

Koexistencia magnetického usporiadania a supravodivosti v Heuslerových zliatinách

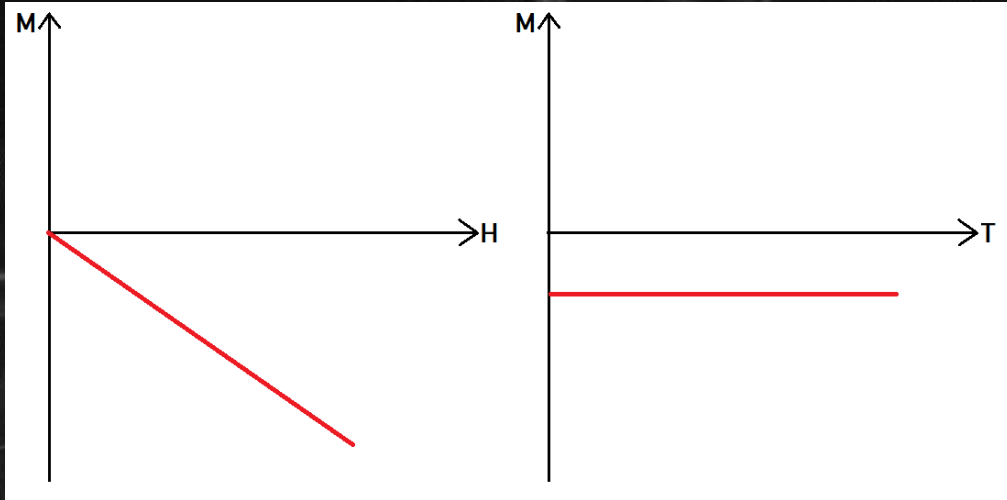
Bc. Samuel Nalevanko

školiťel: RNDr. Ladislav Galdun, PhD.

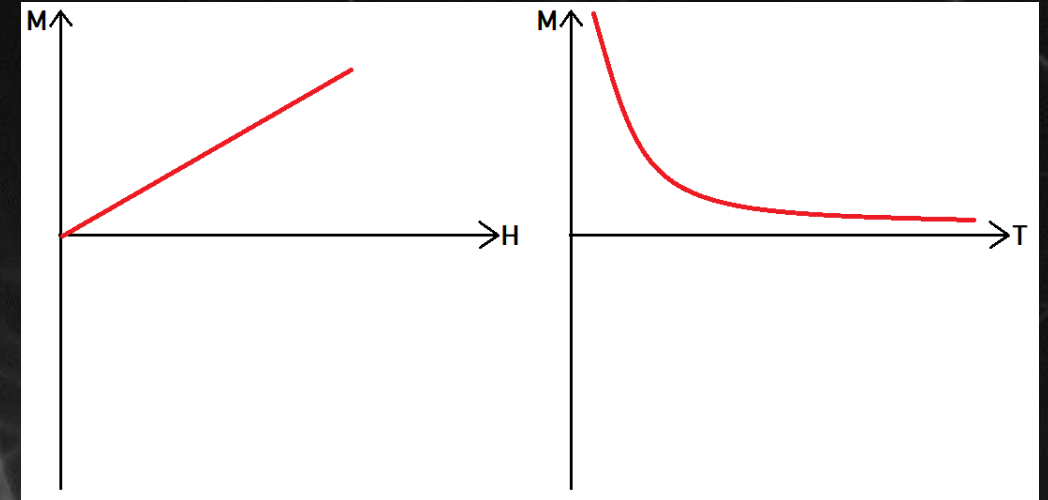
konzultant: prof. RNDr. Rastislav Varga, DrSc.



Magnetické materiály

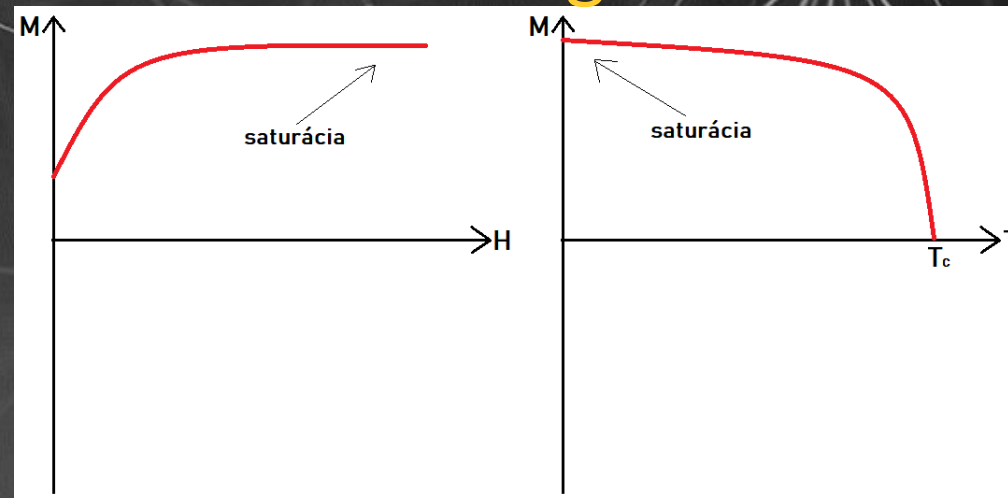


diamagnet



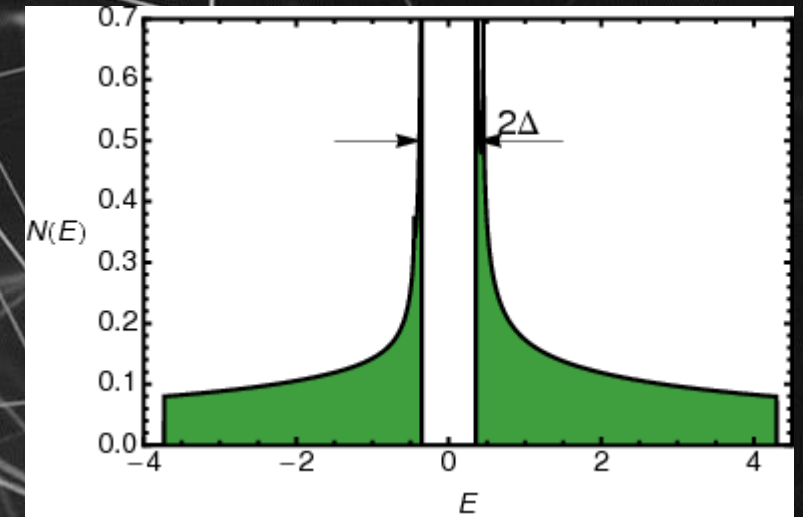
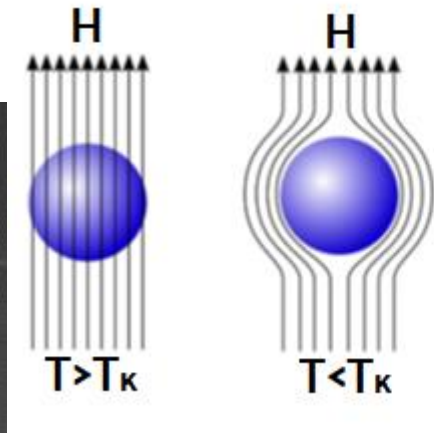
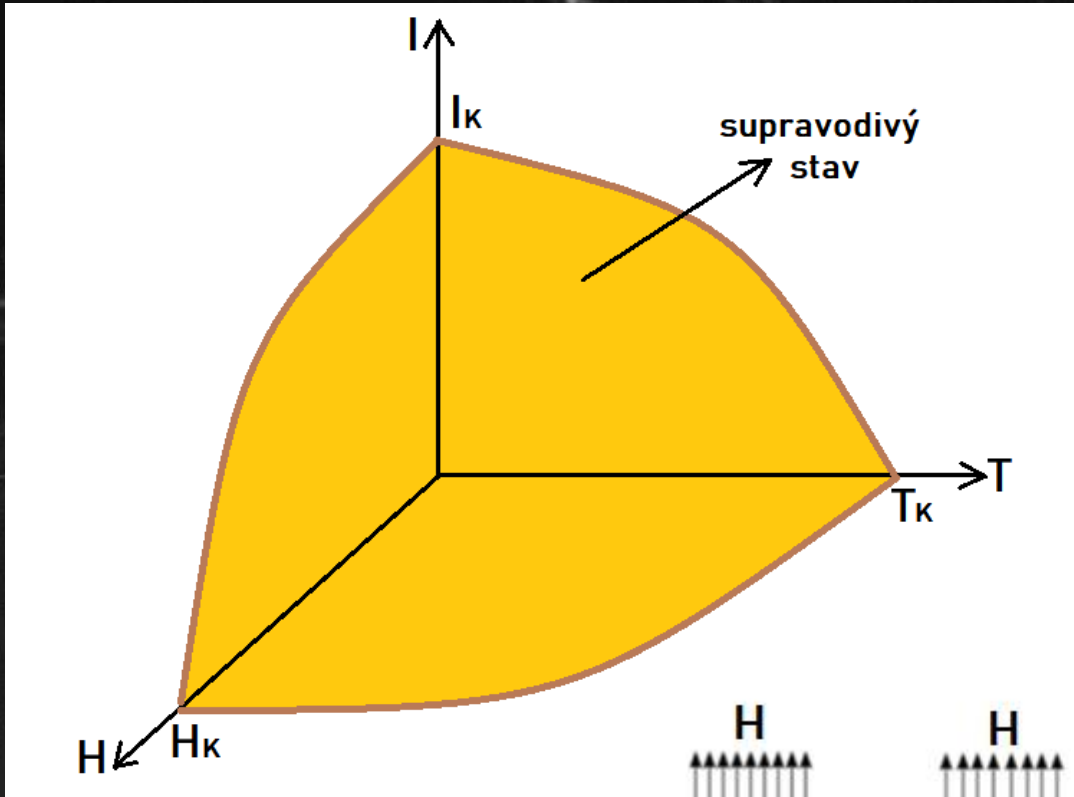
paramagnet

feromagnet



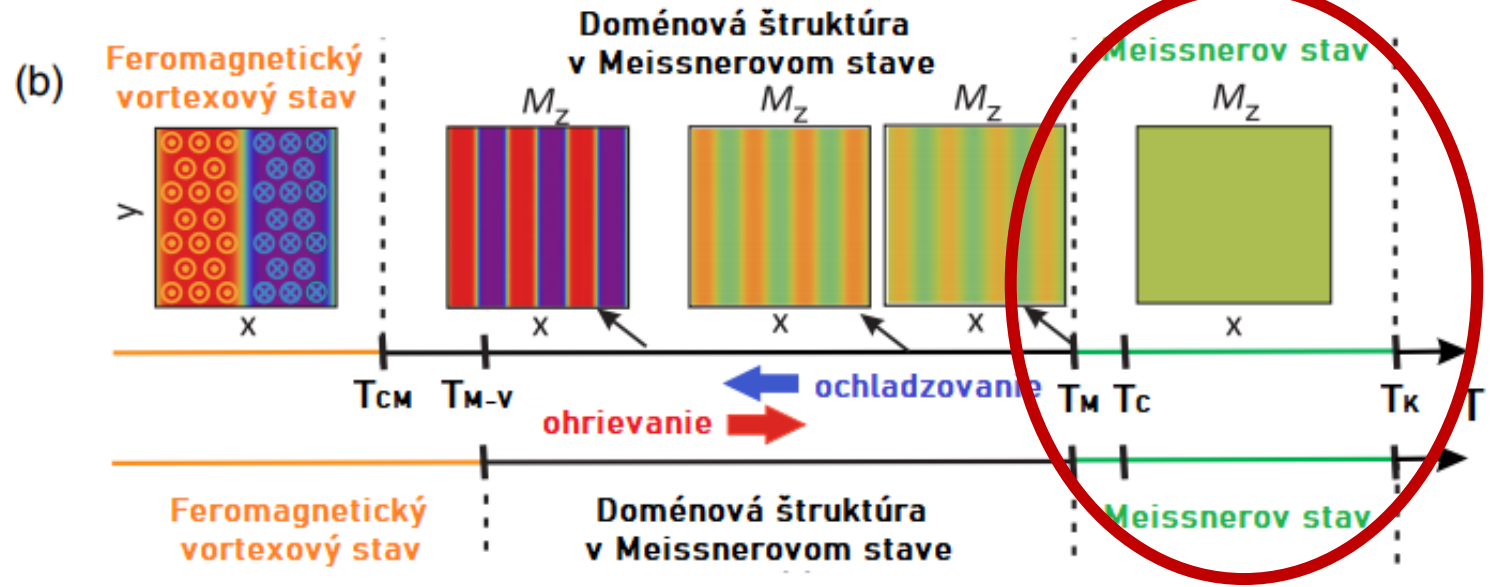
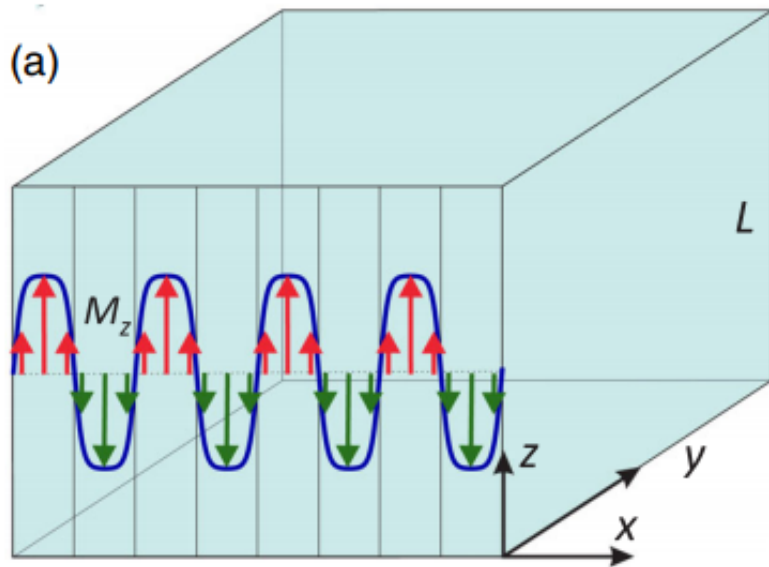
Supravodivé materiály

- silný diamagnetizmus
- Meissnerov efekt
- Cooperove páry
- vedenie el. prúdu bez odporu



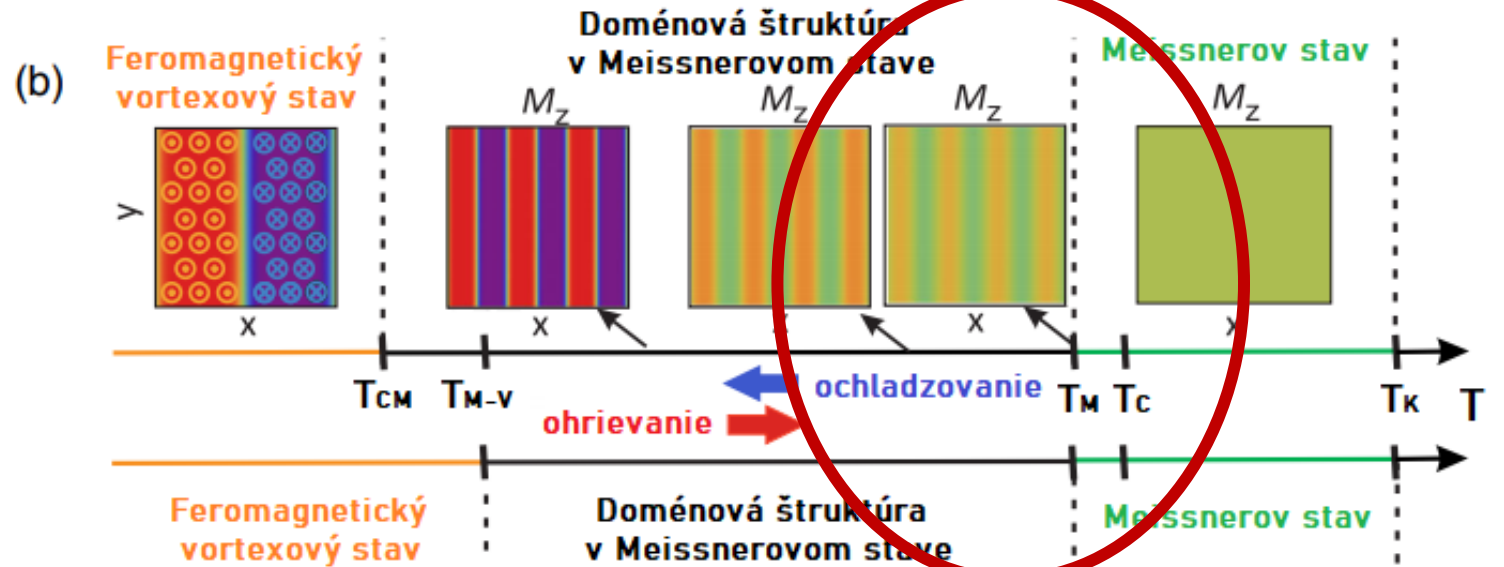
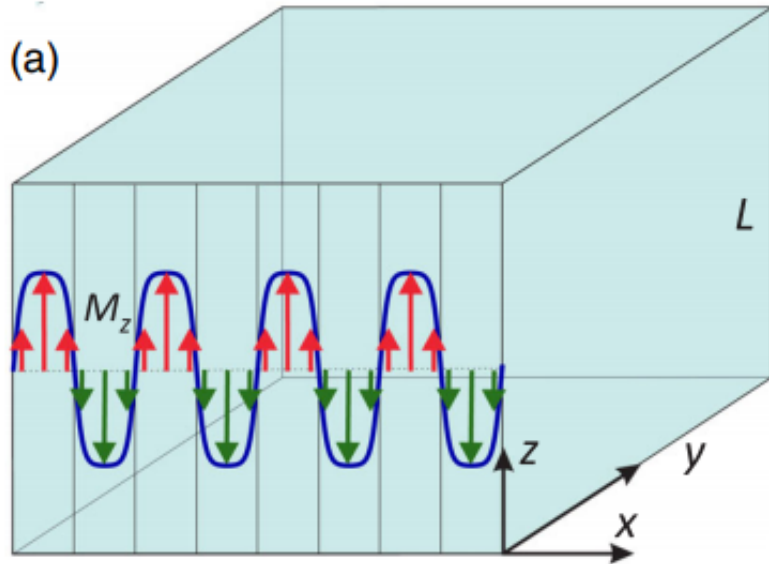
Feromagnetické supravodiče

- 1. štádium – schladzovanie, $T = T_K \rightarrow$ Meissnerova fáza, zabránenie vytvoreniu feromagnetického usporiadania pri T_c



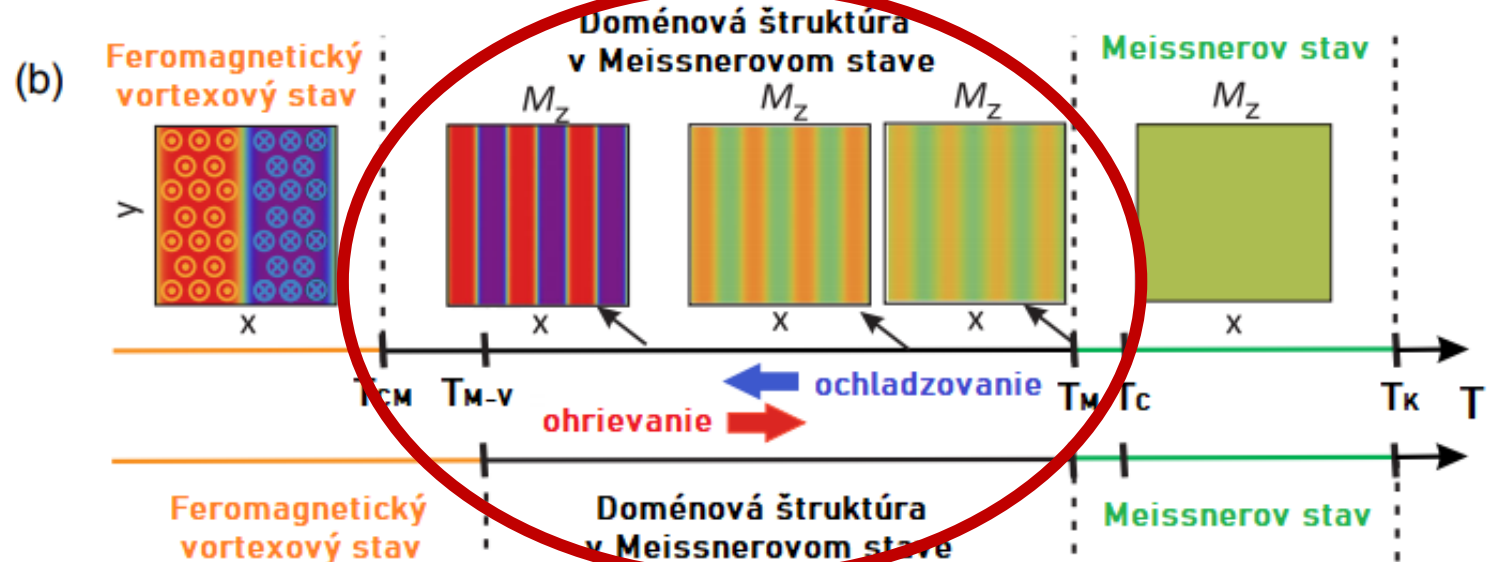
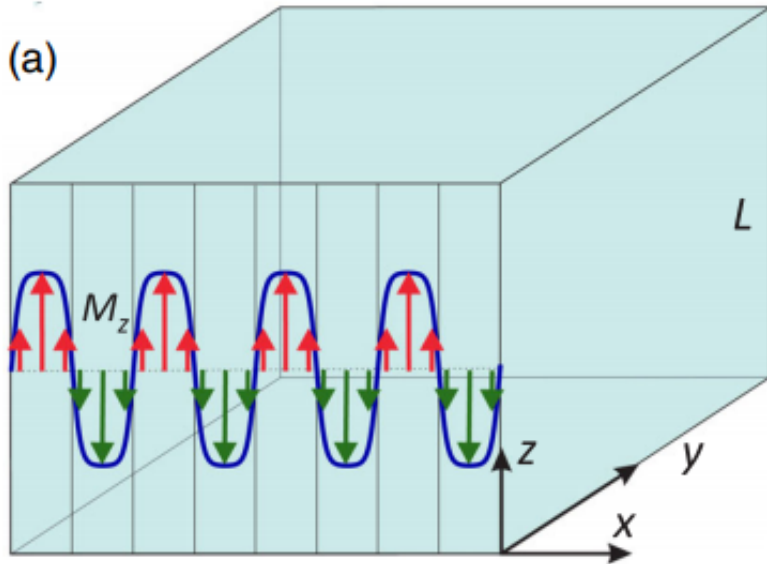
Feromagnetické supravodiče

- 2. štádium – prejavenie feromagnetického usporiadania pri $T_M < T_C$



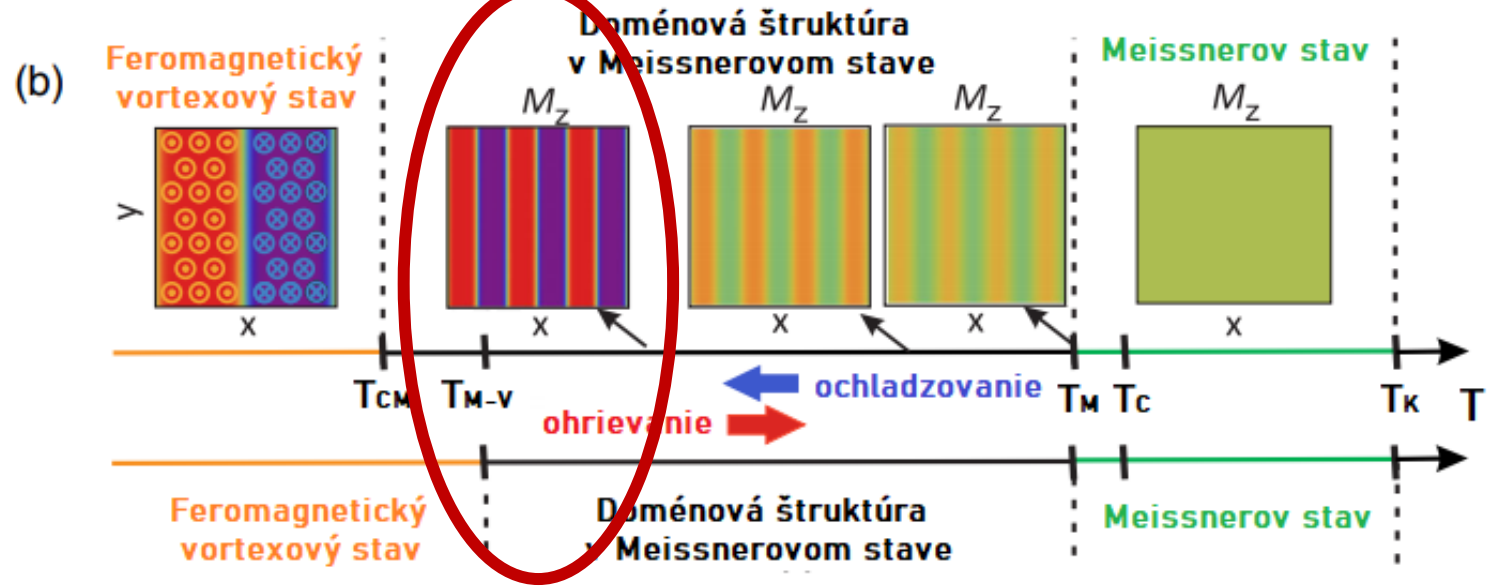
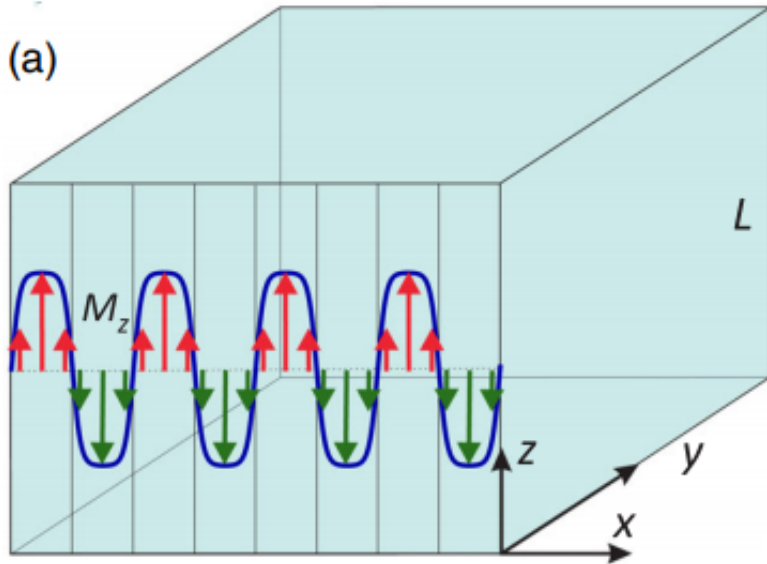
Ferromagnetické supravodiče

- 3. štádium – $T < T_M$, ferromagnetické usporiadanie = etapová štruktúra $\rightarrow$ (a)



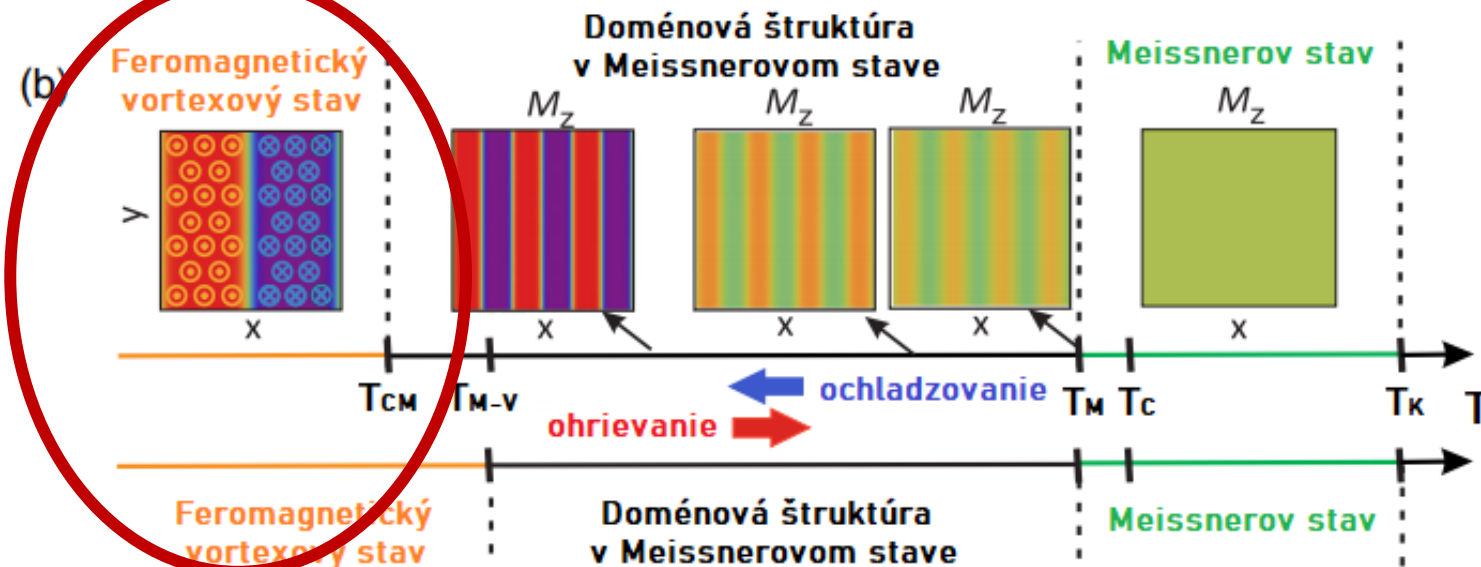
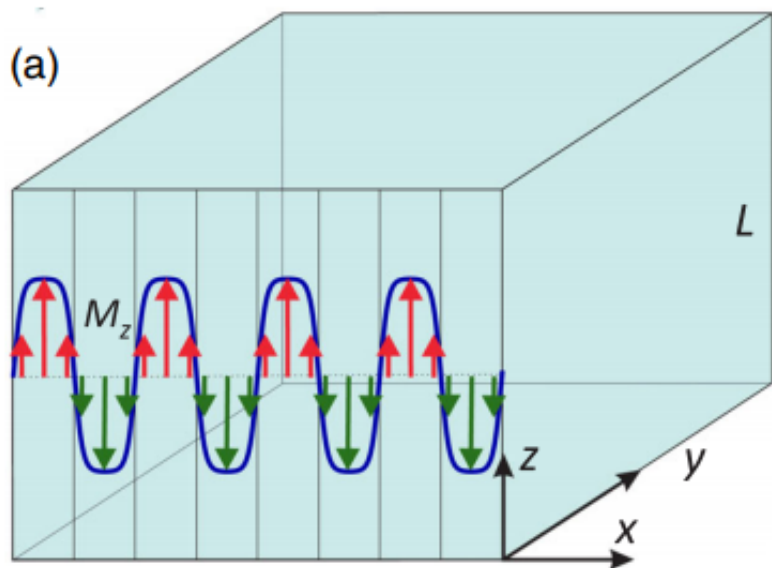
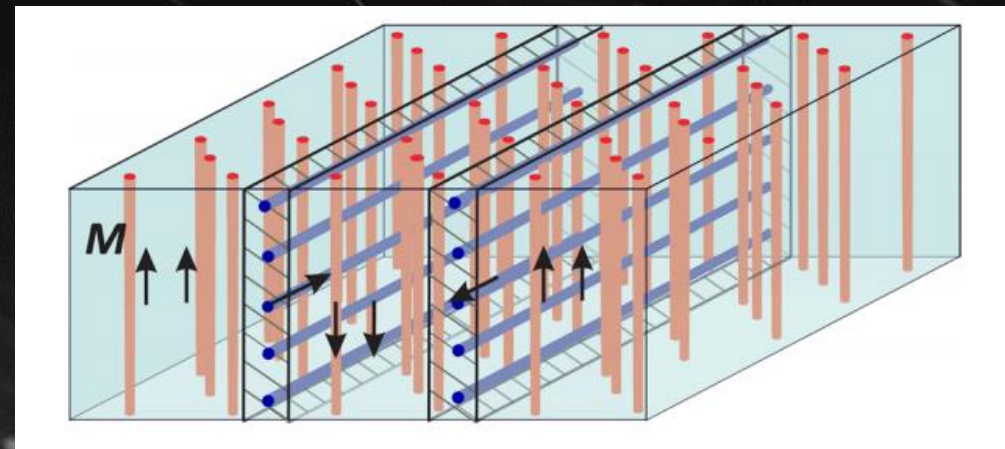
Feromagnetické supravodiče

- 3. štádium – narastanie magnetizácie, doménová štruktúra výhodnejšia ako jednotná supravodivá fáza



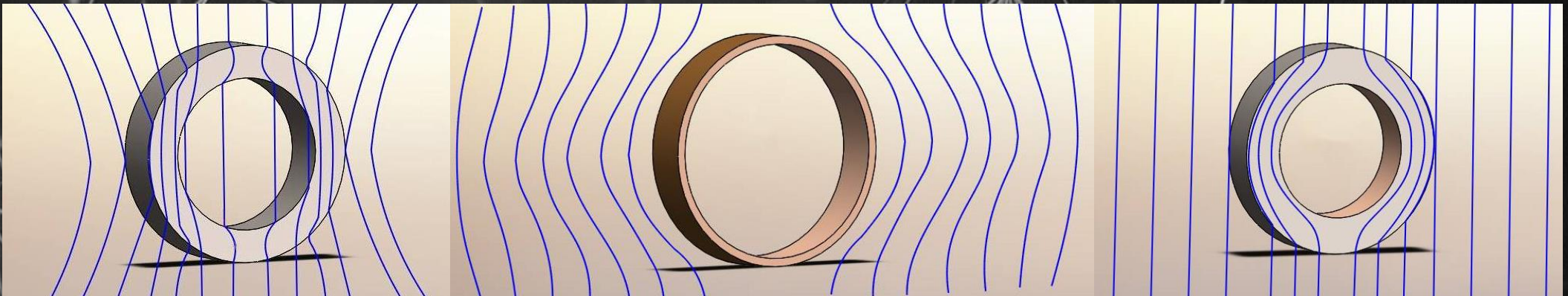
Feromagnetické supravodiče

- 4. štádium – T_{CM} – fázový prechod do vortexového stavu



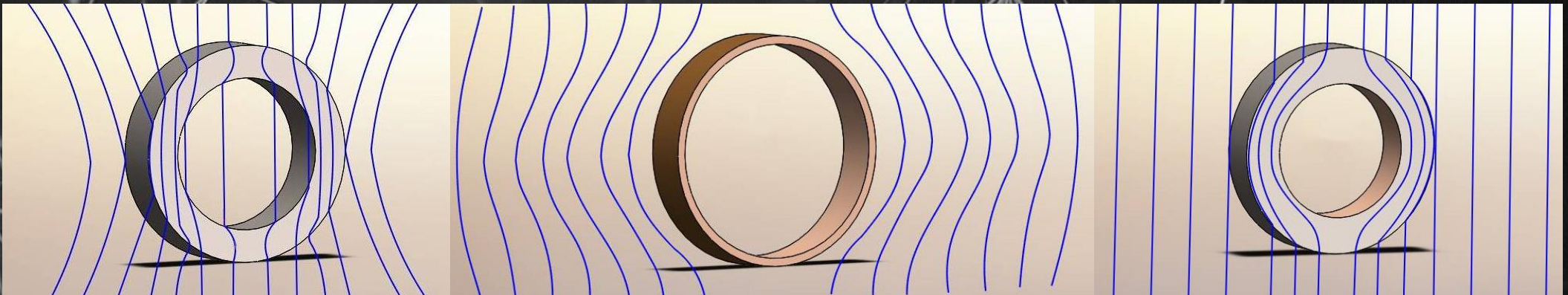
Koexistencia feromagnetizmu a supravodivosti

- kombinácia – materiál neviditeľný pre vonkajšie magnetické polia
- nevýhoda – spájanie dvoch materiálov
- CIEĽ – vytvoriť jeden materiál s týmto efektom
- objemová vzorka – tvarovateľná odlievaním, ľahká výroba



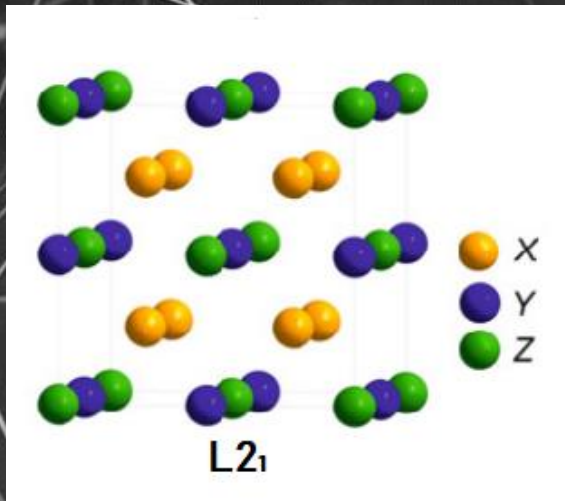
Magnetická neviditeľnosť

- experimentálne objavený jav v Heuslerovej zliatine Ni_2NbX ($\text{X}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{Sn}$)
- pripisovaný paramagnetickým nečistotám



Heuslerove zliatiny

- zloženie X_2YZ
- vlastnosti: magnetická neviditeľnosť, magnetokalorický jav, spinová polarizácia, ...
- pomerne lacné, nenáročné na prípravu
- $L2_1$ kryštalické usporiadanie



X_2YZ Heuslerove zliatiny

H 2.20																	He
Li 0.98	Be 1.57											B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98	Ne
Na 0.93	Mg 1.31											Al 1.61	Si 1.90	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16	Ar
K 0.82	Ca 1.00	Sc 1.36	Ti 1.54	V 1.63	Cr 1.66	Mn 1.55	Fe 1.83	Co 1.88	Ni 1.91	Cu 1.90	Zn 1.65	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96	Kr 3.00
Rb 0.82	Sr 0.95	Y 1.22	Zr 1.33	Nb 1.60	Mo 2.16	Tc 1.90	Ru 2.20	Rh 2.28	Pd 2.20	Ag 1.93	Cd 1.69	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.10	I 2.66	Xe 2.60
Cs 0.79	Ba 0.89		Hf 1.30	Ta 1.50	W 1.70	Re 1.90	Os 2.20	Ir 2.20	Pt 2.20	Au 2.40	Hg 1.90	Tl 1.80	Pb 1.80	Bi 1.90	Po 2.00	At 2.20	Rn
Fr 0.70	Ra 0.90																
		La 1.10	Ce 1.12	Pr 1.13	Nd 1.14	Pm 1.13	Sm 1.17	Eu 1.20	Gd 1.20	Tb 1.10	Dy 1.22	Ho 1.23	Er 1.24	Tm 1.25	Yb 1.10	Lu 1.27	
		Ac 1.10	Th 1.30	Pa 1.50	U 1.70	Np 1.30	Pu 1.28	Am 1.13	Cm 1.28	Bk 1.30	Cf 1.30	Es 1.30	Fm 1.30	Md 1.30	No 1.30	Lr 1.30	

Heuslerova zliatina – Ni_2NbSn

#26	T_c (K)	#27	T_c (K)	#28	T_c (K)	#29	T_c (K)
YPd ₂ In	0.85 (Ref. 13) 1.04 (Ref. 18)	ScPd ₂ Sn	2.0 ^a 2.05 (Ref. 34) 3.72 (Ref. 13) 4.55 (Ref. 34) 4.7 ^a 5.5 (Ref. 35)	YAu ₂ In	1.74 (Ref. 18)	NbNi ₂ Sn	2.9 (Ref. 19) 3.4 (Ref. 18)
		YPd ₂ Sn		ScAu ₂ Al	4.4 (Ref. 36)		
		LuPd ₂ Sn	2.8 ^a 3.05 (Ref. 34)	ScAu ₂ In	3 (Ref. 36)		
		TmPd ₂ Sn	2.82 (Ref. 34)	YPd ₂ Sb	0.85 (Ref. 13)		
		YbPd ₂ Sn	2.46 (Ref. 20)	NbNi ₂ Al	2.15 (Ref. 19)		
		ErPd ₂ Sn	1.17 (Ref. 15)	NbNi ₂ Ga	1.54 (Ref. 19)		
		ZrPd ₂ Al	3.2 (Ref. 37) 3.4 ^a				
		ZrPd ₂ In	2.19 ^a 3.1 (Ref. 37)				
		HfPd ₂ Al	3.66 ^a 3.8 (Ref. 37)				
		HfPd ₂ In	2.4 (Ref. 37) 2.86 ^a				
		ZrNi ₂ Ga	2.9 (Ref. 25)				
		ZrNi ₂ Al	1.38 (Ref. 18)				
		HfNi ₂ Ga	1.12 (Ref. 18)				
		HfNi ₂ Al	0.74 (Ref. 18)				
		ScPd ₂ Pb	2.4 (Ref. 17)				
		YPd ₂ Pb	2.3 (Ref. 17) 4.76 (Ref. 13)				
		TmPd ₂ Pb	2.1 (Ref. 17)				
		YbPd ₂ Pb	2.8 (Ref. 17)				
		LuPd ₂ Pb	2.4 (Ref. 17)				

- jedna z najvyšších T_K (3,4 K) spomedzi feromagnetických supravodivých Heuslerov

The background of the slide is a dark, almost black, field filled with a complex, interconnected network of thin white lines. These lines connect numerous small white dots, creating a web-like or molecular structure that spans the entire frame. The density of the connections varies, with some areas appearing more clustered than others.

Experimentálna časť

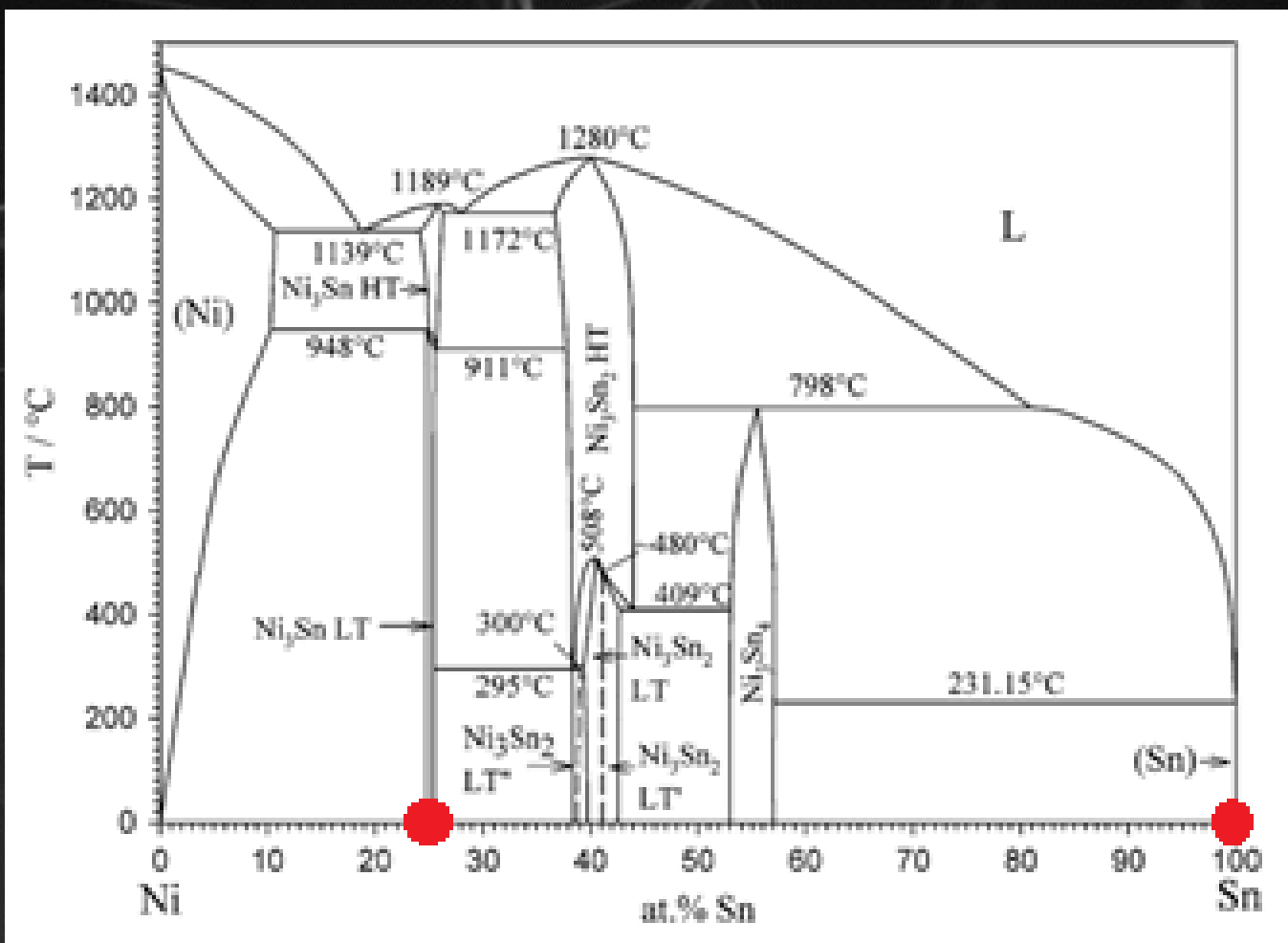
Príprava a výroba materiálu

PRVOK	ČISTOTA PRVKU
Ni	99,95+ %
Nb	99,8 %
Sn	99,9 %

oblúčková pec



Príprava a výroba materiálu



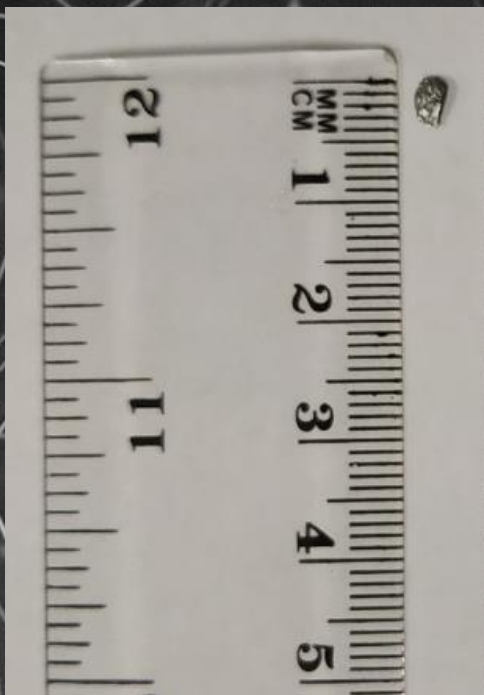
- pripravených 10 g
- blízke teploty tavenia Nb (2648 °C) a vyparovania Sn (2602 °C) → Ni_3Sn
- zníženie strát Sn



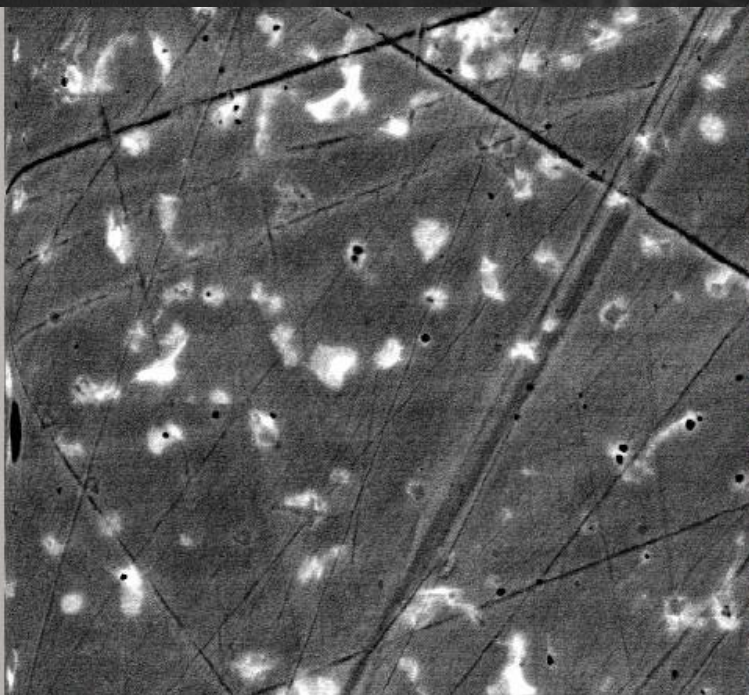
Zastúpenie prvkov

Prvok	Teoretické %	Experimentálne %
Ni	50,00	51,65
Nb	25,00	23,38
Sn	25,00	24,97

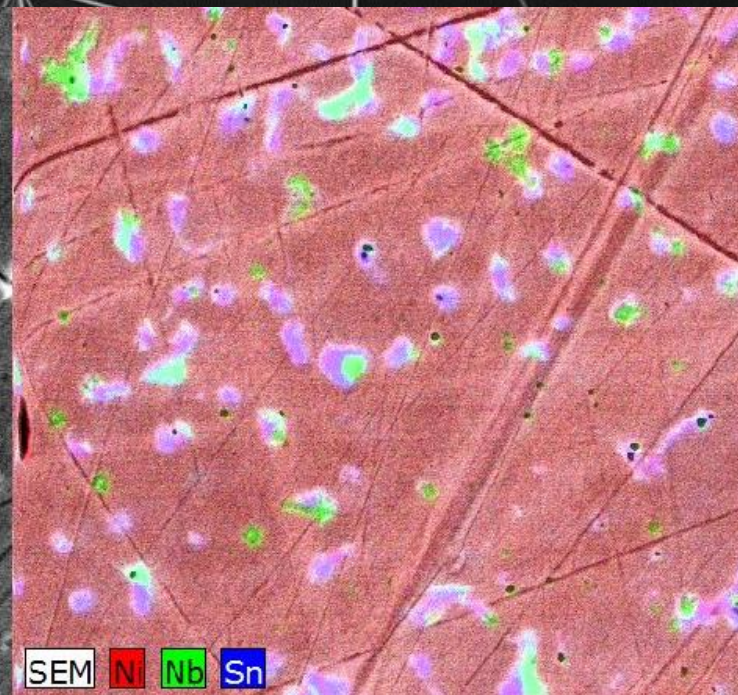
vzorka



fotka povrchu (SEM)

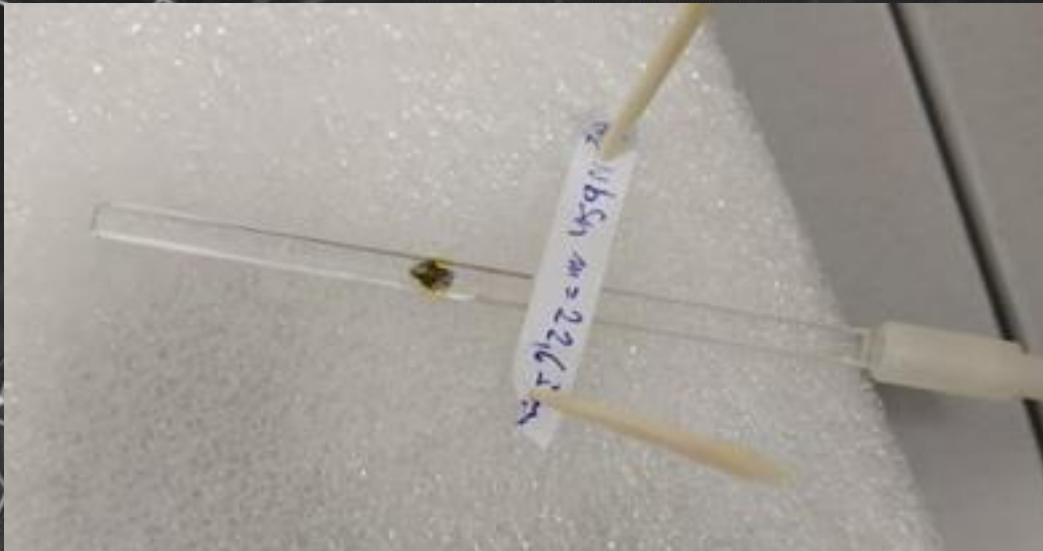


EDX analýza



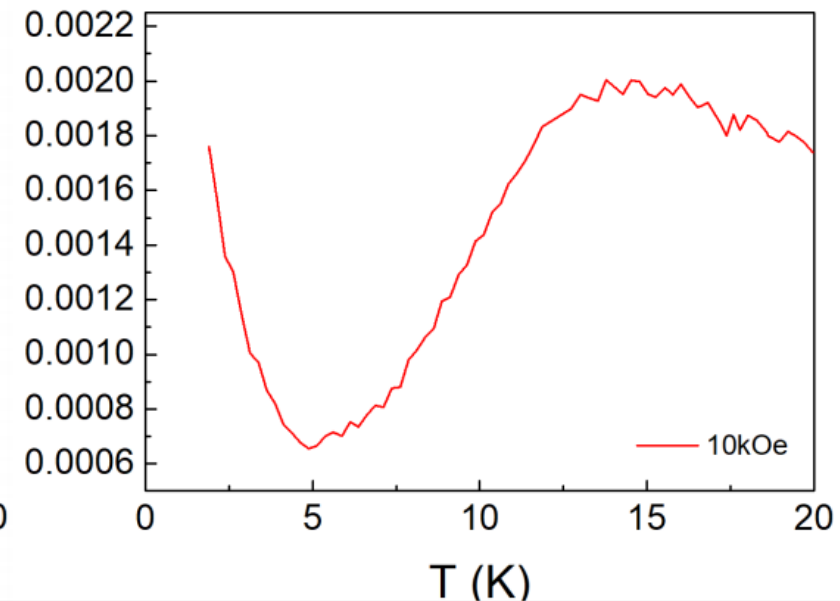
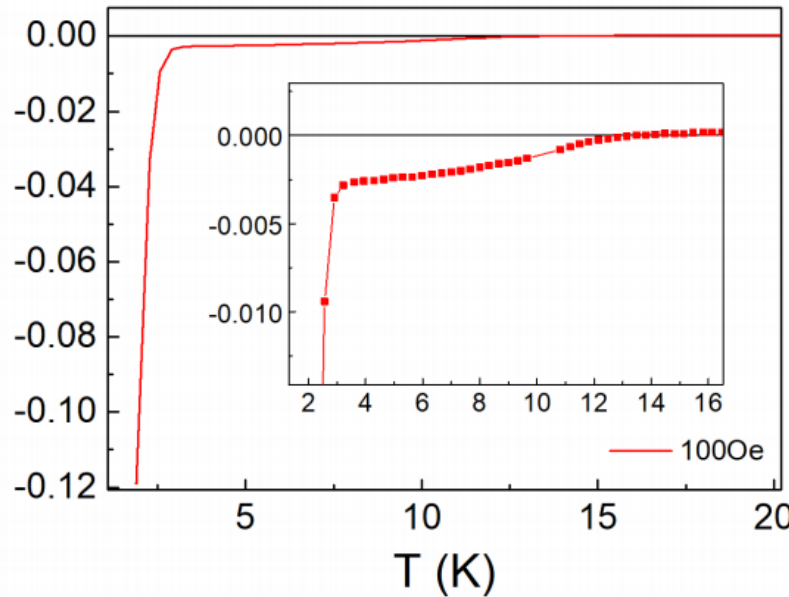
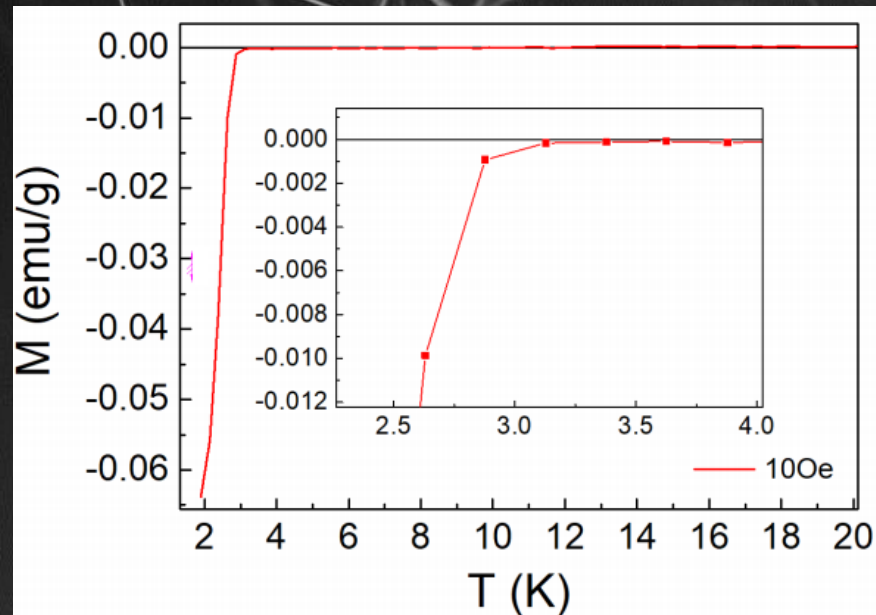
Magnetické merania

- merania v mag. poliach do 140 kOe
- teplotne rozmedzie 1,8 K – 400 K
- PPMS DynaCool s funkciou VSM

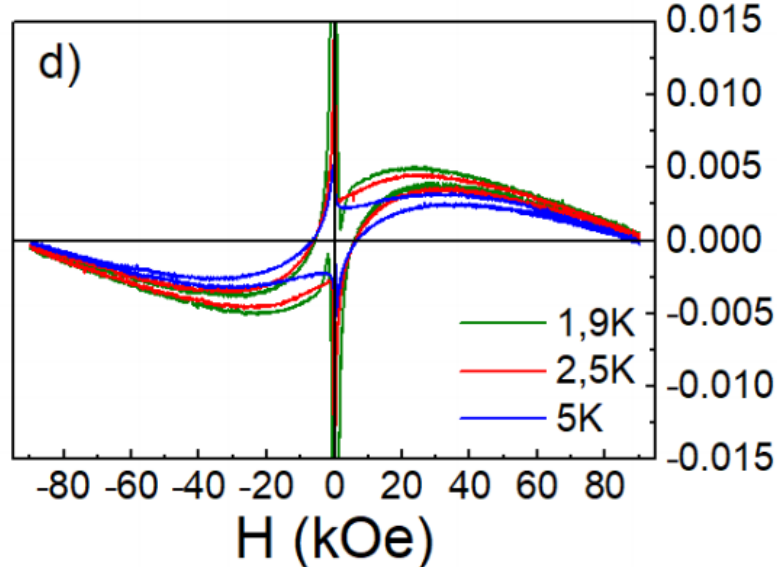
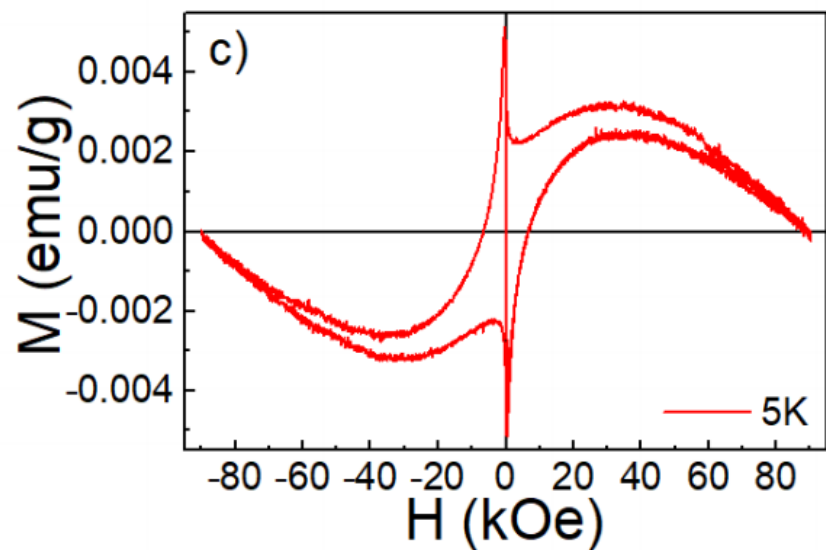
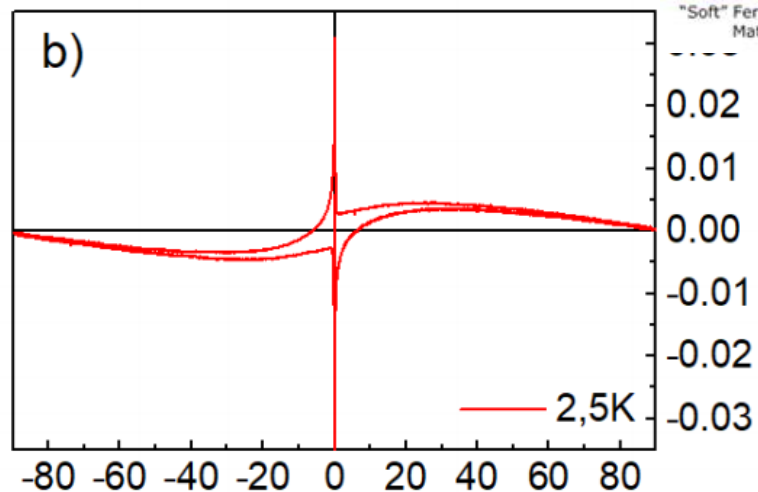
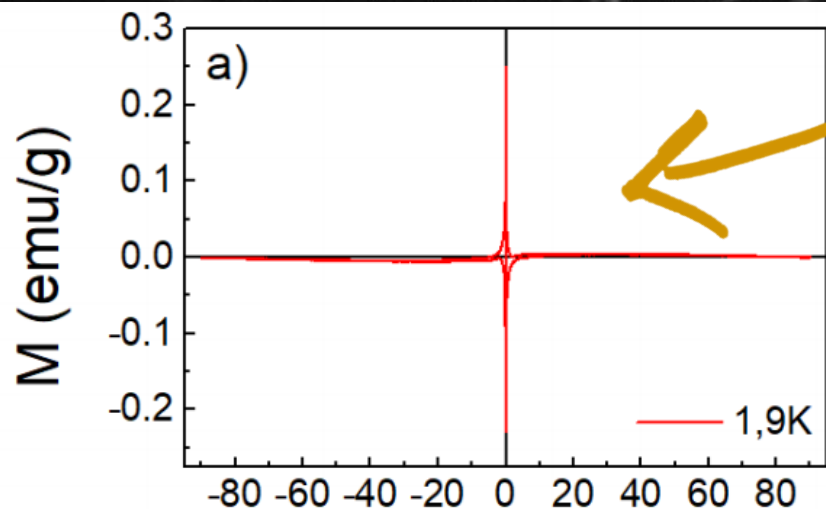
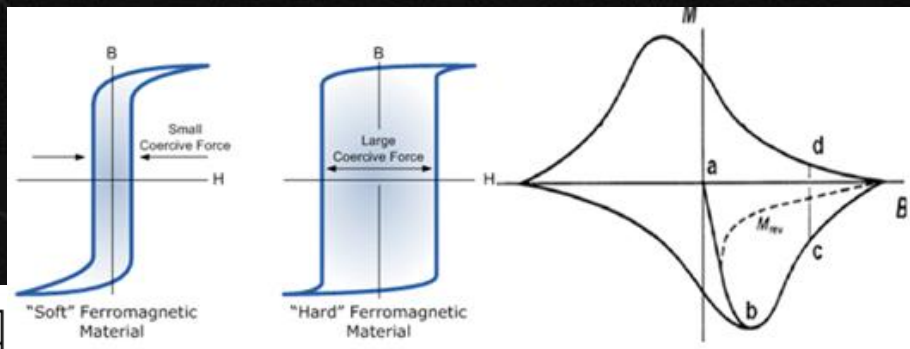


Magnetizácia ako funkcia teploty

- $T_K = 3,1 \text{ K}$
- diamagnet
- pokles pri 15 K?
- úplný pokles pri $T_K = 2,8 \text{ K}$
- 2,5 K – 5 K fero + diamagnet
- 5 K – 15 K diamagnet -> paramagnet

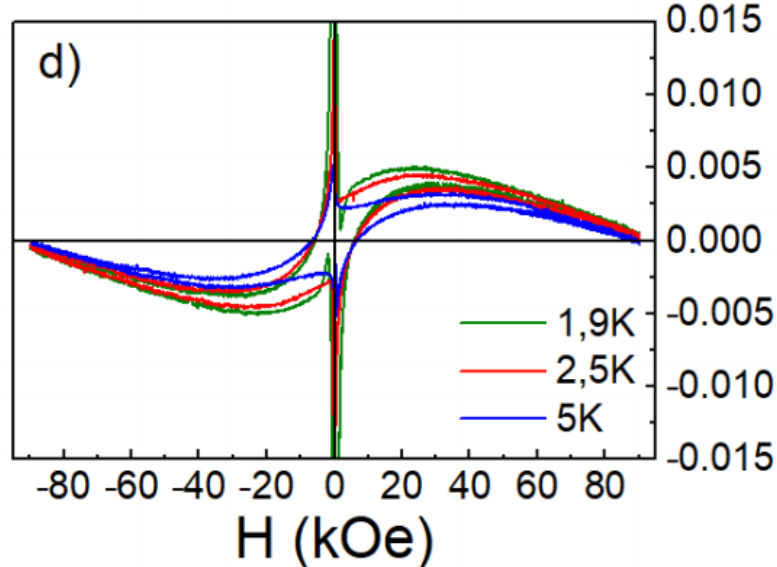
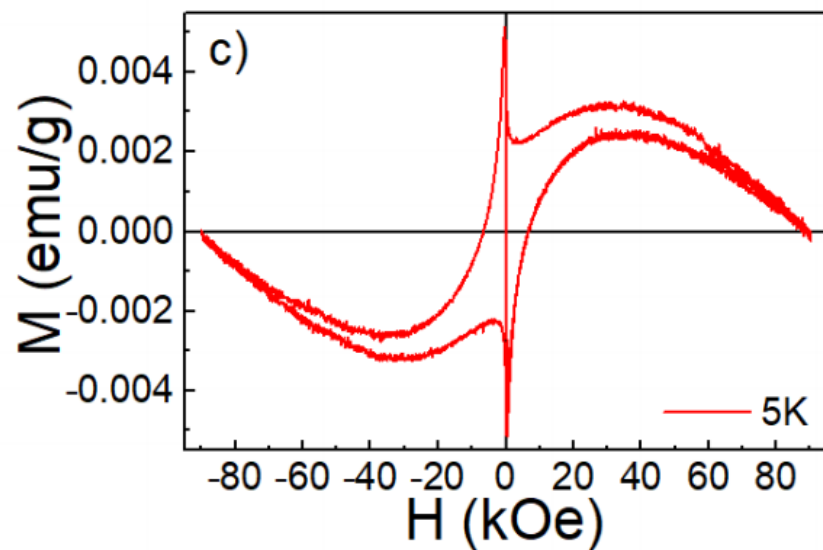
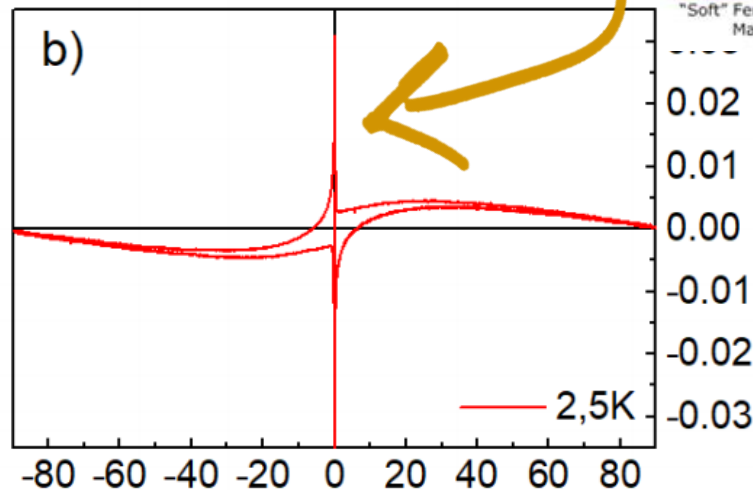
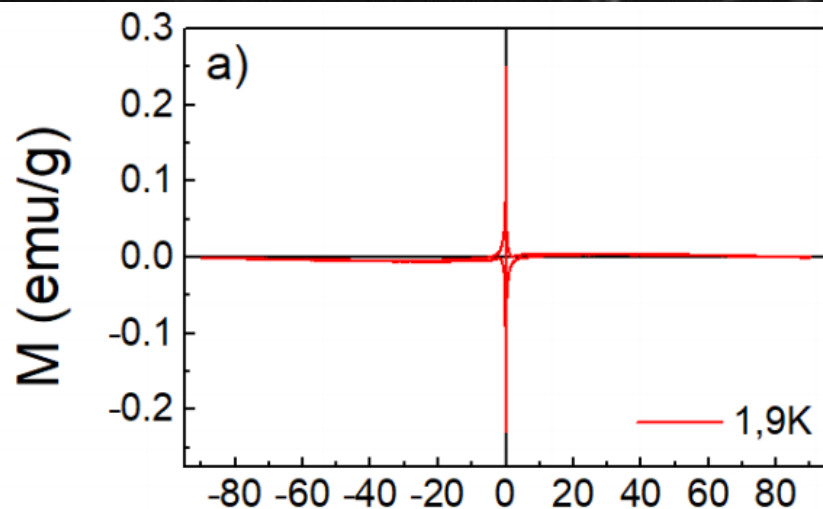
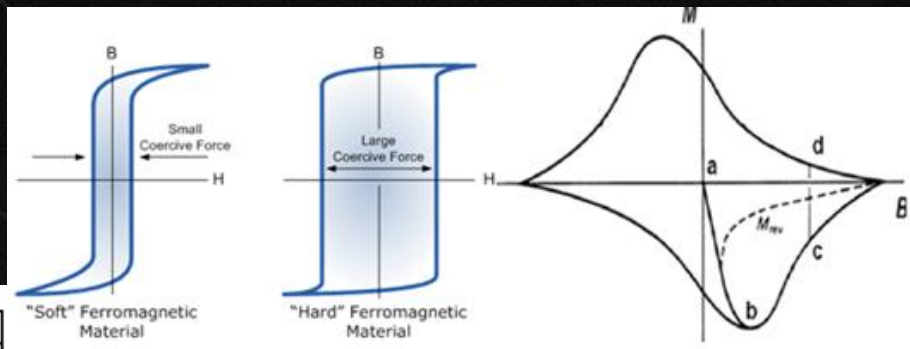


Hysterézne slučky



- a) • supravodič
- feromagnet potlačený

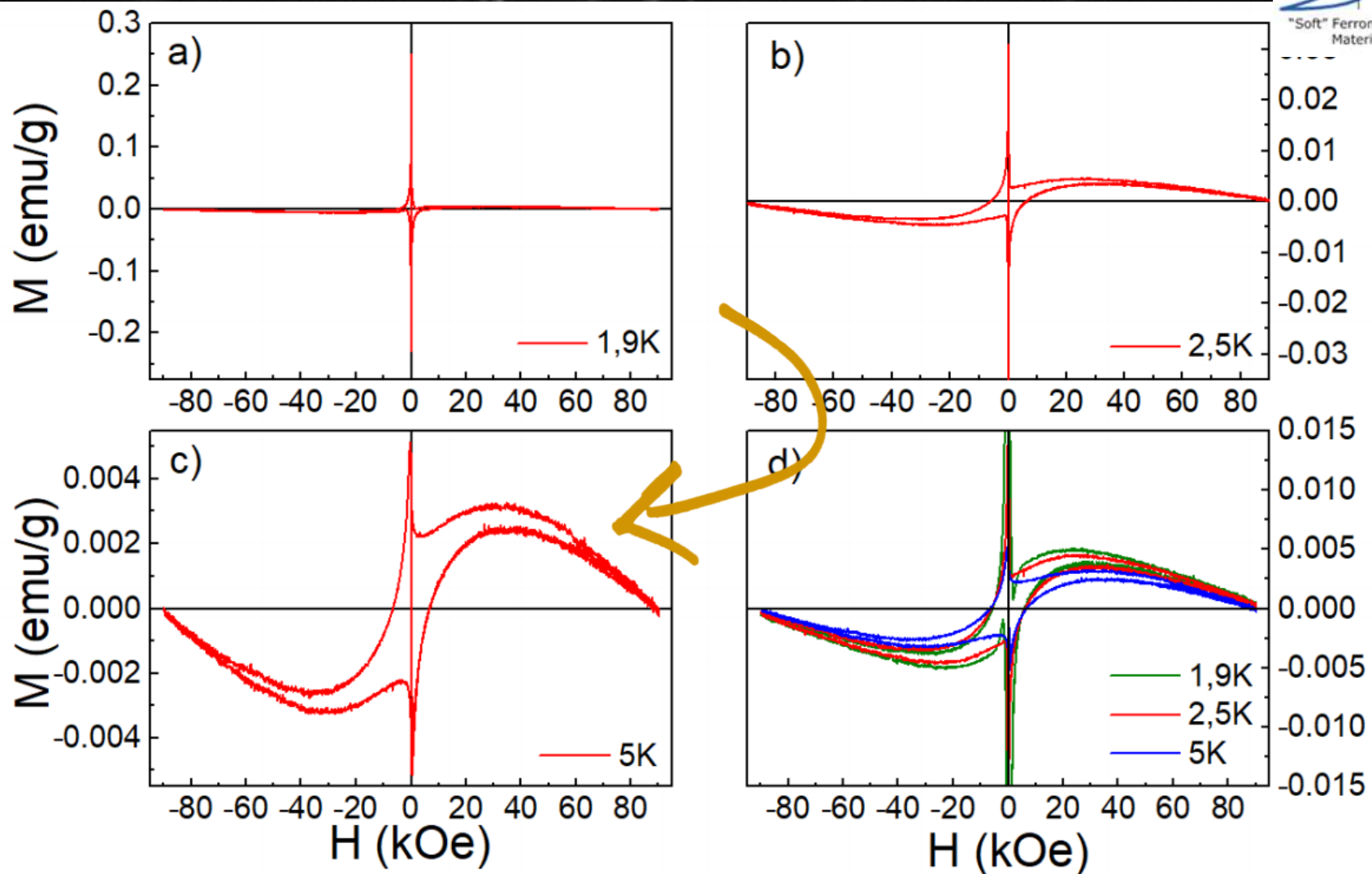
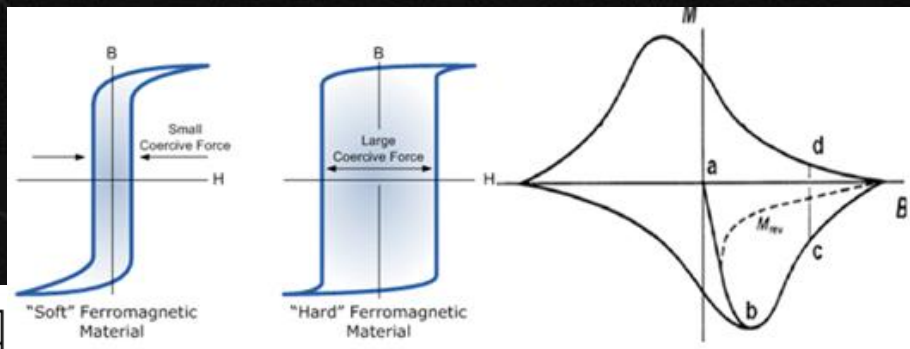
Hysterézne slučky



b)

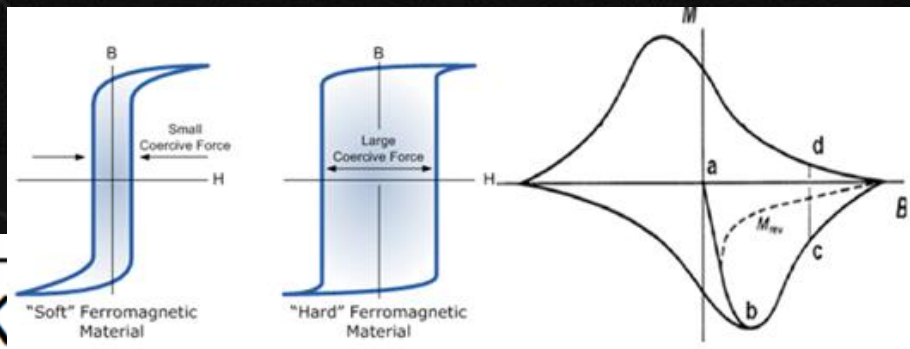
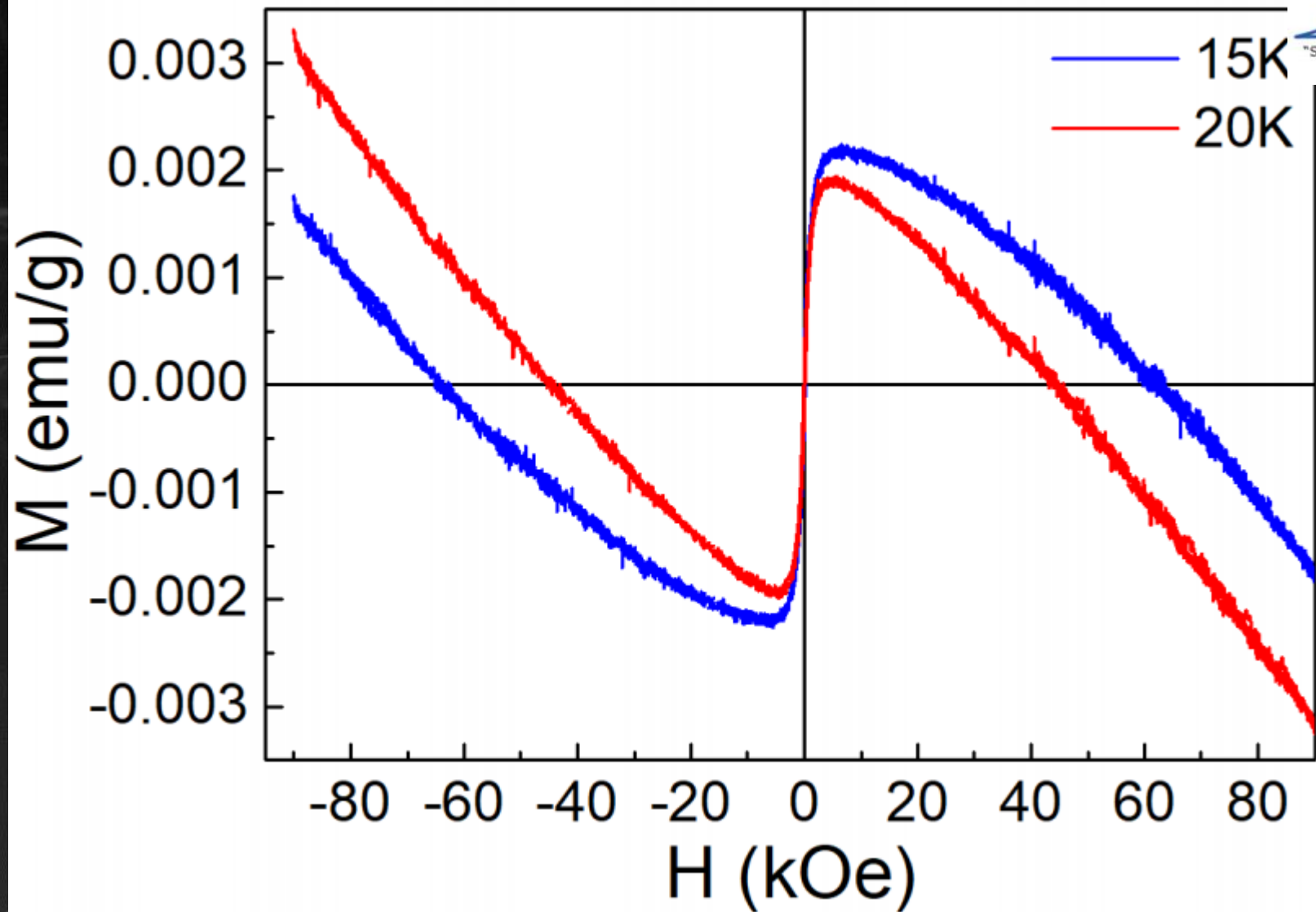
- strata supravodivosti
- výraznější feromagnetizmus

Hysterézne slučky



- c) výraznejší feromagnetizmus
 - potláčaná supravodivosť
- ## SUPRAVODIVOSŤ PRI 5 K?

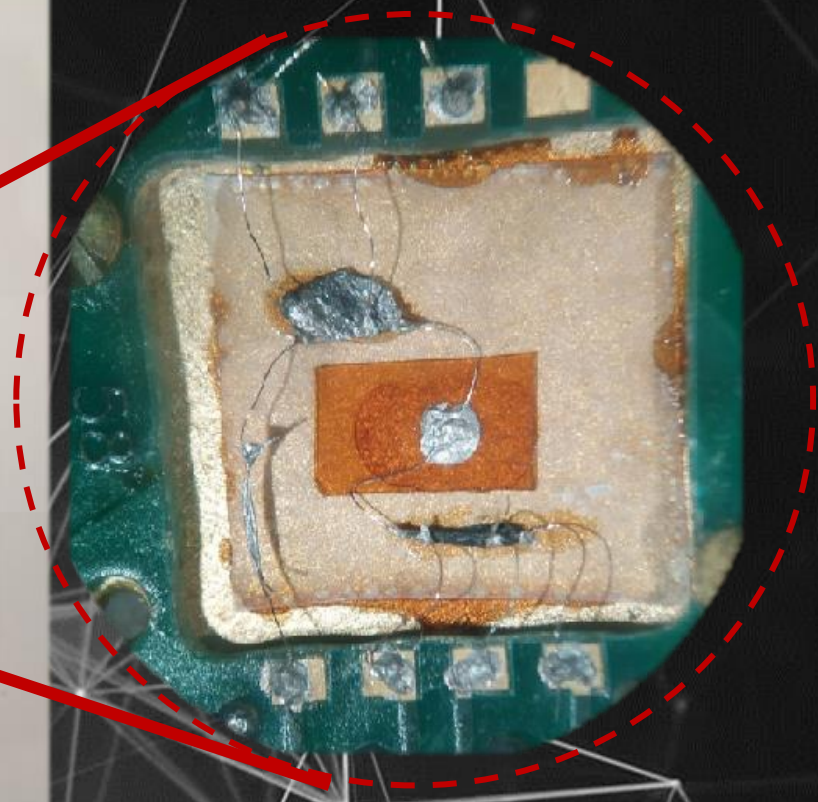
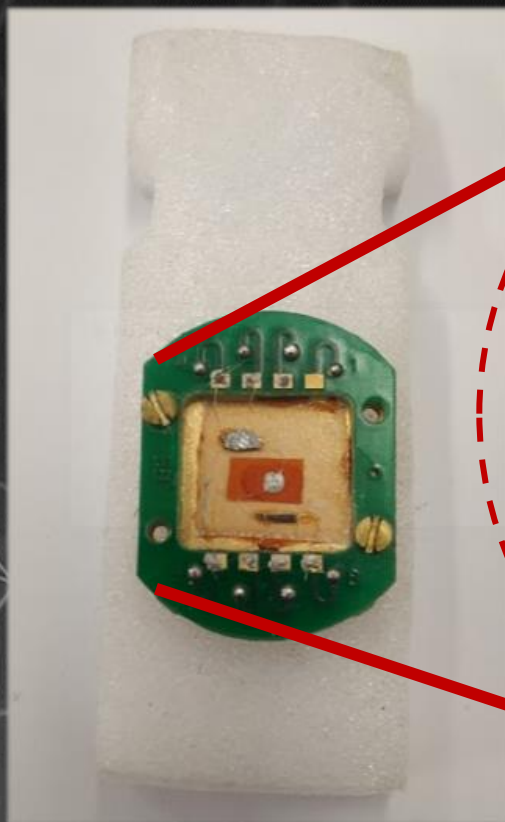
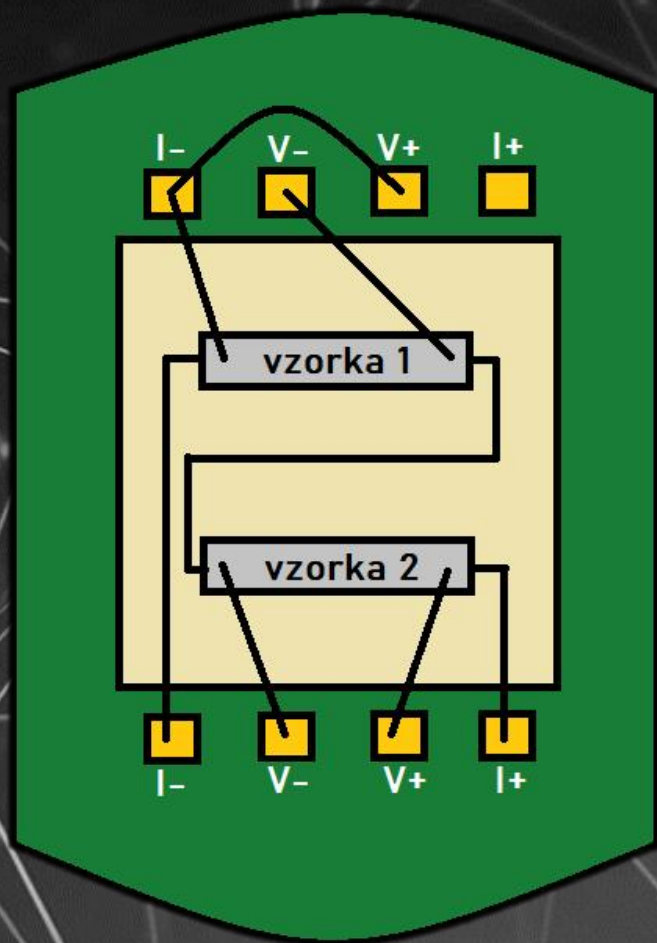
Hysterézne slučky



- paramagnet
- prekročenie T_c a T_K

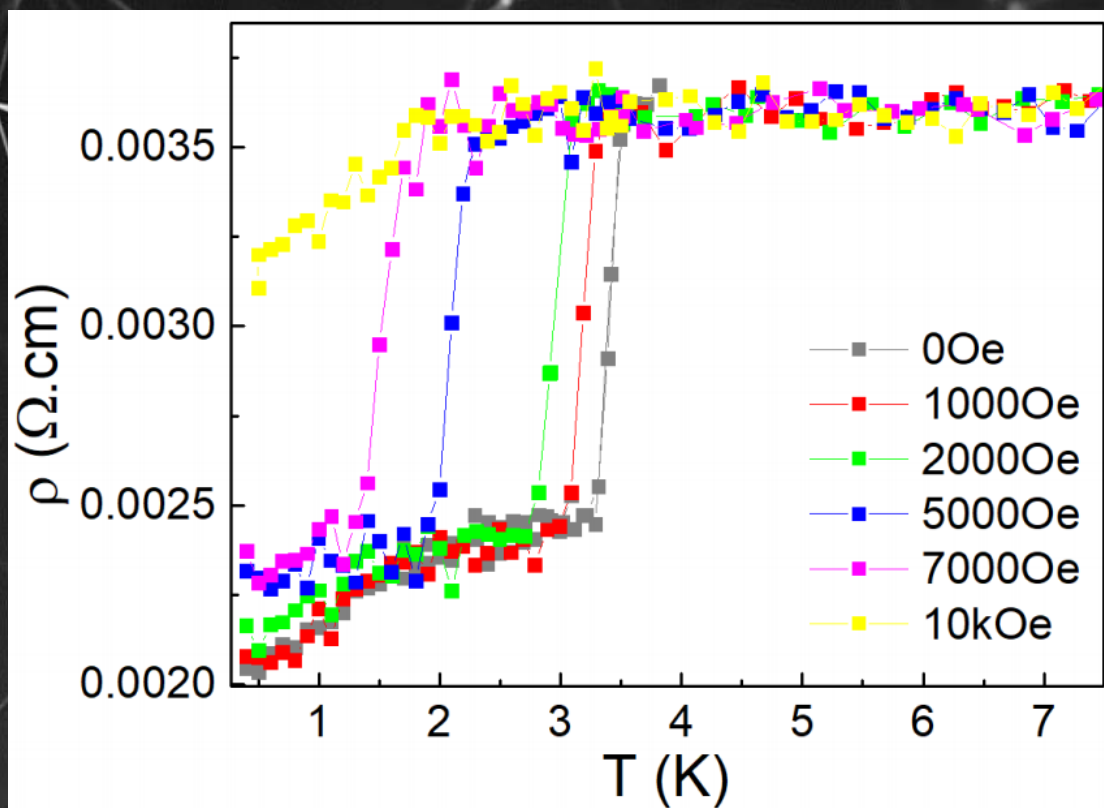
Merania odporu

- PPMS, do 0,4 K pri vonkajšom magnetickom poli 0 – 90 kOe

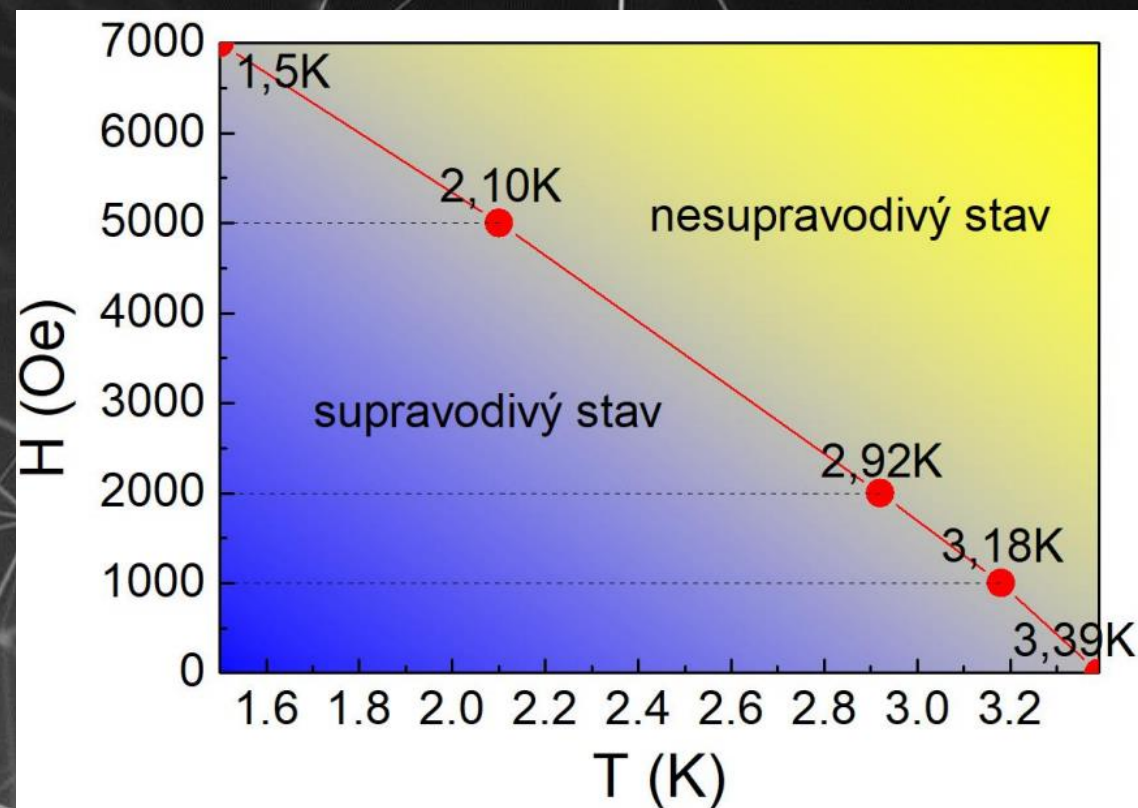


Merania odporu

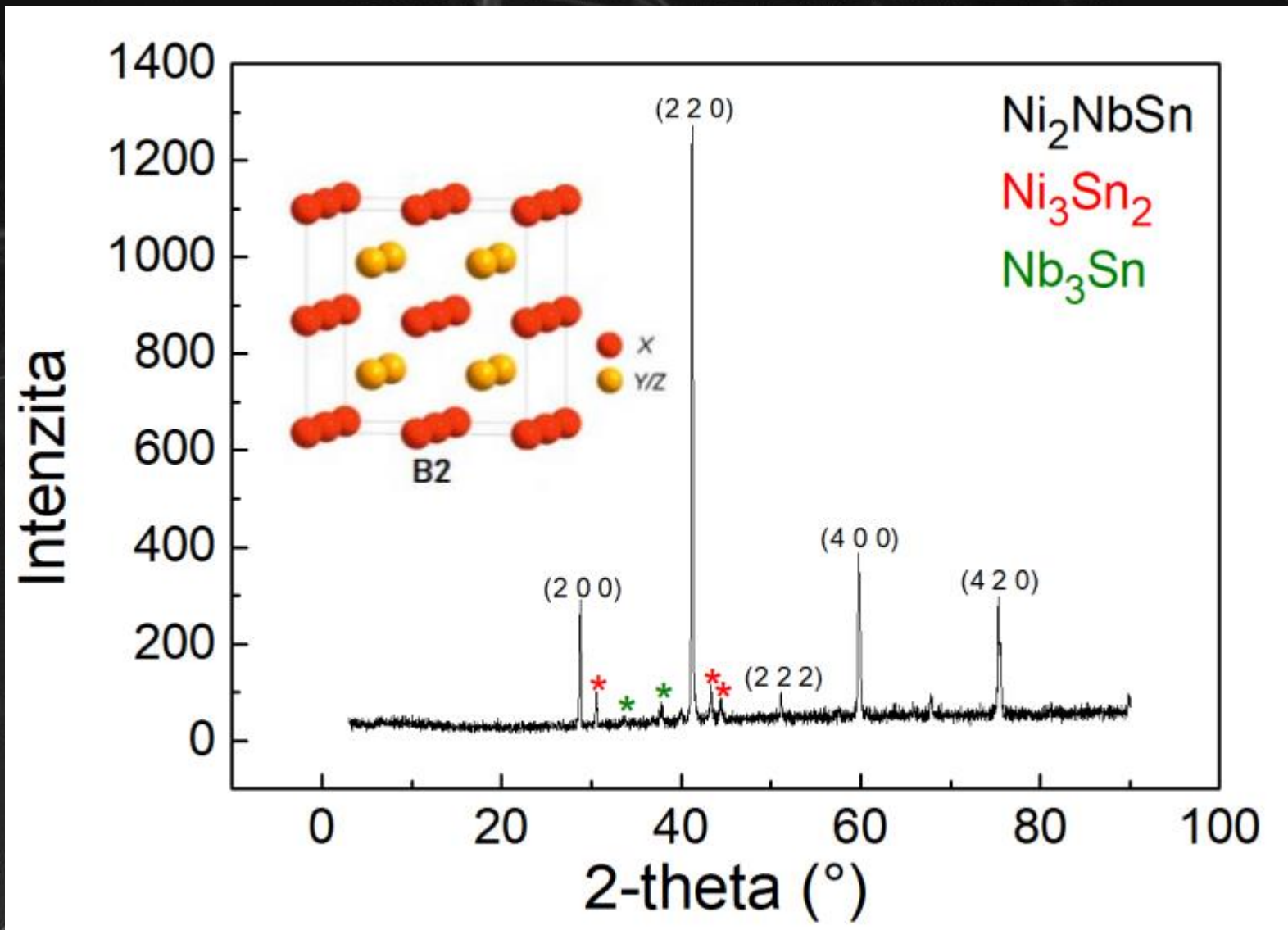
- supravodivý materiál
- kritická teplota – inflexný bod



- fázový diagram



Röntgenova difrakčná analýza



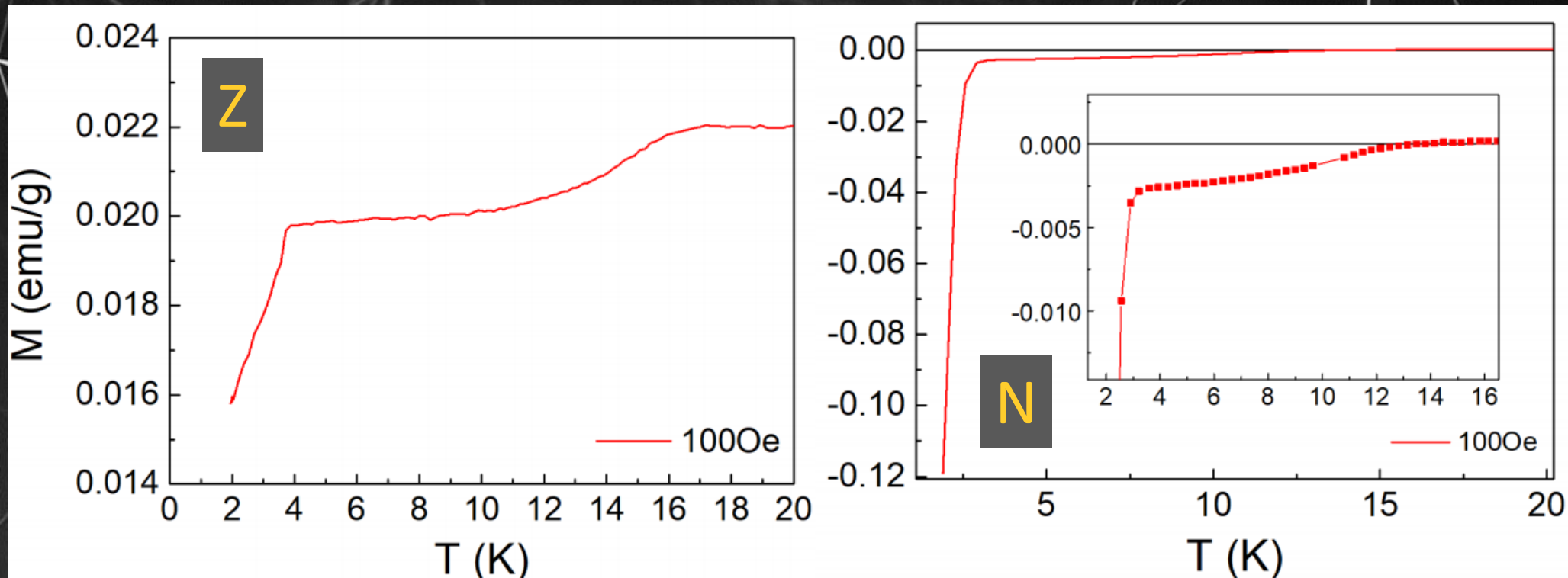
- jedna majoritná fáza – Ni_2NbSn
- kryštalická štruktúra – B2
- 5 % nečistoty – Nb_3Sn , Ni_3Sn_2



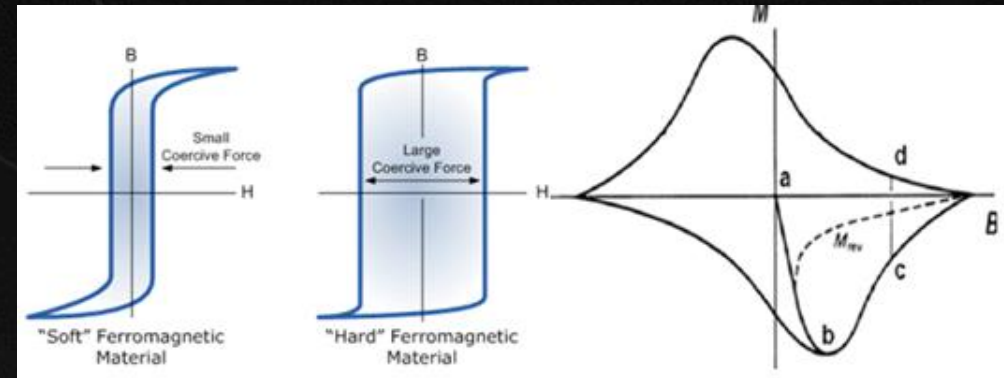
Žíhanie (800 K, 6 hod.)

Magnetizácia ako funkcia teploty

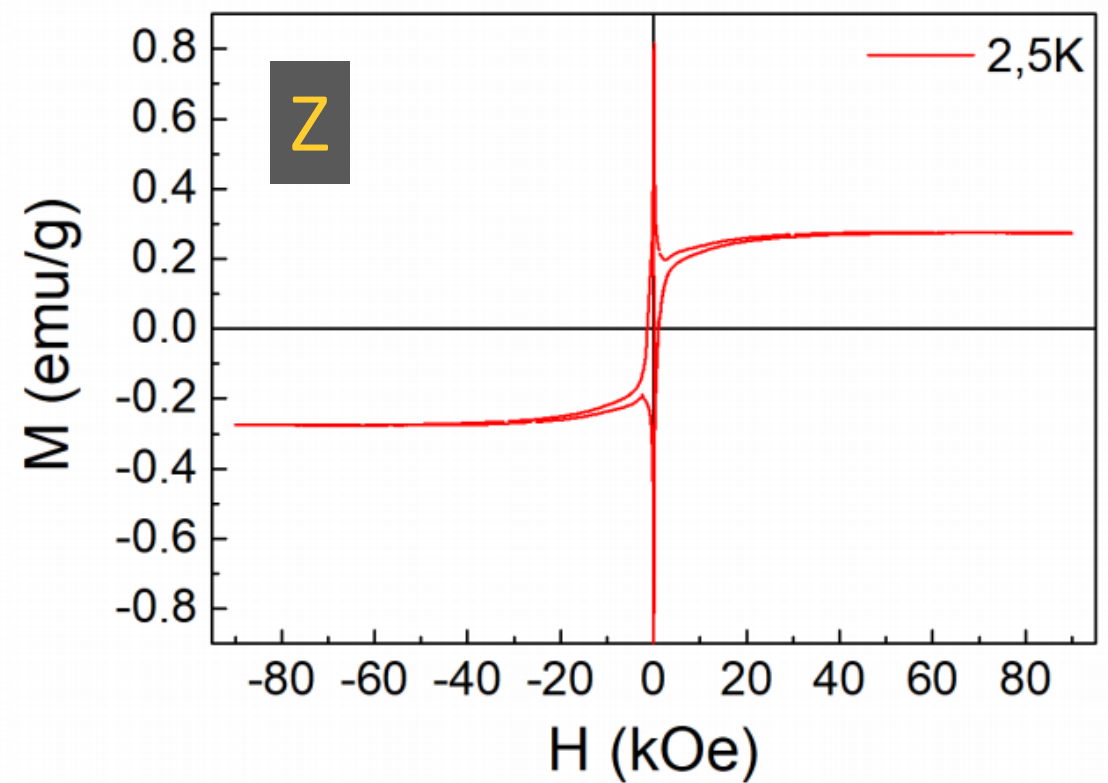
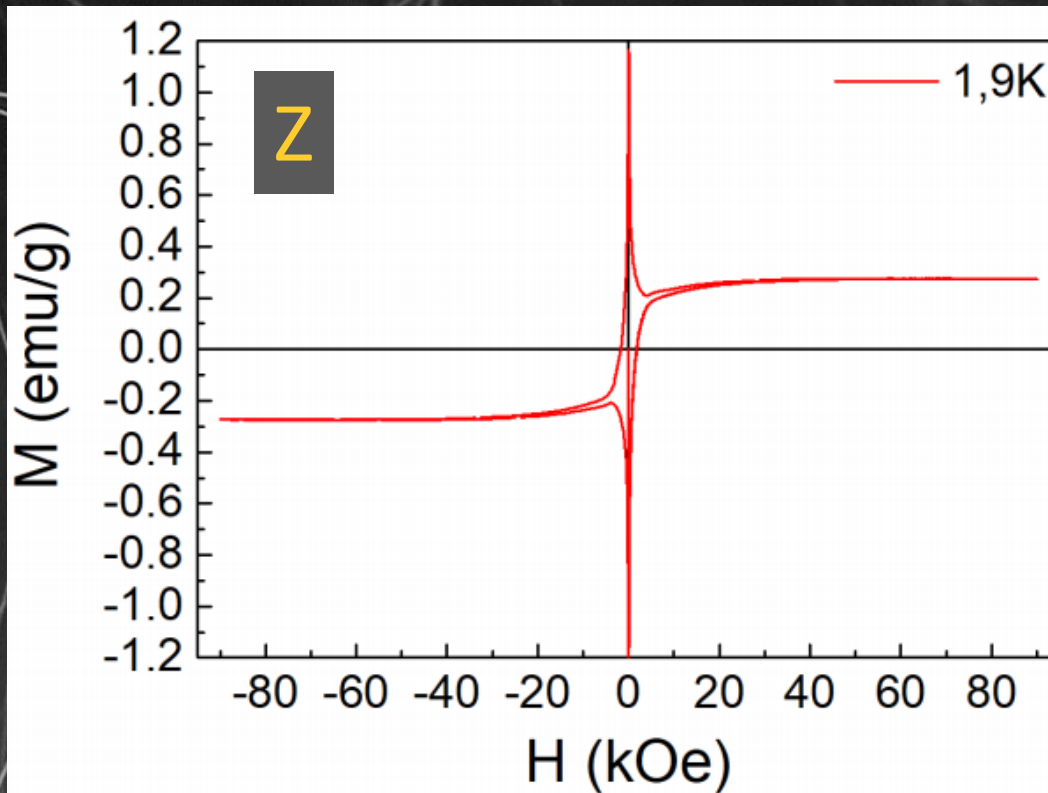
- mierny pokles magnetizácie už pri teplote 17 K
- úplný pokles pri teplote 3,8 K $\rightarrow$ posun T_K oproti pôvodnej 2,8 K?



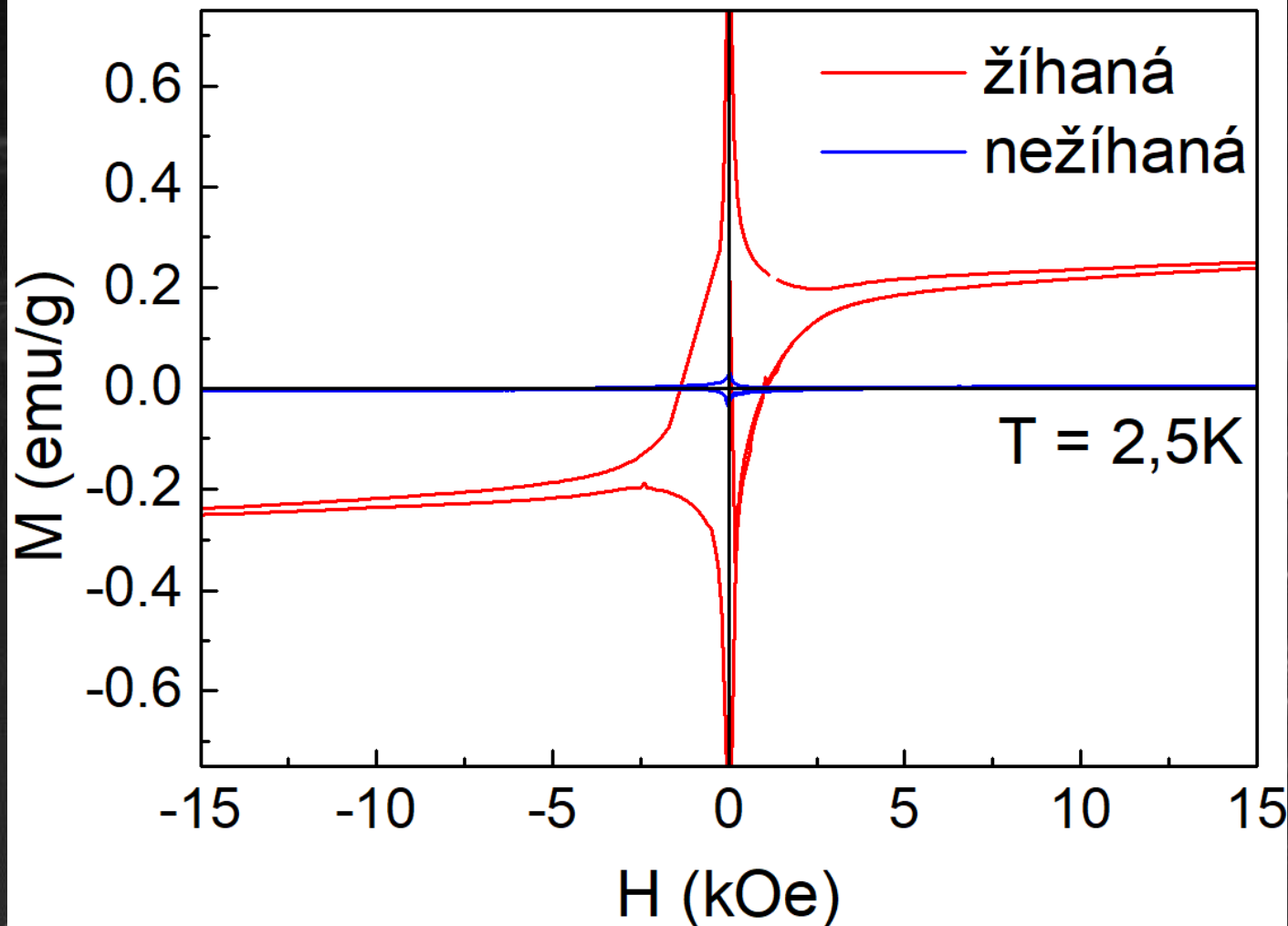
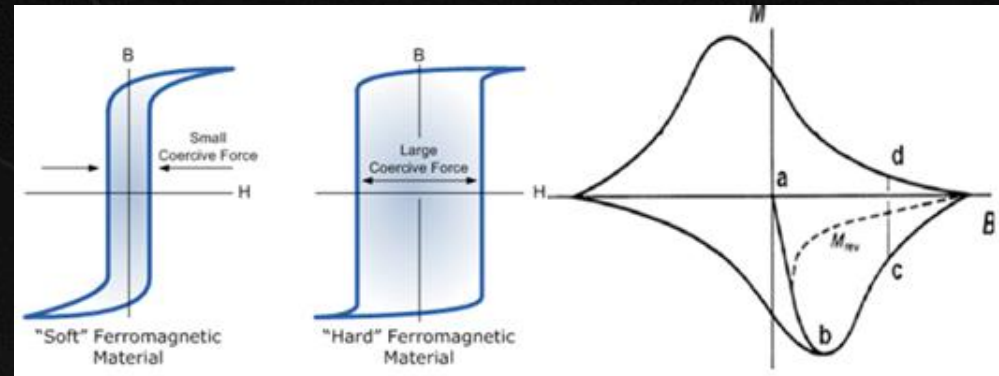
Hysterézne slučky



- viditeľná homogenizácia materiálu

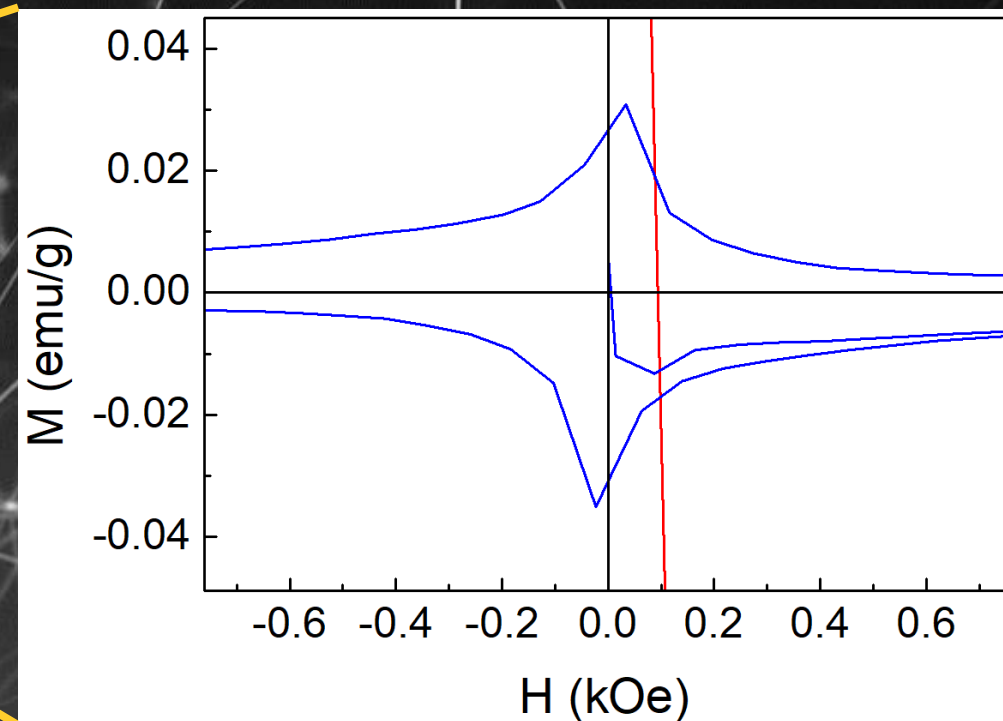
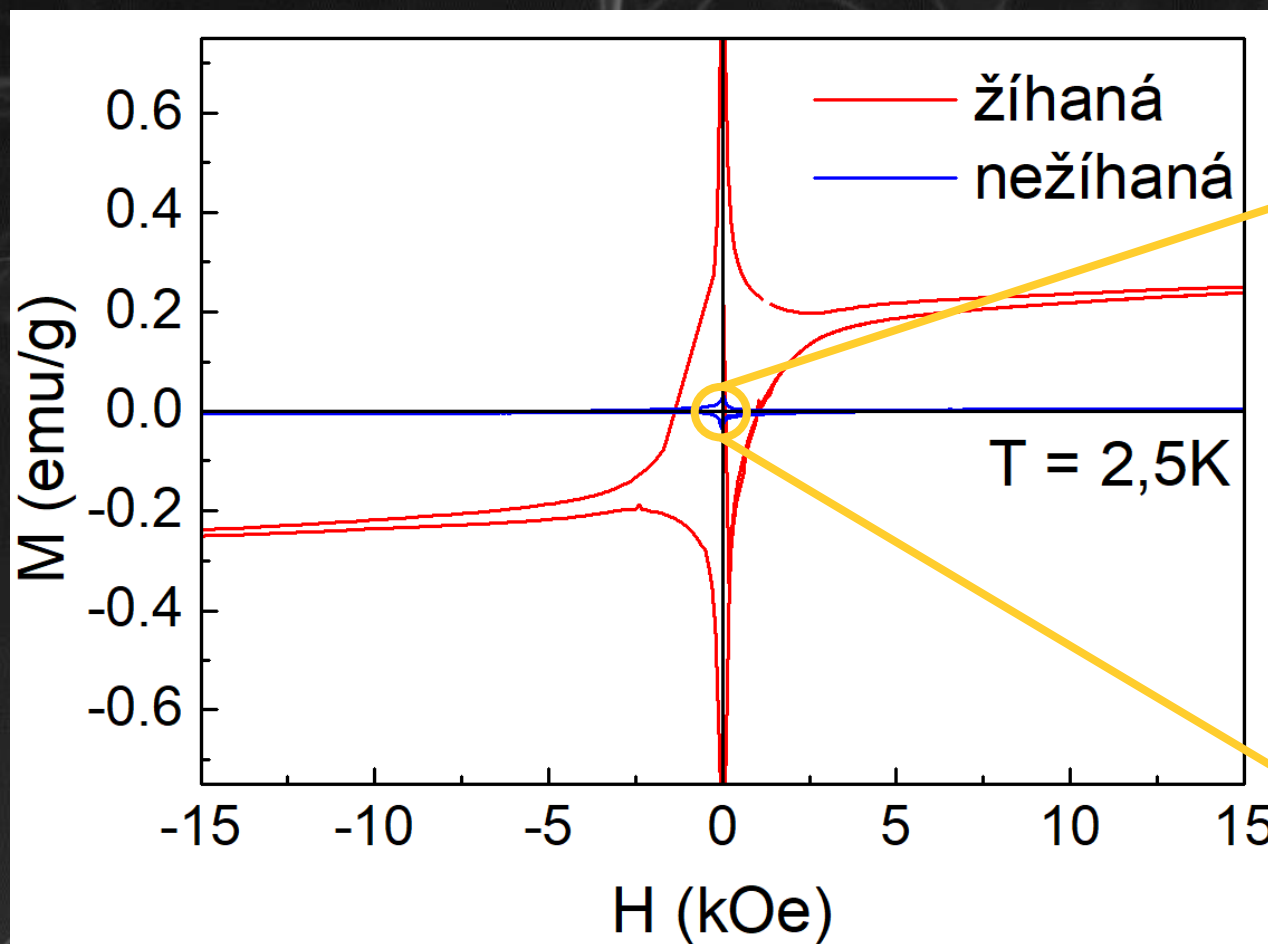
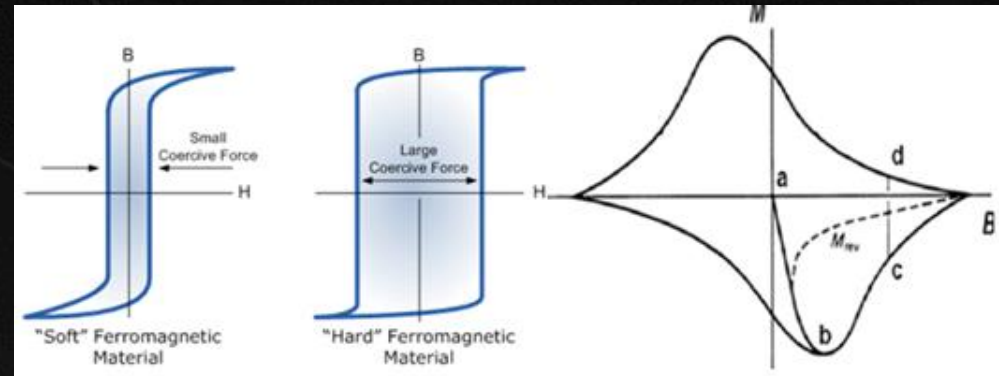


Hysterézne slučky



- výrazné zlepšenie supravodivých a feromagnetických vlastností

Hysterézne slučky



Záver

- poukázali sme na koexistenciu supravodivosti a feromagnetizmu v zliatine Ni_2NbSn
- zostrojili sme fázový diagram zliatiny
- jedná sa o jednofázový systém s nečistotami (cca 5 %) s kryštalickým usporiadaním B2
- žíhaním sme homogenizovali materiál a vylepšili jeho vlastnosti

Ciele do budúcnosti

- zostrojiť fázový diagram žíhanej vzorky
- Röntgenova difrakčná analýza žíhanej vzorky
- zdvihnúť kritickú teplotu nad kritickú teplotu tekutého hélia
 - dopovaním – zmena veľkosti kryštalickej mriežky
 - chemické zloženie
- dôkladne porozumenie tohto javu – neviditeľný plášť?



Ďakujem za pozornosť!

