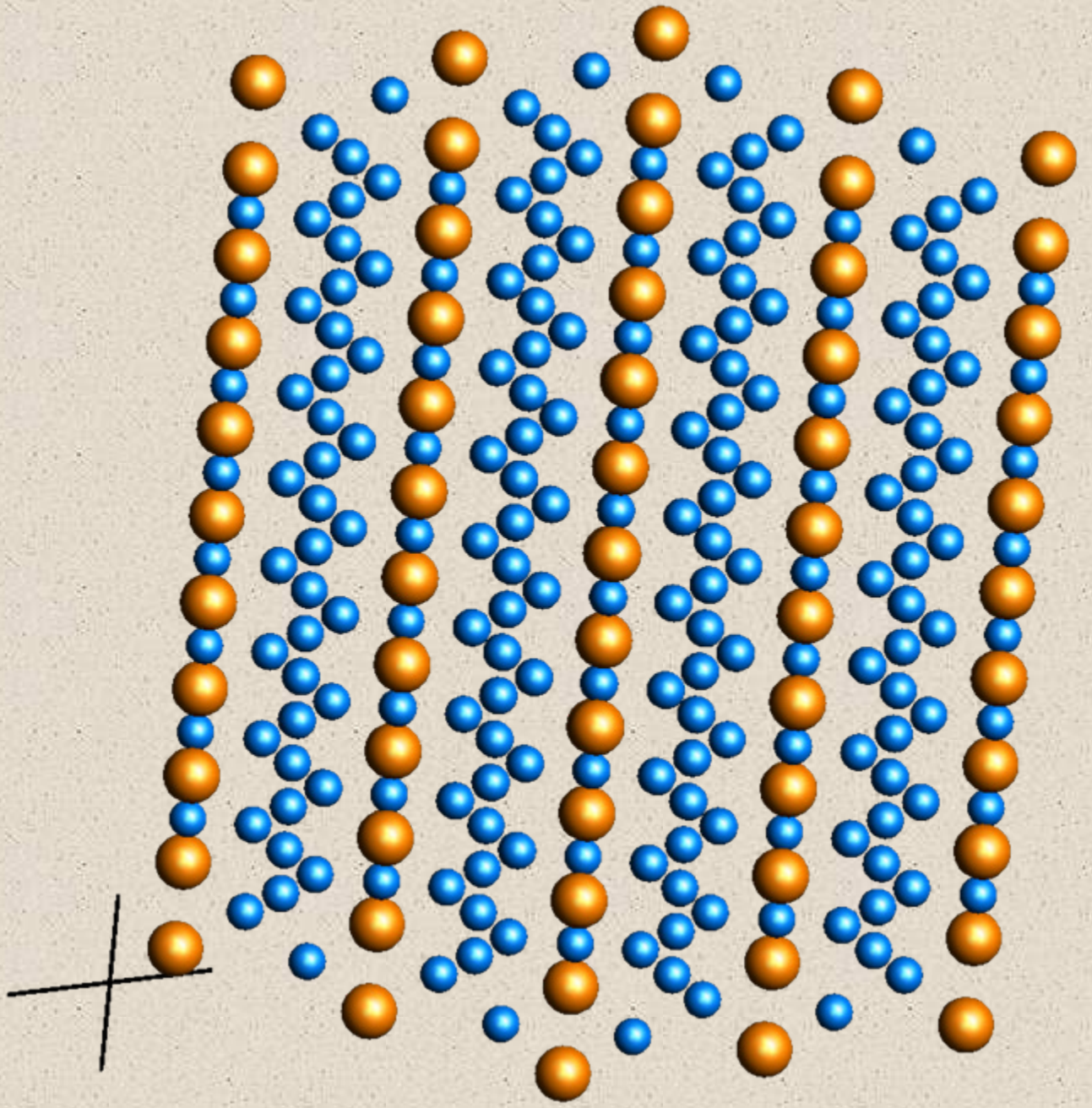


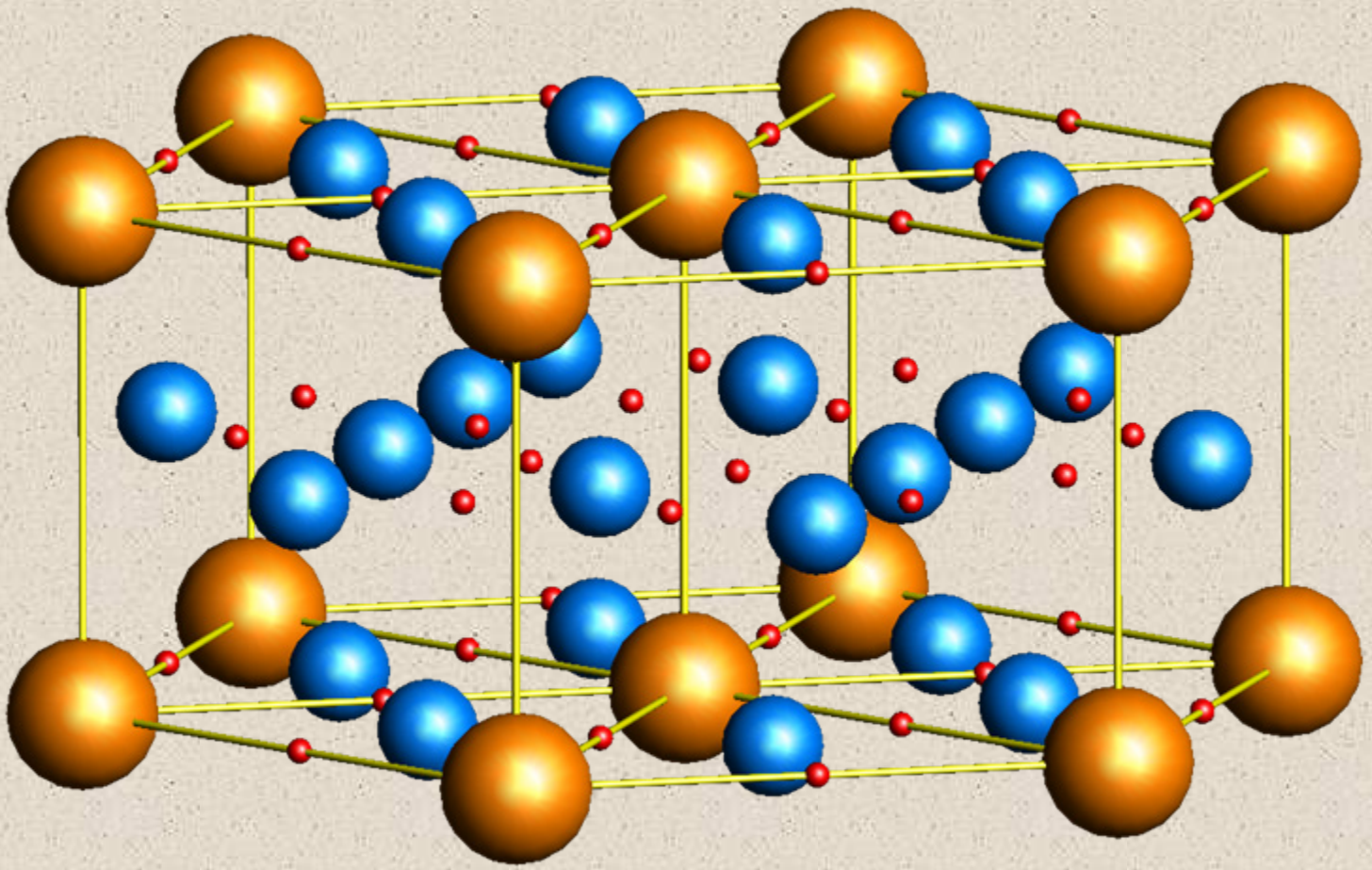


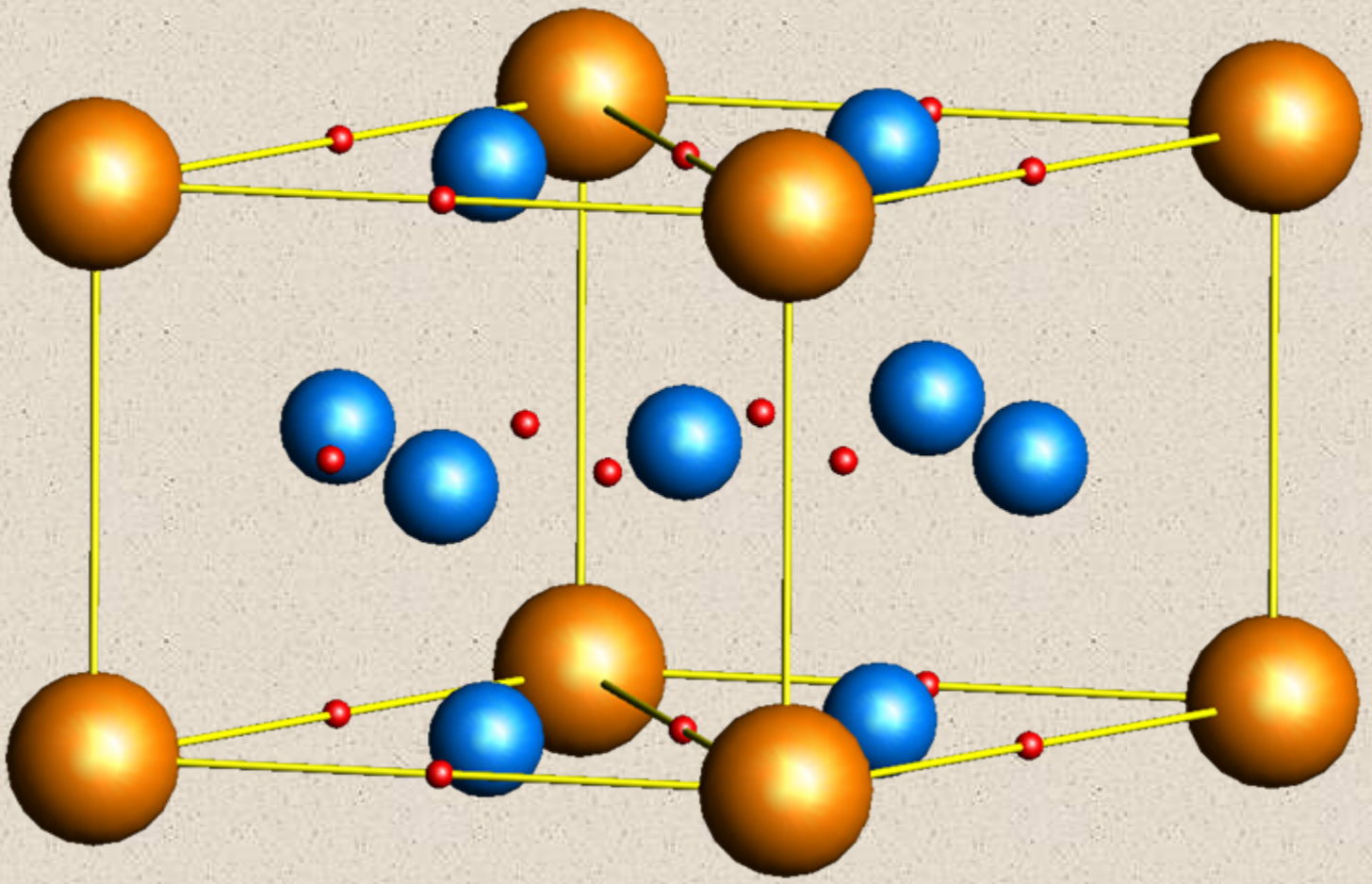


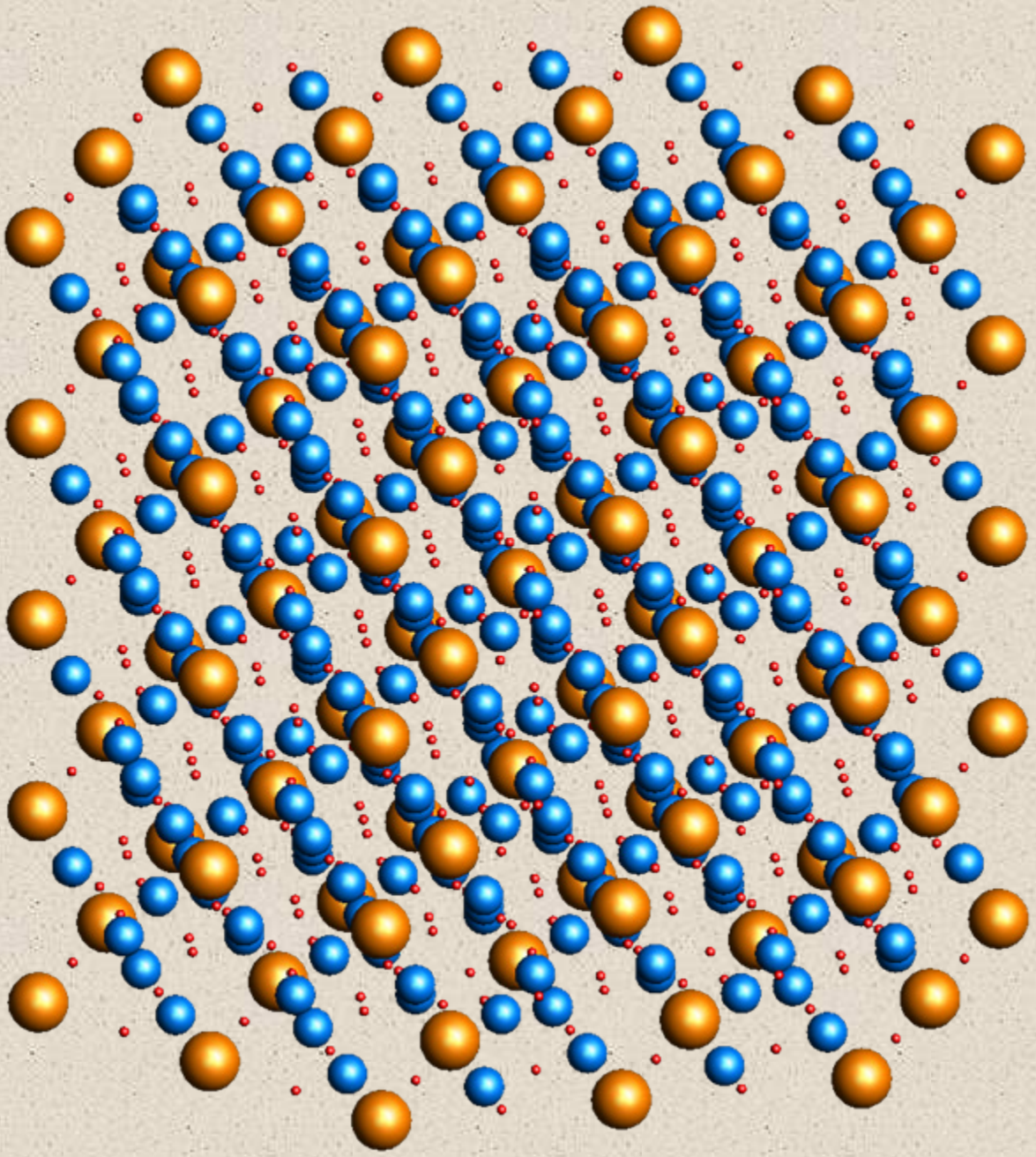


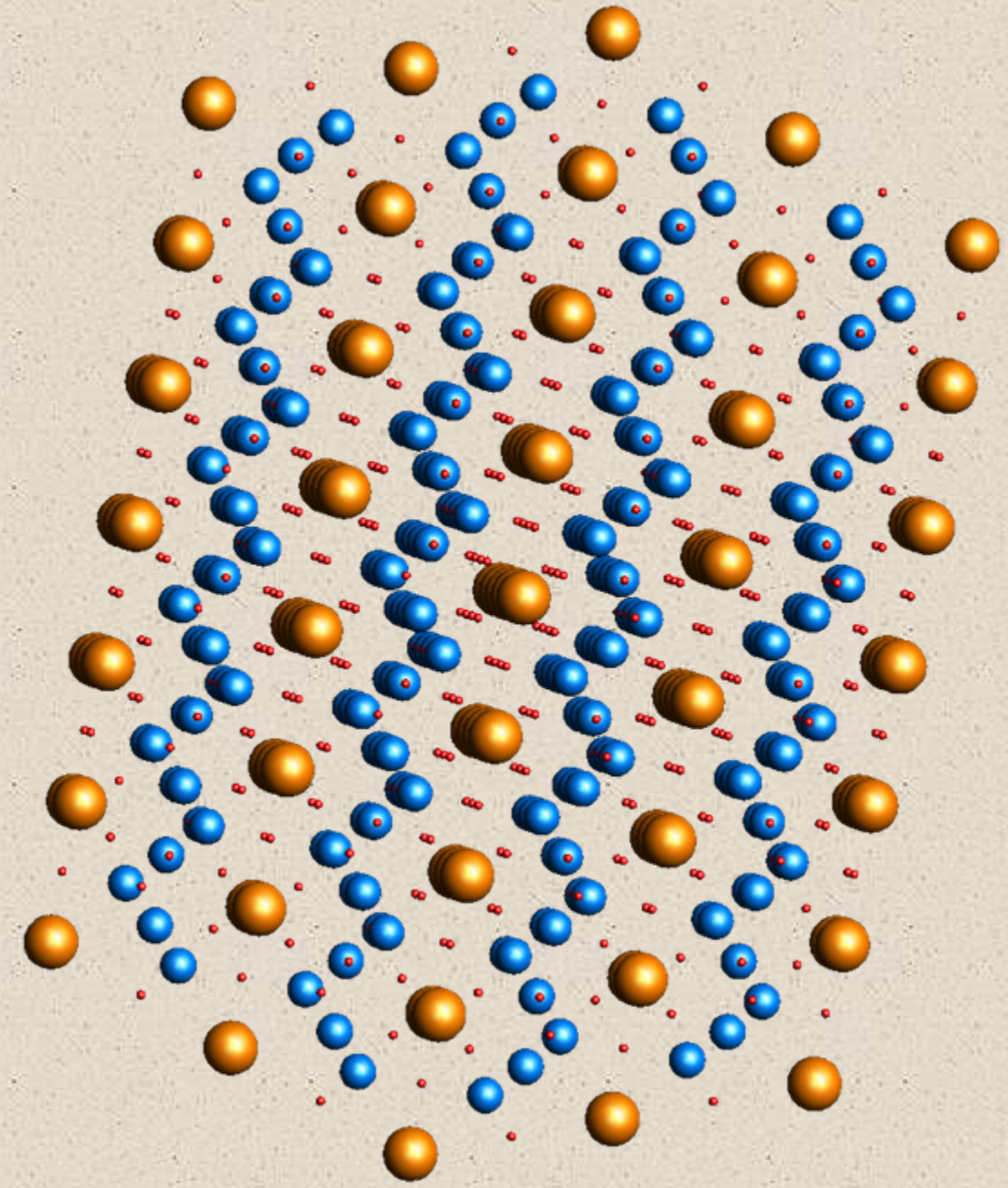


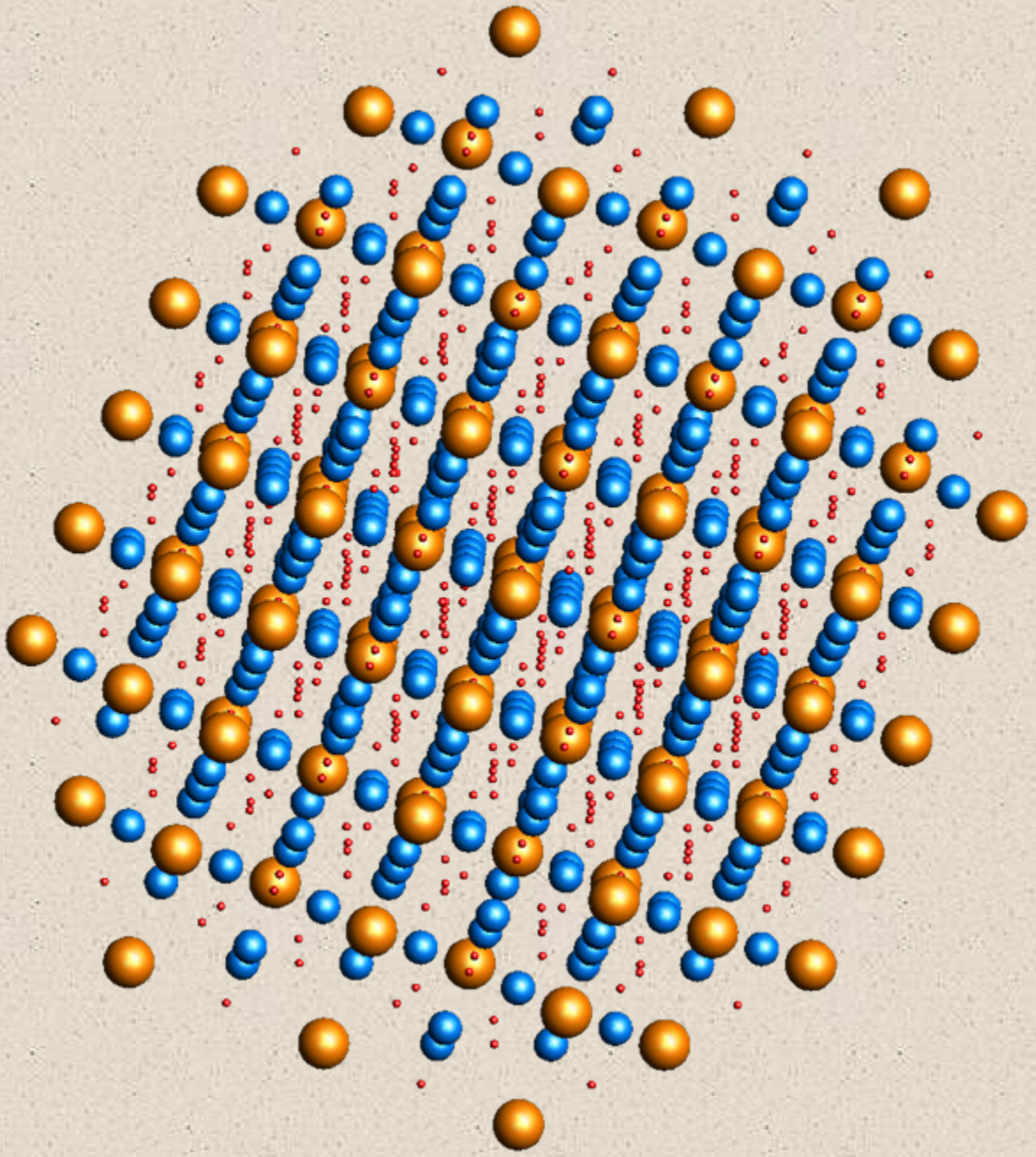








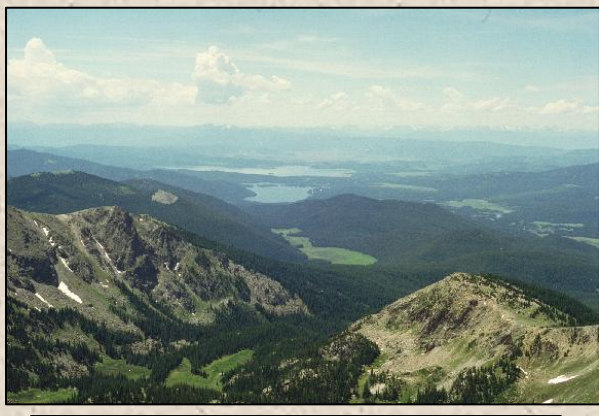




➢Hydridy kovů a intermetalik – vodíková energetika

120 litrů H_2

Magnetika

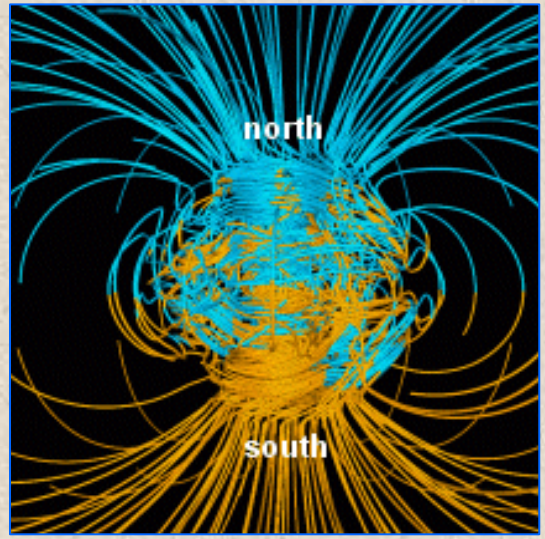


Historie:

Magnetovec (magnetit)

Kompas (Čína, 4500 př.n.l.)

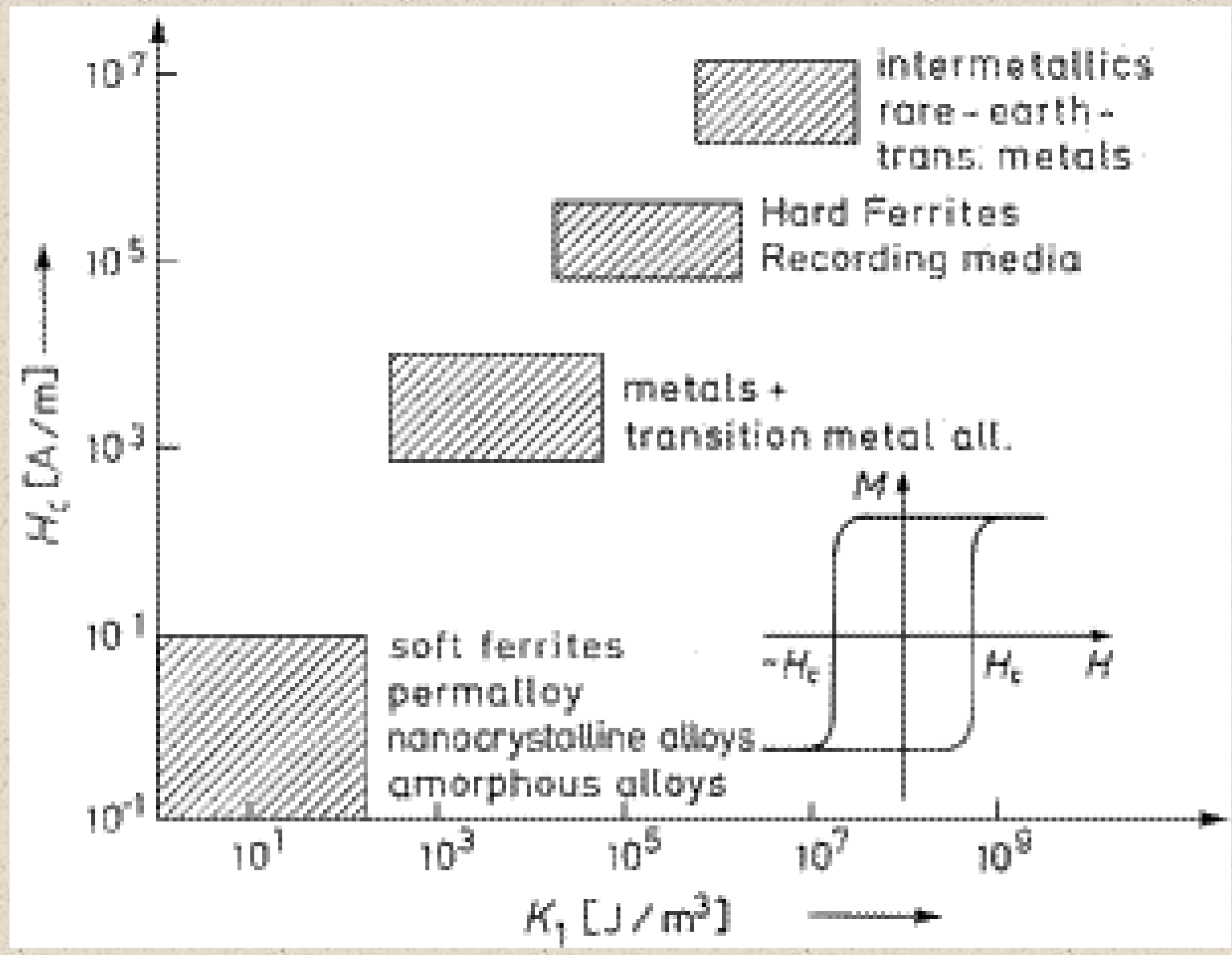
- Feromagnety
  - Fe, Co, Ni, RE
  - Heuslerovy slitiny (Cu,Sn,Mn)
- Ferimagnety
  - oxidy (YIG)



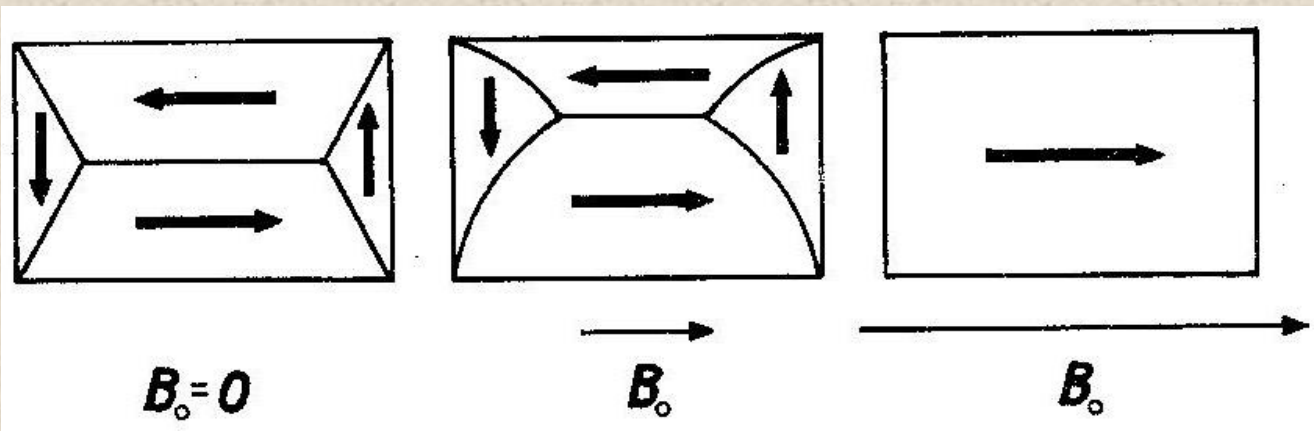
magnety

- Možné aplikace:
  - silné permanentní magnety
  - záznamová média (magnetická, magnetooptická)
  - MRI
  - mg. separace
  - mg. levitace

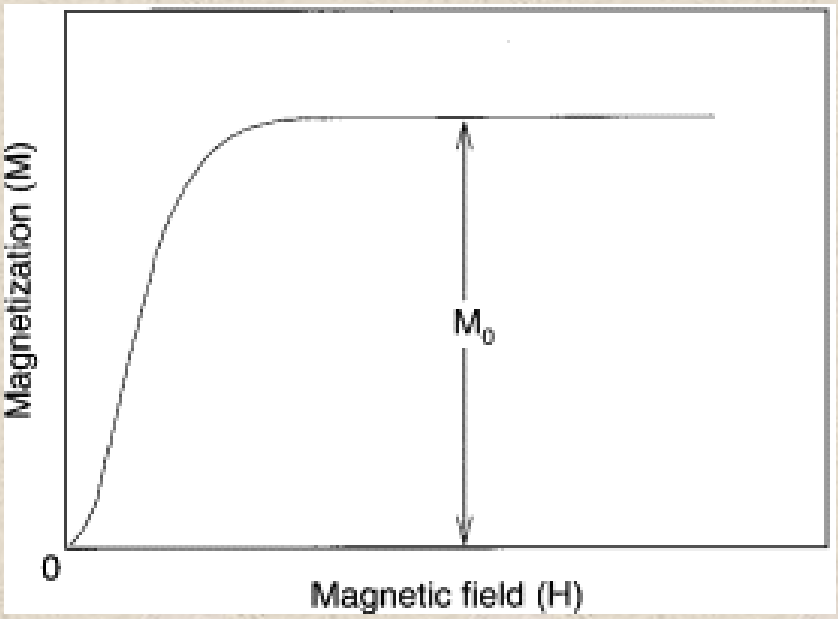
Feromagnetika – měkká a tvrdá:

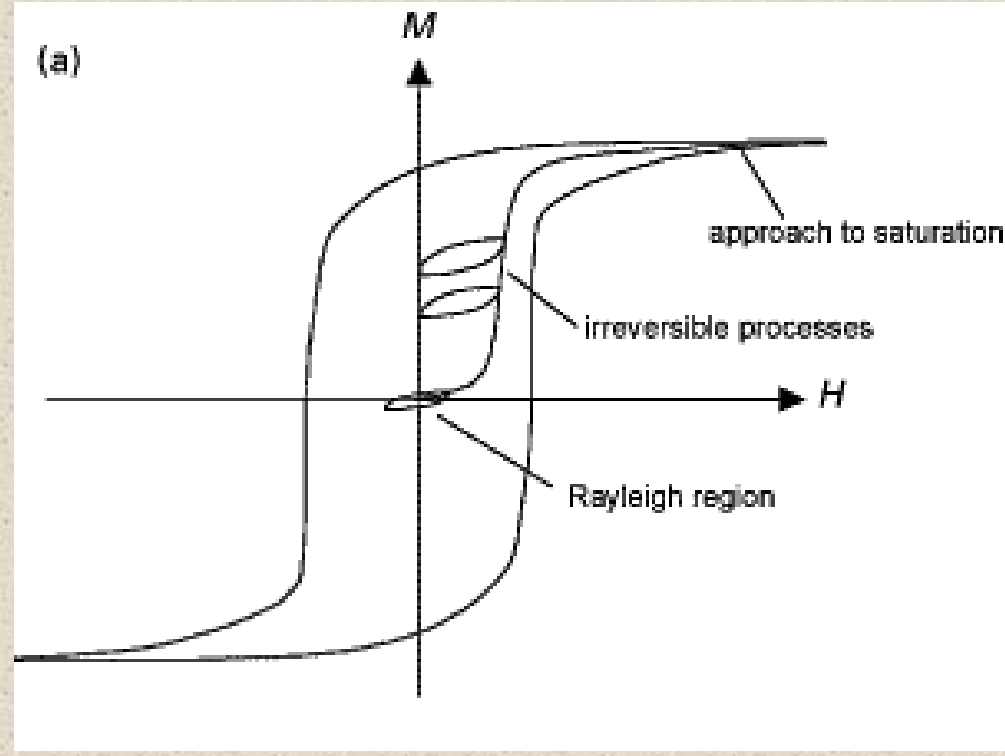


Feromagnetika

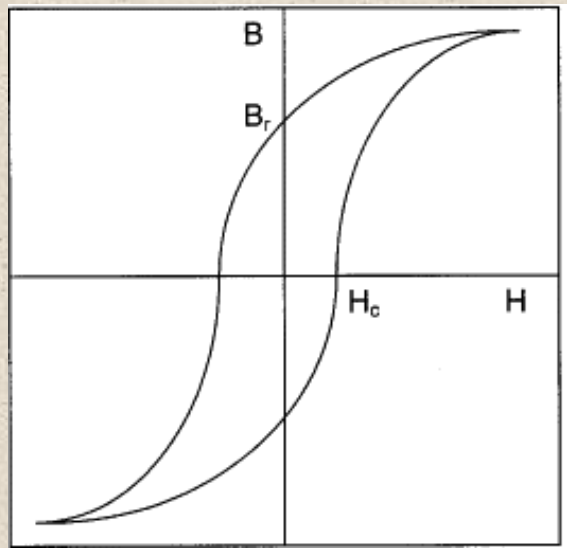


Feromagnetika:



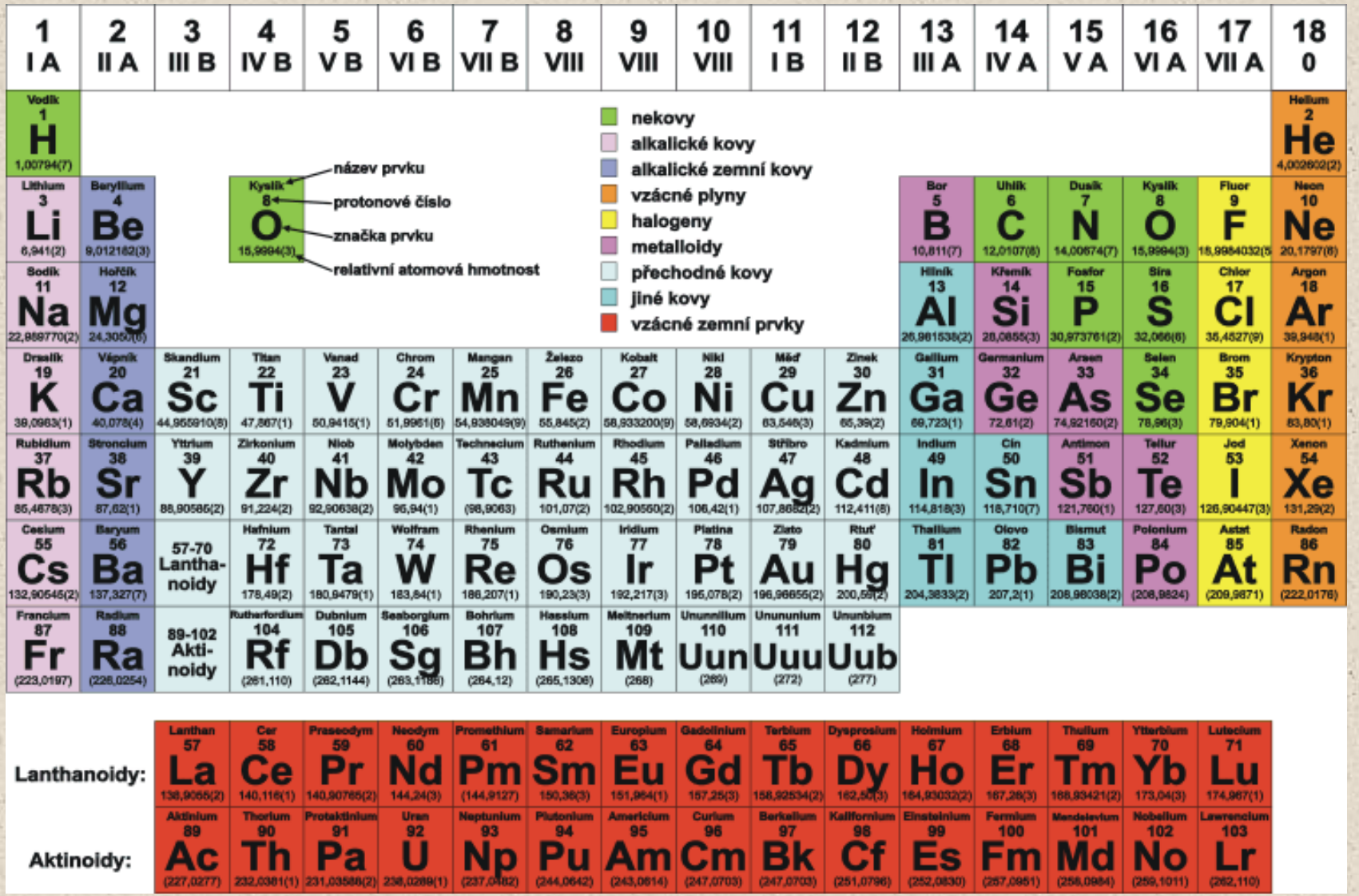


- Nasycená magnetizace
- Remanence
- Koercitivní síla



Feromagnetika – měkká a tvrdá:

- měkké feromagnetikum:
  - $Fe_{84}Zr_7B_9$
  - koercitivní síla $\mu_0 H_c = 10^{-7}\,\mathrm{T}$
- tvrdé feromagnetikum
  - $Fe_{84}Nd_7B_9$
  - koercitivní síla $\mu_0 H_c = 1\mathrm{T}$


1 I A
2 II A
3 III B
4 IV B
5 V B
6 VI B
7 VII B
8 VIII
9 VIII
10 VIII
11 I B
12 II B
13 III A
14 IV A
15 V A
16 VI A
17 VII A
18 0
Vodík 1 H 1,00794(7)
Helium 2 He 4,002602(2)
Lithium 3 Li 6,941(2)
Beryllium 4 Be 9,012182(3)
Bor 5 B 10,811(7)
Uhlík 6 C 12,0107(8)
Dusík 7 N 14,00674(7)
Kyslík 8 O 15,9994(3)
Fluor 9 F 18,9984032(5
Neon 10 Ne 20,1797(6)
Sodík 11 Na 22,989770(2)
Hořčík 12 Mg 24,3050(6)
Hliník 13 Al 26,981538(2)
Křemík 14 Si 28,0855(3)
Fosfor 15 P 30,973761(2)
Síra 16 S 32,066(6)
Chlor 17 Cl 35,4527(9)
Argon 18 Ar 39,948(1)
Draslík 19 K 39,0983(1)
Vápník 20 Ca 40,078(4)
Skandium 21 Sc 44,955910(8)
Titan 22 Ti 47,867(1)
Vanad 23 V 50,9415(1)
Chrom 24 Cr 51,9961(6)
Mangan 25 Mn 54,938049(9)
Železo 26 Fe 55,845(2)
Kobalt 27 Co 58,933200(9)
Nikl 28 Ni 58,6934(2)
Měď 29 Cu 63,546(3)
Zinek 30 Zn 65,39(2)
Gallium 31 Ga 69,723(1)
Germanium 32 Ge 72,61(2)
Arsen 33 As 74,92160(2)
Selen 34 Se 78,96(3)
Brom 35 Br 79,904(1)
Krypton 36 Kr 83,80(1)
Rubidium 37 Rb 85,4678(3)
Stroncium 38 Sr 87,62(1)
Yttrium 39 Y 88,90585(2)
Zirkonium 40 Zr 91,224(2)
Niob 41 Nb 92,90638(2)
Molybden 42 Mo 95,94(1)
Technecium 43 Tc (98,9063)
Ruthenium 44 Ru 101,07(2)
Rhodium 45 Rh 102,90550(2)
Palladium 46 Pd 106,42(1)
Stříbro 47 Ag 107,8682(2)
Kadmium 48 Cd 112,411(8)
Indium 49 In 114,818(3)
Cín 50 Sn 118,710(7)
Antimon 51 Sb 121,760(1)
Tellur 52 Te 127,60(3)
Jod 53 I 126,90447(3)
Xenon 54 Xe 131,29(2)
Cesium 55 Cs 132,90545(2)
Baryum 56 Ba 137,327(7)
57-70 Lantha-noidy
Hafnium 72 Hf 178,49(2)
Tantal 73 Ta 180,9479(1)
Wolfram 74 W 183,84(1)
Rhenium 75 Re 186,207(1)
Osmium 76 Os 190,23(3)
Iridium 77 Ir 192,217(3)
Platina 78 Pt 195,078(2)
Zlato 79 Au 196,96655(2)
Rtuť 80 Hg 200,59(2)
Thallium 81 Tl 204,3833(2)
Olovo 82 Pb 207,2(1)
Bismut 83 Bi 208,98038(2)
Polonium 84 Po (208,9824)
Astat 85 At (209,9871)
Radon 86 Rn (222,0176)
Francium 87 Fr (223,0197)
Radium 88 Ra (226,0254)
89-102 Akti-noidy
Rutherfordium 104 Rf (261,110)
Dubnium 105 Db (262,1144)
Seaborgium 106 Sg (263,1186)
Bohrium 107 Bh (264,12)
Hassium 108 Hs (265,1306)
Meitnerium 109 Mt (268)
Ununnilium 110 Uun (269)
Unununium 111 Uuu (272)
Ununbium 112 Uub (277)
Kyslík 8 O 15,9994(3)
název prvku
protonové číslo
značka prvku
relativní atomová hmotnost
nekovy
alkalické kovy
alkalické zemní kovy
vzácné plyny
halogeny
metalloidy
přechodné kovy
jiné kovy
vzácné zemní prvky
Lanthanoidy:
Lanthan 57 La 138,9055(2)
Cer 58 Ce 140,116(1)
Praseodym 59 Pr 140,90765(2)
Neodym 60 Nd 144,24(3)
Promethium 61 Pm (144,9127)
Samarium 62 Sm 150,36(3)
Europium 63 Eu 151,964(1)
Gadolinium 64 Gd 157,25(3)
Terbium 65 Tb 158,92534(2)
Dysprosium 66 Dy 162,50(3)
Holmium 67 Ho 164,93032(2)
Erbium 68 Er 167,26(3)
Thulium 69 Tm 168,93421(2)
Ytterbium 70 Yb 173,04(3)
Lutecium 71 Lu 174,967(1)
Aktinoidy:
Aktinium 89 Ac (227,0277)
Thorium 90 Th 232,0381(1)
Protaktinium 91 Pa 231,03588(2)
Uran 92 U 238,0289(1)
Neptunium 93 Np (237,0482)
Plutonium 94 Pu (244,0642)
Americium 95 Am (243,0614)
Curium 96 Cm (247,0703)
Berkelium 97 Bk (247,0703)
Kalifornium 98 Cf (251,0796)
Einsteinium 99 Es (252,0830)
Fermium 100 Fm (257,0951)
Mendelevium 101 Md (258,0984)
Nobelium 102 No (259,1011)
Lawrencium 103 Lr (262,110)

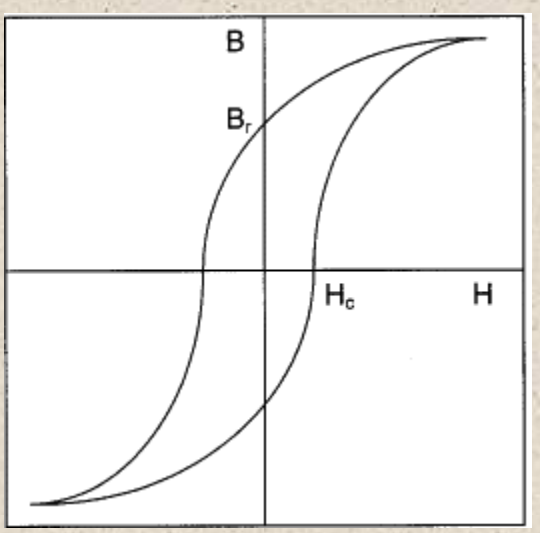
Feromagnetika

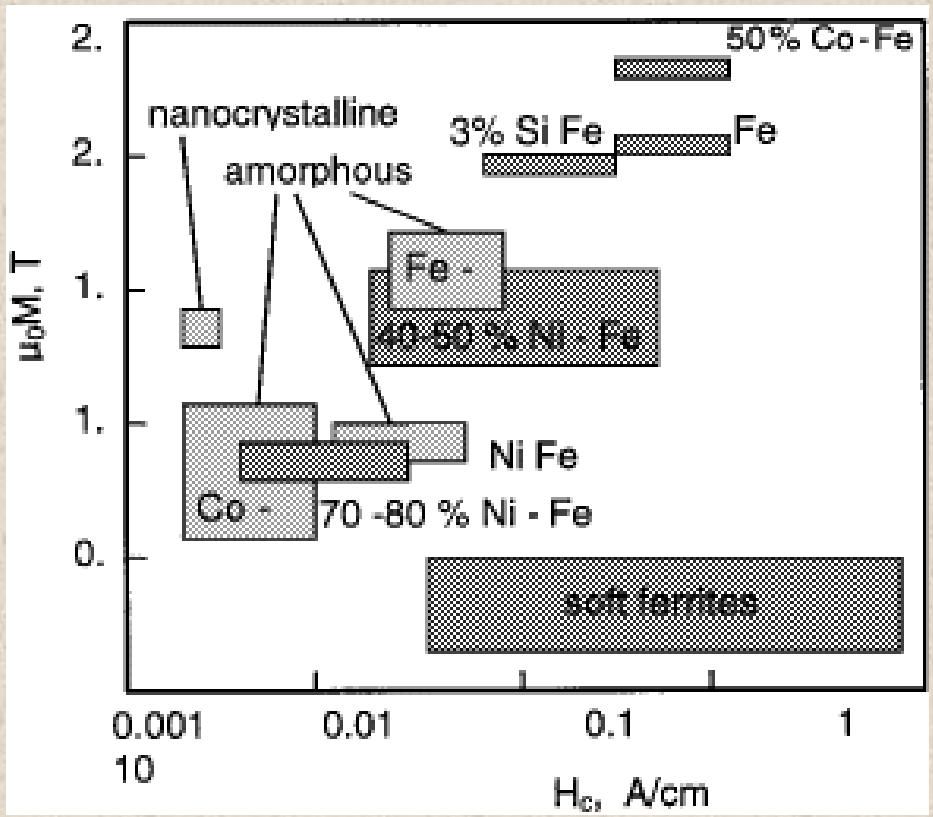
Měkká

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

$$\mu = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0 \mathbf{H}}$$

$$\mu \approx 10^5$$





Feromagnetika

Měkká:

Jádra jističů, chráničů apod.

Jádra transformátorů

Magnetické stínění

Elektromagnetické aktuátory (tiskárny, ventily...)

Sensory, ochrana zboží

Feromagnetika

Tvrdá

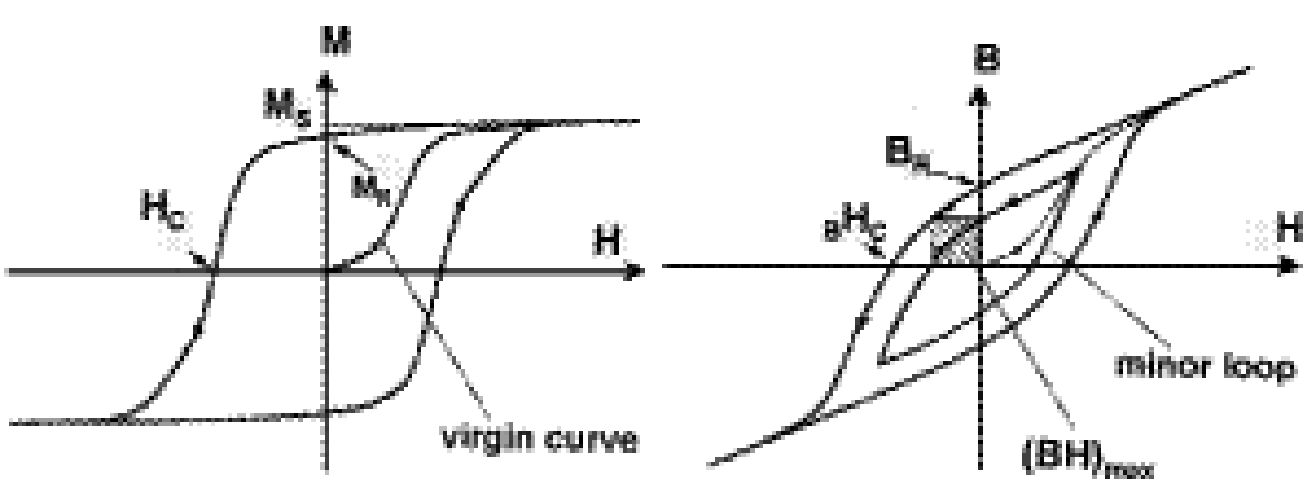
- magnetokrystalová anizotropie
- směrově závislá volná energie
- hexagonální: $F_a = K_1 \sin^2\theta + K_2 \sin^4\theta + K_3 \sin^6\theta + K_3' \sin^6\theta \cos 6\phi$
- tetragonální: $F_a = K_1 \sin^2\theta + K_2 \sin^4\theta + K_3 \sin^4\theta \cos 4\phi$
- θ úhel mezi **c** a **M**, ϕ úhel mezi **a** a $\mathbf{M}_{bp}$
- V mg. poli: $F = F_a - M_s H \cos(\theta - \beta)$
- Anizotropní pole:

$$H_A = \left(\frac{1}{\mu_0 M_S}\right)\left(\frac{\partial^2 F_a}{\partial \theta^2}\right)_{\Delta\beta=0}$$

Permanentní magnety

- Dramatický rozvoj od cca 1960 (objev RE magnetů)
- Požadavky:
  - vysoká Curieova teplota $(T_C > 500\ \mathrm{K})$
  - vysoká nasycená magnetizace $(\mu_0 M_S > 1\ \mathrm{T})$
  - vysoká magnetokrystalová anizotropie

Permanentní magnety



Hysteresní smyčka:

M – H (vlevo)

B – H (vpravo) šrafováno: maximální součin BH

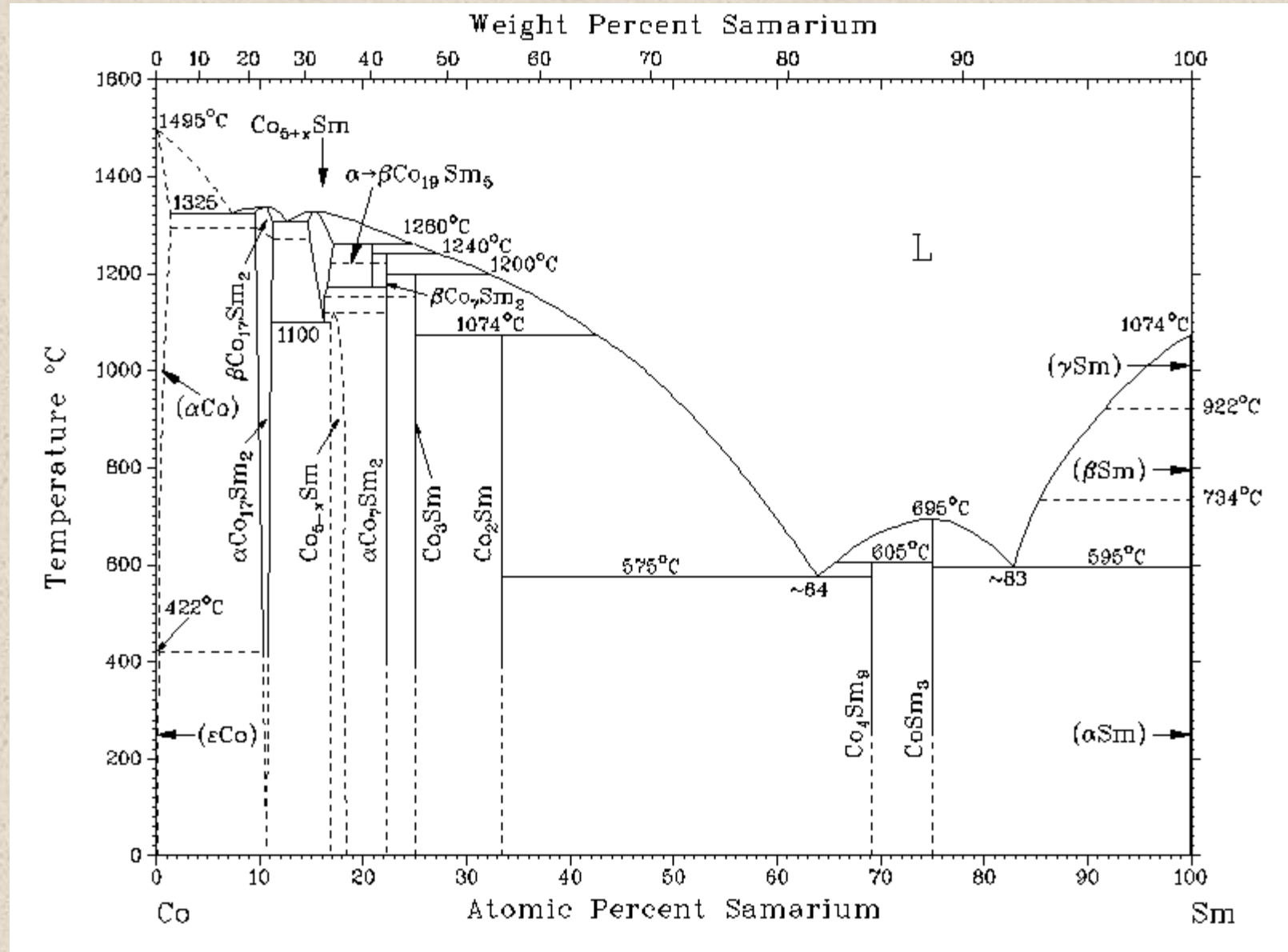
Permanentní magnety

Table 1. Basic data for hard magnetic materials.

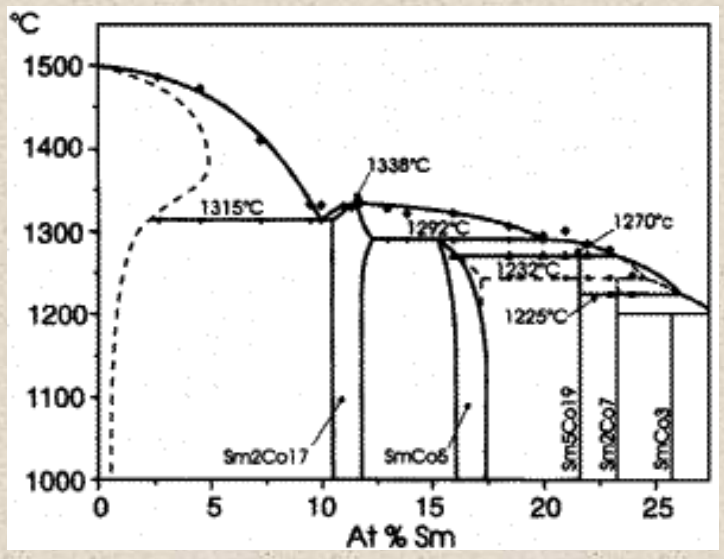
Compound	T_c (K)	$\mu_0 H_a$ (T)	$(K)_1$ (MJ m^{-3})	$\mu_0 M_s$ (T)
$SmCo_5$	993	40	17	1.05
Sm_2Co_{17}	1100	6.5	3.3	1.30
$Nd_2Fe_{14}B$	585	6.7	5	1.60

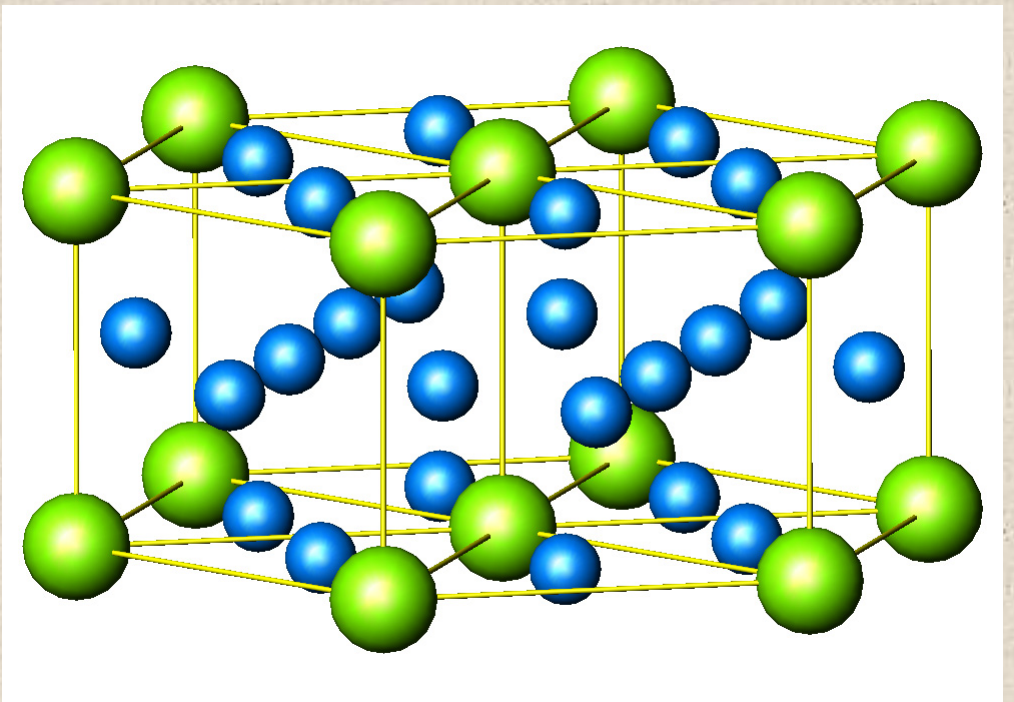
Source: Gutfleisch (2000).

Permanentní magnety

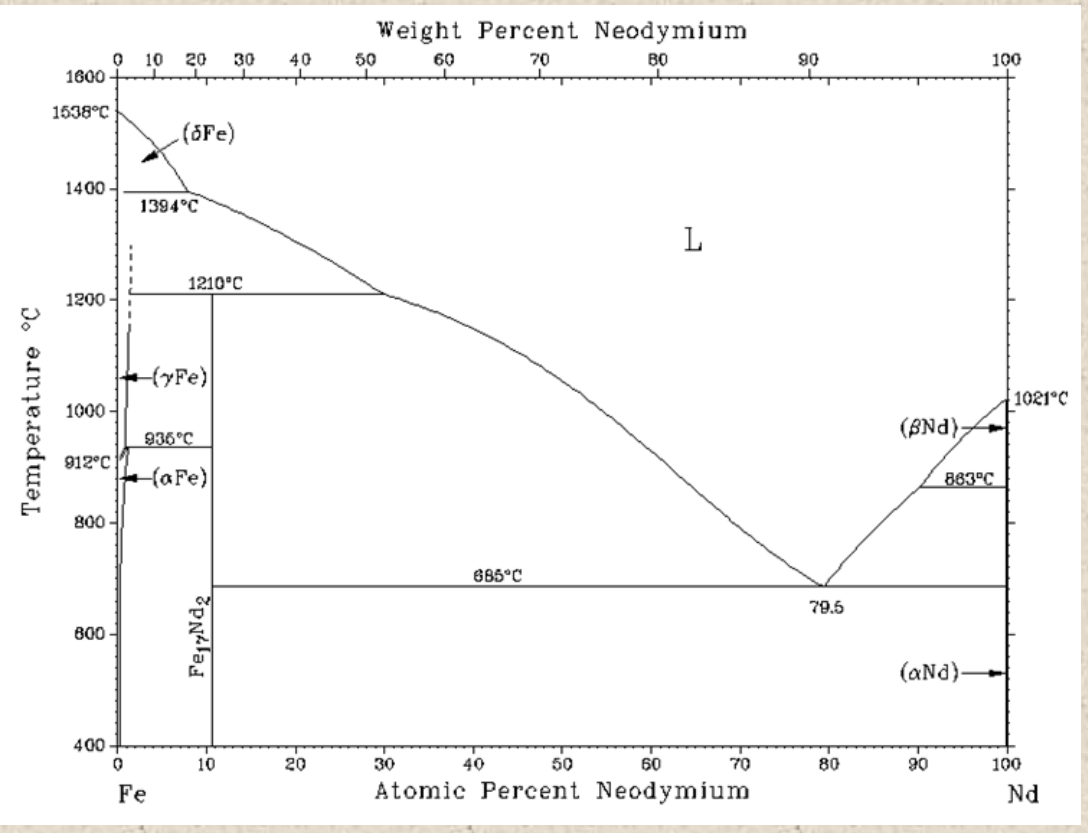


Permanentní magnety



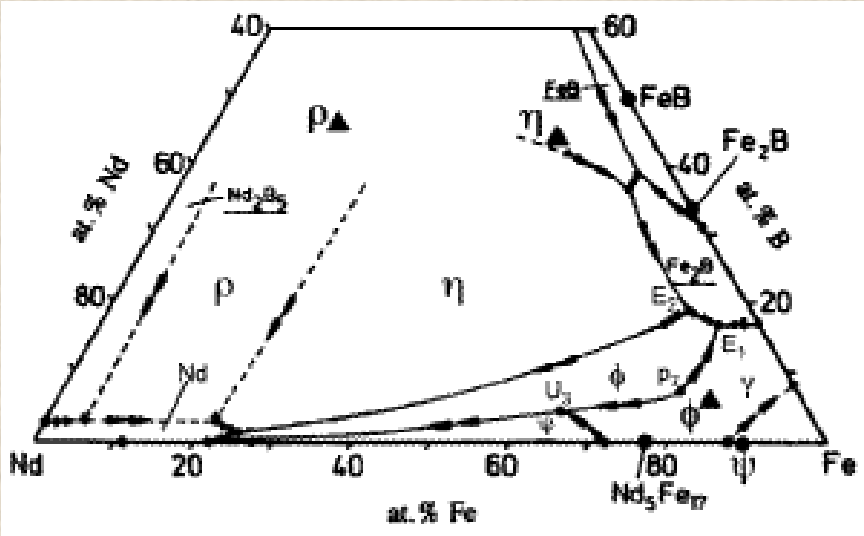


Permanentní magnety



$Nd_2Fe_{14}B$			expected m [g]:	100
Element	Molar Mass	stoich.	weight fract.	m_0 [g]
Nd	144,24	2	288,4800	**26,6834**
Fe	55,845	14	781,8300	**72,3166**
B	10,811	1	10,8110	**1,0000**
Total:		17	1081,1210	100

Permanentní magnety



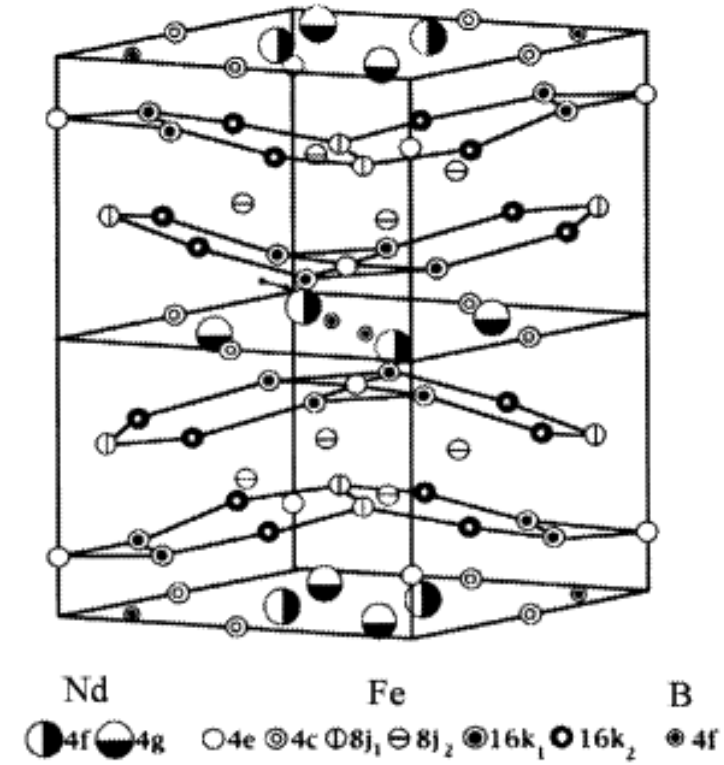
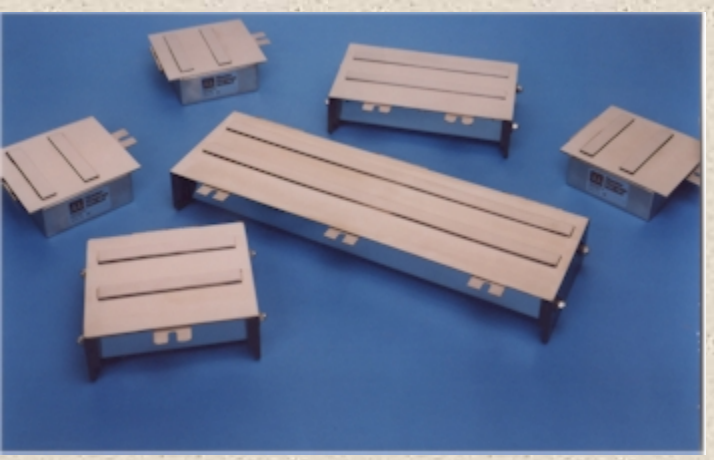
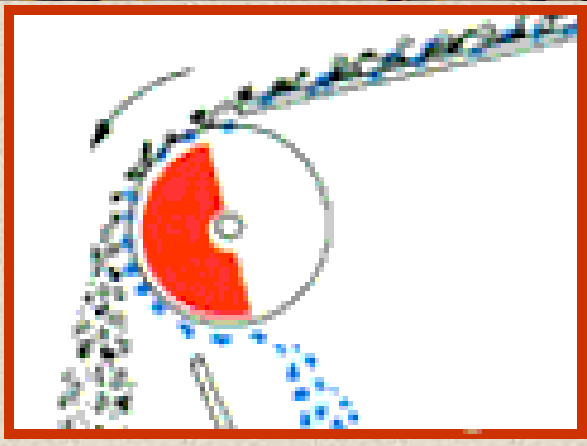
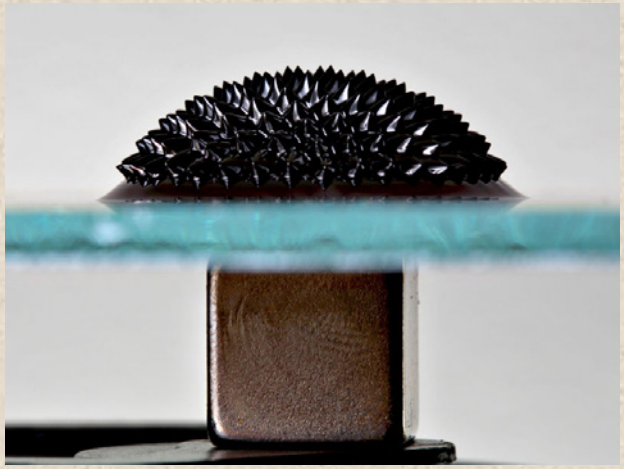


Figure 1. The tetragonal $Nd_2Fe_{14}B$ structure (after Coey 1996).

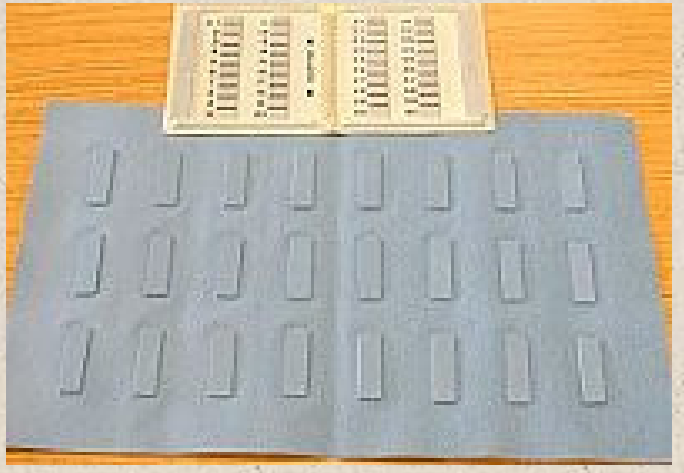
Permanentní magnety



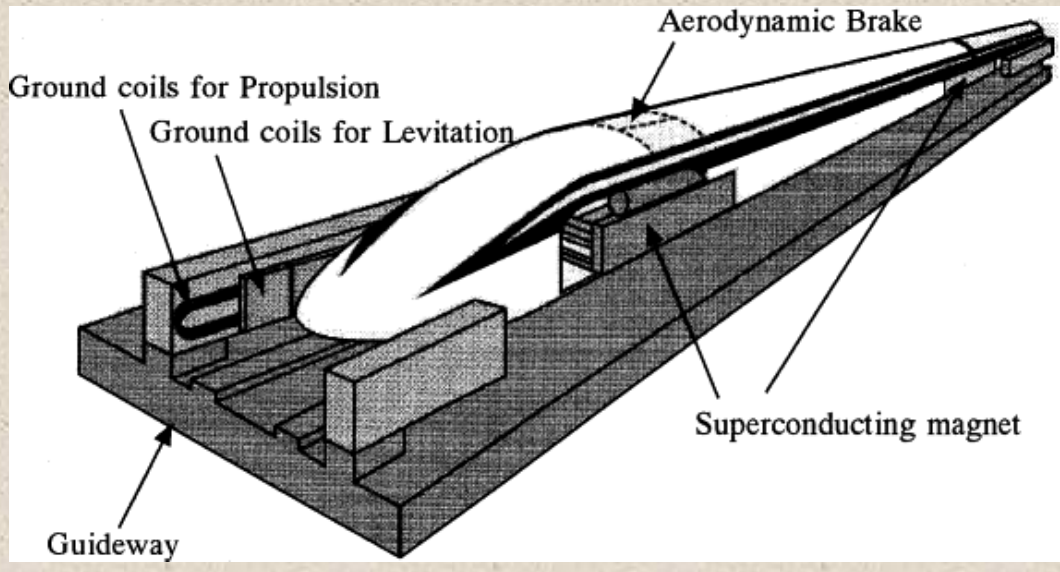


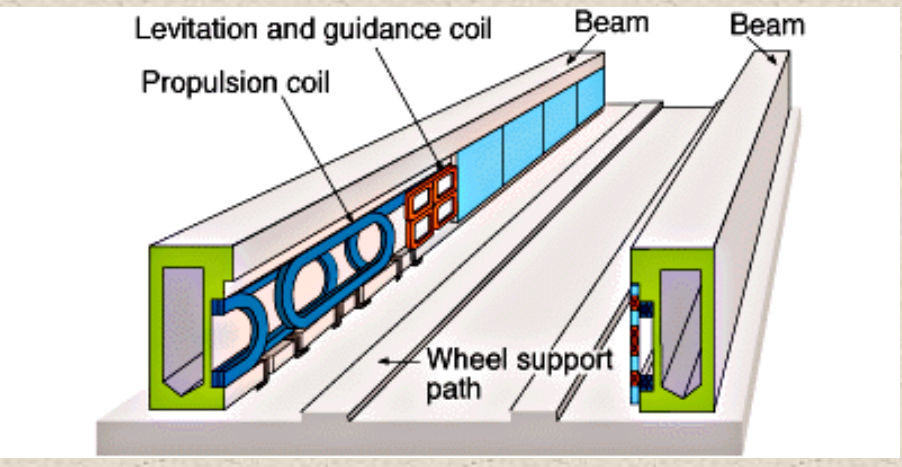


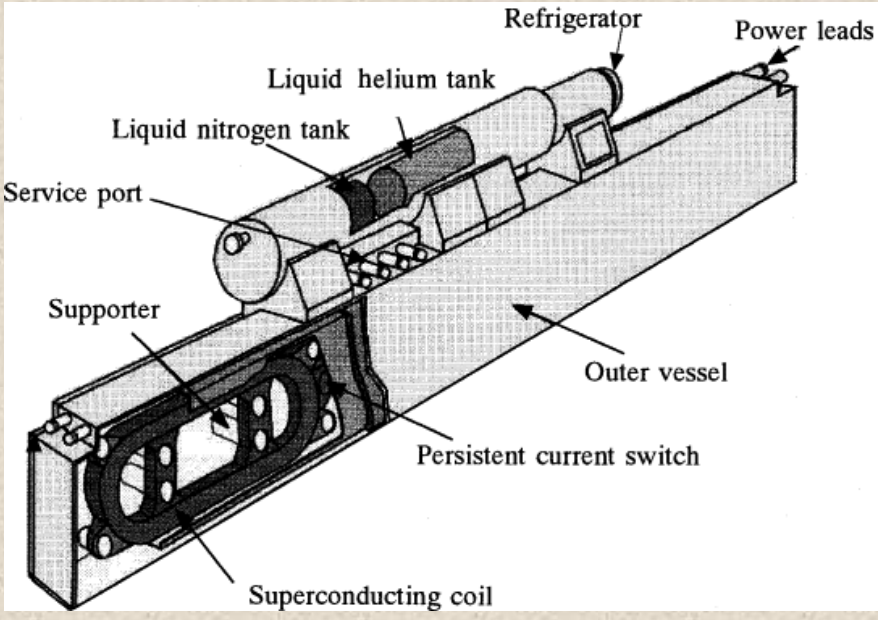
Permanentní magnety

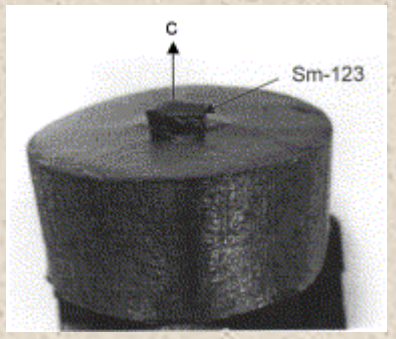


Supravodiče:









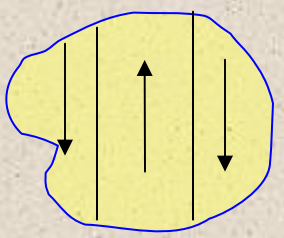
Supravodiče:

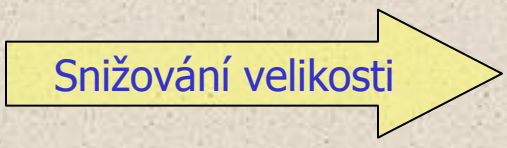
Dosavadní rychlostní rekord: 552 km/h

Směr „nano“ - Nanogranulární 3d materiály

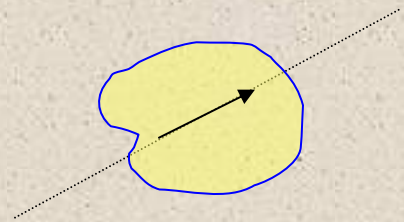
Superparamagnetismus

Částice s doménovou strukturou

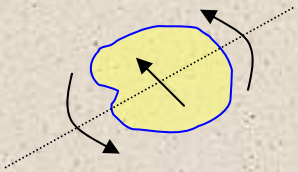




Pod R_c (35nm - Co) je částice jednodoménová

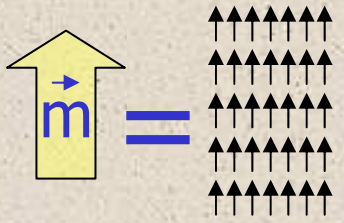


Snadný směr

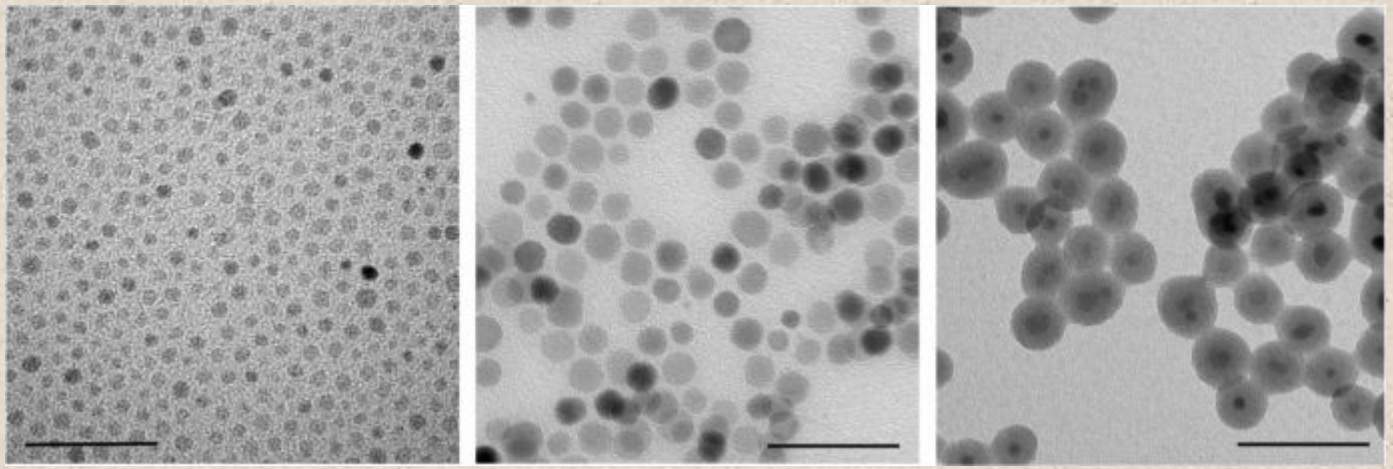


“ volná rotace” částice

Blokovaný stav



Magnetická hypertermie

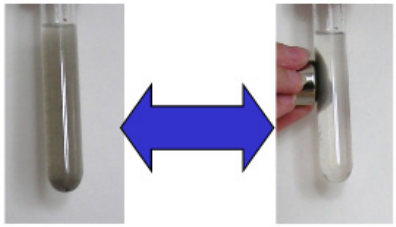


Vybrané příklady neobalených a silikou obalených nanočástic Co-Zn feritu s různou velikostí jader, měřítko má 50 nm.

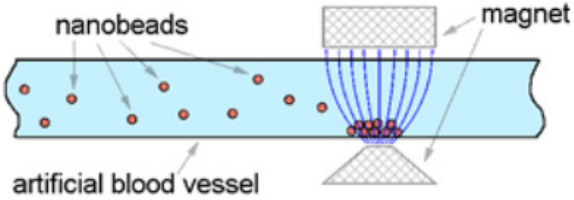
Magnetická hypertermie

Důležité vlastnosti magnetických částic

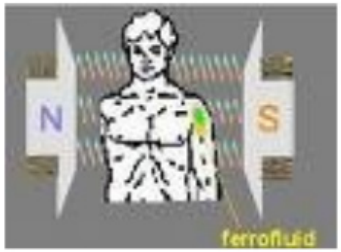
- Selektivní separace (odstranění) magnetických částic ze systému



- Směrování magnetických částic do cílové oblasti pomocí magnetického pole



- Udržení magnetických částic v cílové oblasti pomocí magnetického pole
- Tvorba tepla ve střídavém magnetickém poli
- Kontrast v MRI



Děkuji za pozornost