

## 7. ČESKO-SLOVENSKÁ STUDENTSKÁ VĚDECKÁ KONFERENCE VE FYZICE



# Studium martensitické transformace pomocí různých fyzikálních metod

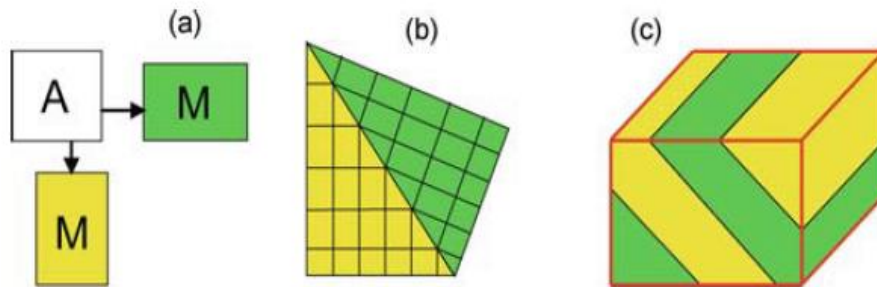
Bc. Petr Veřtát



# Martensitická fázová transformace

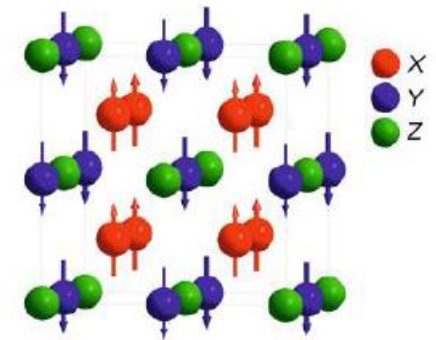
- jev magnetické tvarové paměti - tzv. *obří* magneticky indukované napětí pozorované v Heuslerových slitinách (ternární látky složení  $X_2YZ$  charakterizované čtyřmi do sebe vloženými fcc mřížkami)
- magneticky indukovaná strukturní fázová transformace (obvykle tzv. martensitická transformace) a magnetismem způsobená strukturní reorientace v nízkoteplotní fázi látky
- martensitická transformace
  - bezdifuzní strukturní fázová transformace projevující se homogenní deformací krystalové mřížky
  - austenitická fáze (kubická) -> martensitická fáze (nižší symetrie)
  - lze ji způsobit teplotou, tlakem, mag. polem
  - termoelastická transformace, prvního druhu
  - napětí -> vznik různých typů krystalografických domén (variant dvojčet)

# Martensitická fázová transformace



schematické znázornění vzniku zdvojitělé struktury

- Možnosti studia martensitické transformace
  - diferenční skenovací kalorimetrie
  - měření rezistivity
  - měření magnetických vlastností
  - strukturní rentgenografie
  - dilatační měření



dvě mag. podmříže  
Heuslerových slitin



# Měřené vzorky

	označení vzorku	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$c$ [mm]
Ni–Mn–Ga	207	19,61	2,42	0,92
	331	10,37	2,32	0,95
Co–Ni–Al:Ti 1:1	150902	10,00	2,00	2,00
Cu–Al–Ni	vz. 1	10,00	2,00	2,00
Al	1	20,00	2,00	1,50
	2	10,00	2,00	1,50

- Ni-Mn-Ga – spolupráce s Aalto University v Helsinkách
- stechiometrické složení vz. 331  $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{28,2}\text{Ga}_{21,8}$ , vz. 207 blízké  $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{28}\text{Ga}_{22}$  s 1-2% dopací železem
- nově připravený polykrystalický vzorek slitiny Co-Ni-Al:Ti v poměru 1:1 vytvořený metodou SPS (plasmové spékání) a slitiny Cu-Al-Ni.
- objemové vzorky hliníku pro testovací měření

# Experimentální vybavení

- FZÚ AV ČR
- SR830 DSP Lock-In Amplifier
- PP102 V-Controlled Current Source
- PP560 Low-Noise Preamplifier
- Andeen-Hagerling 2550A Bridge
- Keithley 195A Digital Multimeter
- Delta Power Supply
- Ohřev vzorků
- Uzpůsobení pro nízkoteplotní měření

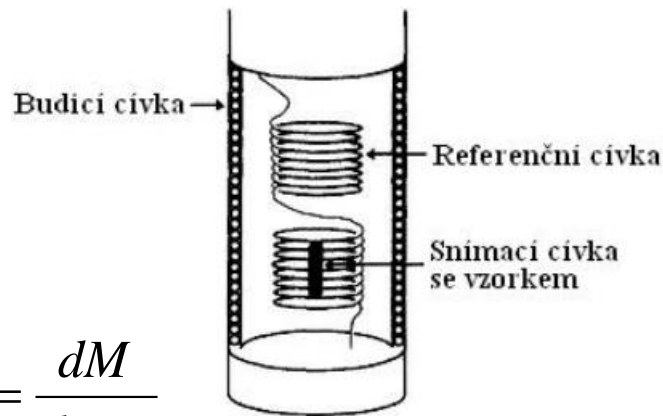
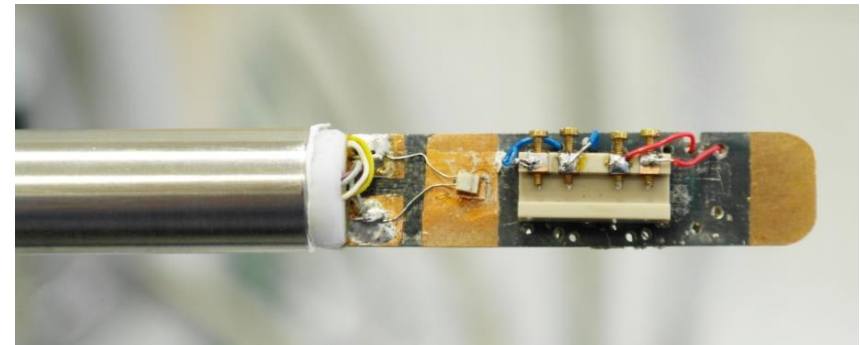


# Měření AC mag. susceptibility a rezistivity

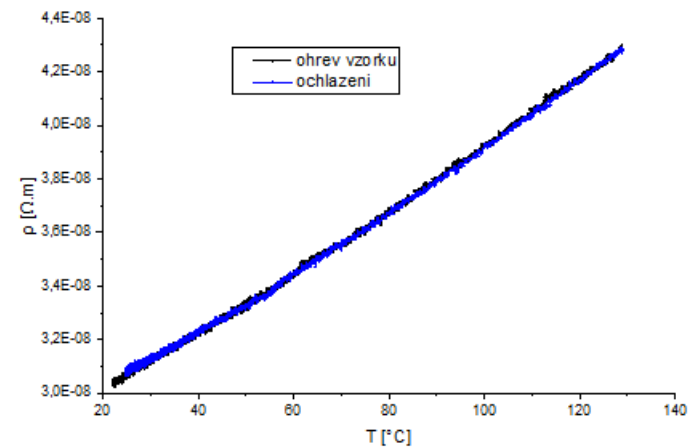
soustava cívek



čtyřbodová metoda

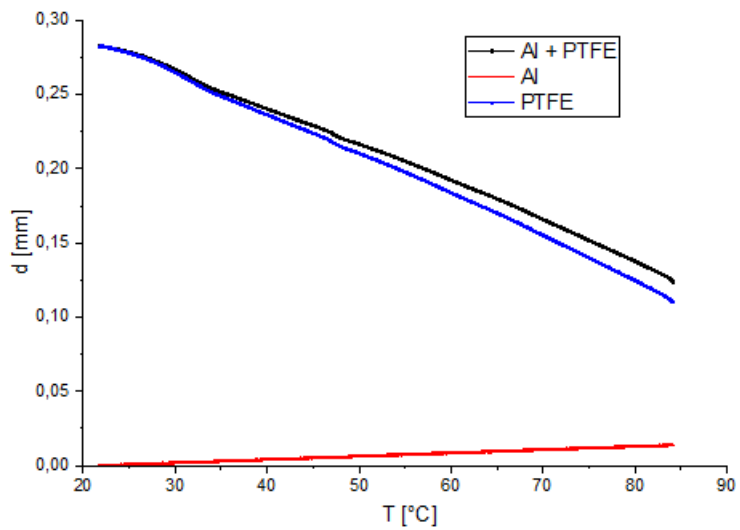
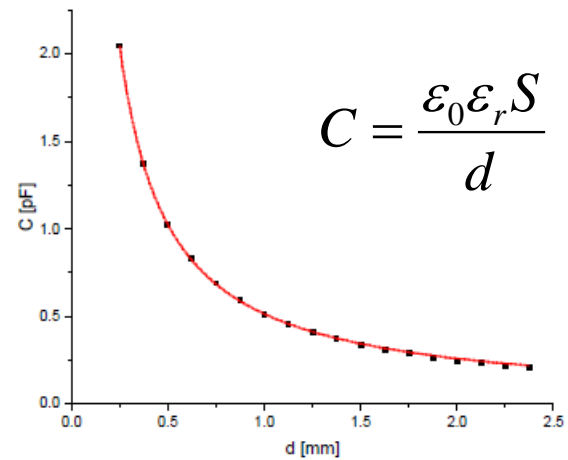
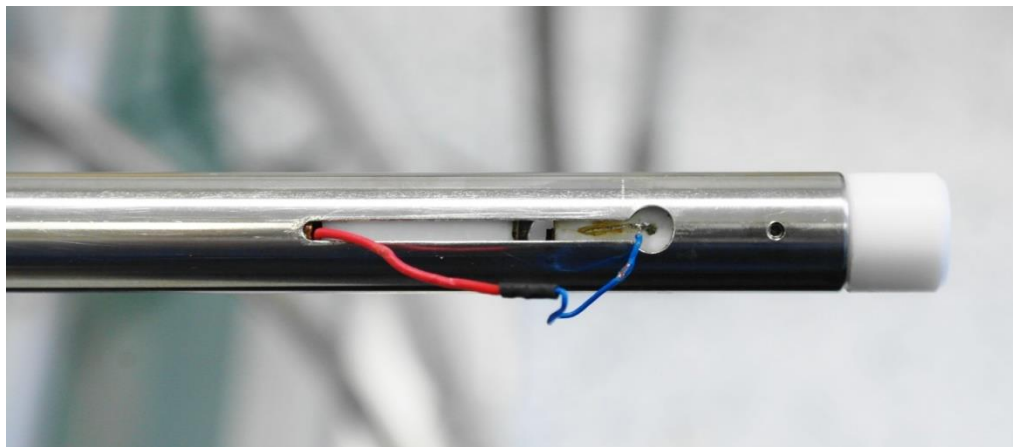


$$\chi = \frac{dM}{dH_{AC}}$$



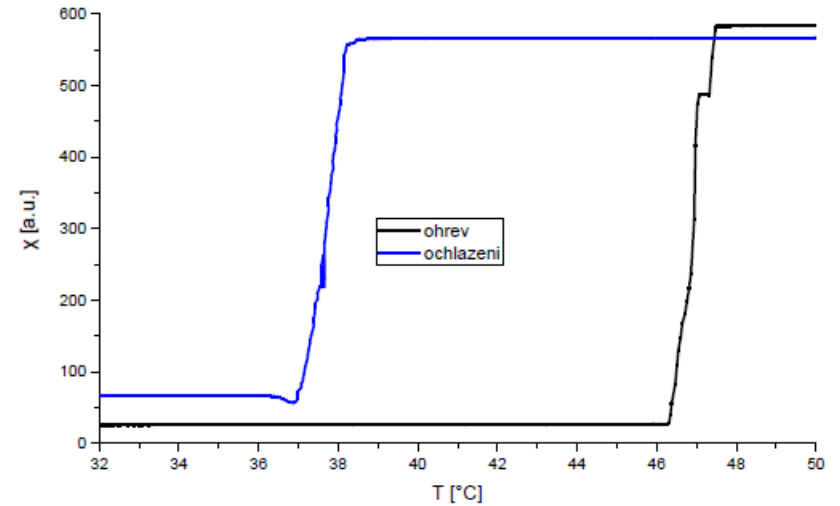
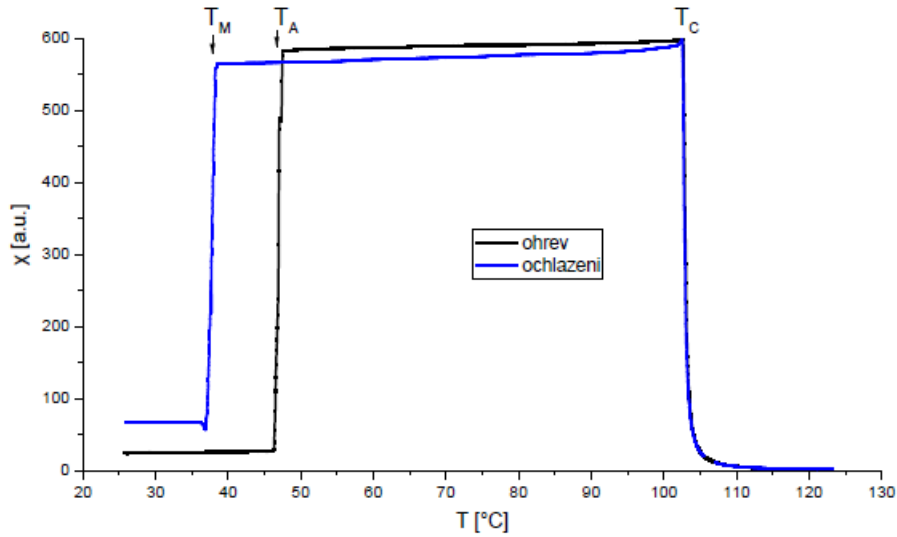
teplotní závislost rezistivity hliníku

# Dilatační měření

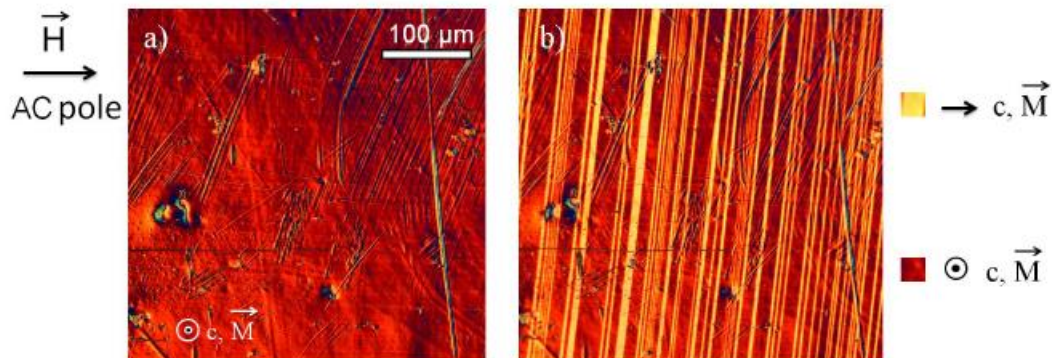




# Ni-Mn-Ga: vzorek 331



Teplotní závislost AC magnetické susceptibility + detail v oblasti přechodu

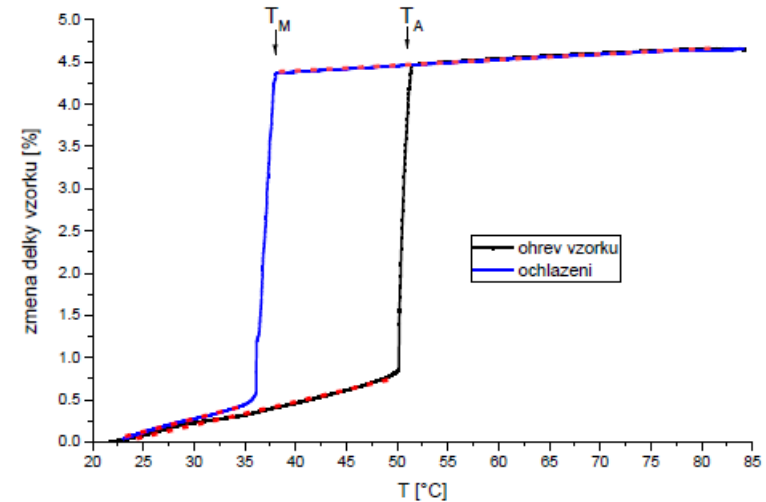
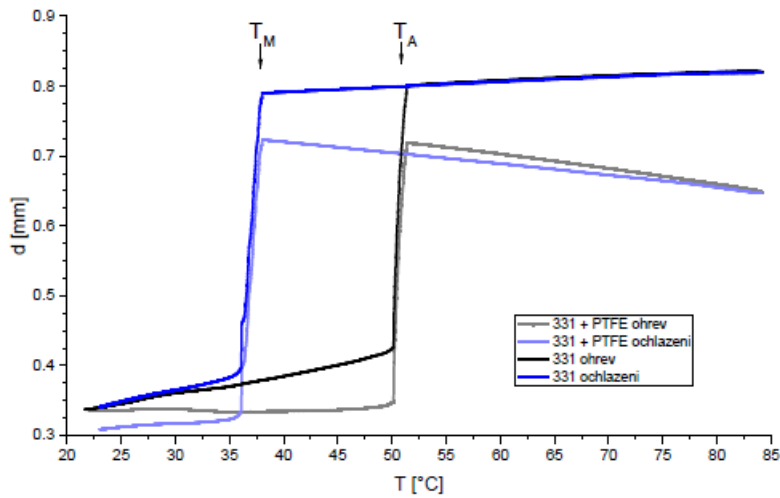


OBJASNĚNÍ JEVU:  
ZMĚNA MAGNETOKRYSTALICKÉ  
ANISOTROPIE

DIC (Nomarského kontrast) snímek před a po transformaci za pokojové teploty



# Ni-Mn-Ga: vzorek 331



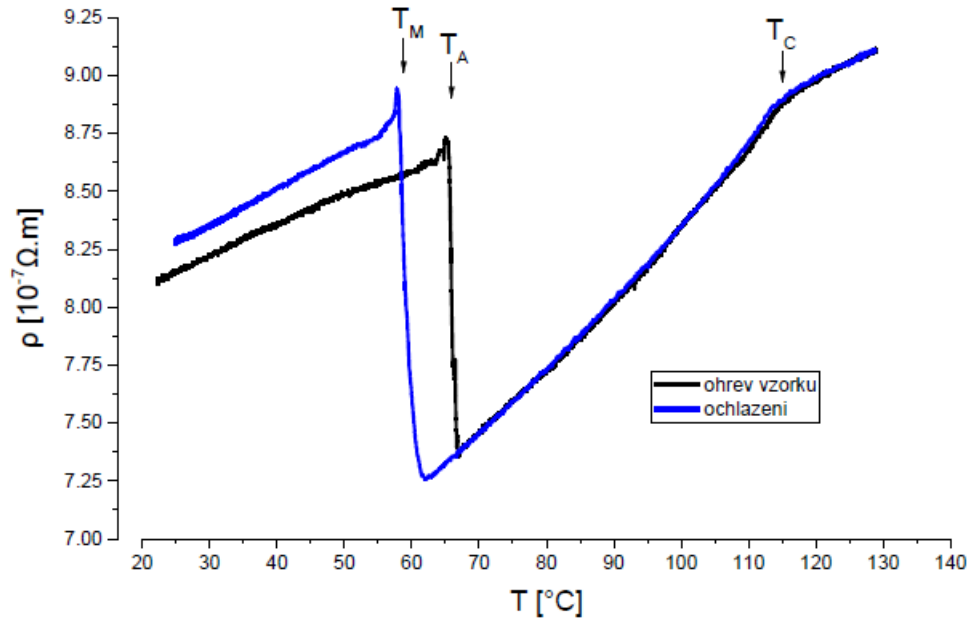
Dilatační měření: Závislost vzdálenosti desek kondenzátoru na teplotě před a po korekci na vliv PTFE

Dilatační měření: Závislost protažení nejdelší hrany vzorku na teplotě

$$\alpha_A = 6,77 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \quad \alpha_{M, \text{ohřev}} = 2,60 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \quad \alpha_{M, \text{ochlazení}} = 3,18 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

OBJASNĚNÍ JEVU: ZMĚNA STRUKTURY LÁTKY Z MONOKLINICKÉ NA KUBICKOU

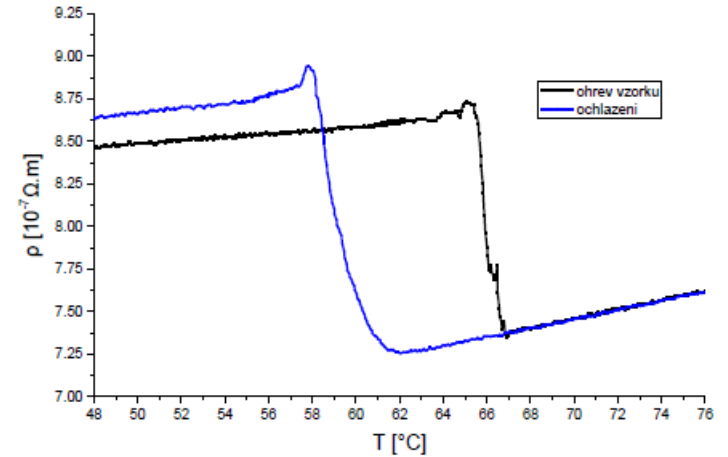
# Ni-Mn-Ga: vzorek 207



Teplotní závislost rezistivity vzorku

OBJASNĚNÍ JEVU:

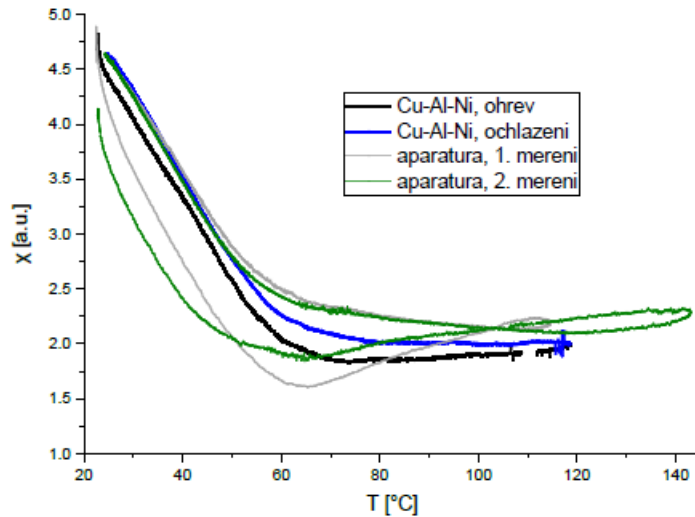
- a) PŘÍTOMNOST HRANIC DVOJČATĚNÍ ZVYŠUJE EL. REZISTIVITU
- b) FERMI SURFACE NESTING



Detail v oblasti transformace

fáze	$\alpha_R$ [K <sup>-1</sup> ]	$\rho_0$ (T = 20°C) [Ω.m]
martensit při ohřevu	$1,60 \cdot 10^{-3}$	$8,10 \cdot 10^{-7}$
martensit při ochlazení	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$8,20 \cdot 10^{-7}$
austenit	$5,73 \cdot 10^{-3}$	$5,91 \cdot 10^{-7}$

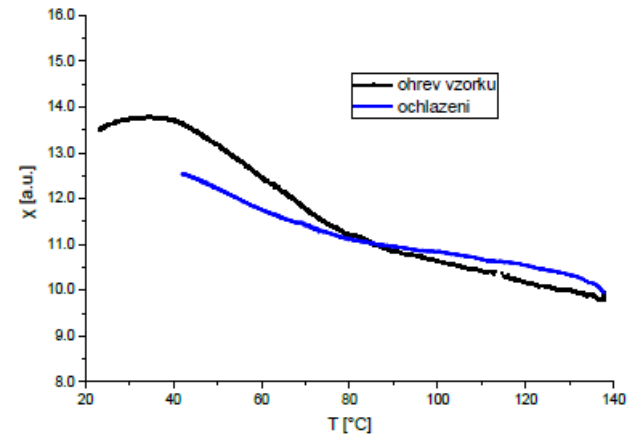
# Cu-Al-Ni



Teplotní závislost AC mag. susceptibility vzorku včetně vykreslení odezvy prázdné aparatury

- vzorek zřejmě není feromagnetický (předpoklad diamagnetického chování potvrzen)
- případná transformace není prakticky měřitelná

# Co-Ni-Al:Ti



Teplotní závislost AC mag. susceptibility vzorku **po odečtení** odezvy prázdné aparatury

- feromagnetické chování látky
- ke skokové transformaci nedochází

# Závěr

- Nastínili jsme **problematiku charakteru martensitické fázové transformace** materiálů s magnetickou tvarovou pamětí jako specifického fázového přechodu prvního druhu.
- Zmínili jsme **možnosti studia** tohoto přechodu pomocí měření **střídavé magnetické susceptibility, rezistivity a dilatace**. Popsali jsme provedený **vývoj experimentálních metod** k určení daných veličin a zmínili charakteristiky jednotlivých aparatur v současném stavu. Navrhli jsme další možná vylepšení aparatur pro jejich budoucí využití, které bude cíleno zejména na měření v oblasti nízkých teplot a měření v mag. poli.
- **Ověřili jsme přesnost a správnost našich měření** a provedli **měření charakteristik martensitické transformace pro vybrané Heuslerovy slitiny** – zejména Ni-Mn-Ga a dvě nově vyvinuté látky.
- Podali jsme fyzikální **výklad jevů** pozorovaných během transformace.

# Děkuji Vám za pozornost!

Poděkování:



Mgr., Ing.  
Oleg Heczko, Dr.



Ing.  
Jan Drahokoupil, Ph.D.



Mgr.  
Oleksiy Perevertov, Ph.D.