

# Anizotropní magnetické vlastnosti a magnetický fázový diagram sloučeniny $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$

Jan Zubáč\*

školitel: Pavel Javorský

Katedra fyziky kondenzovaných látek  
Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze



\*e-mail: [jzubac@centrum.cz](mailto:jzubac@centrum.cz)

# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

# Motivace

- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
  - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)

# Motivace

- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
  - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)



# Motivace

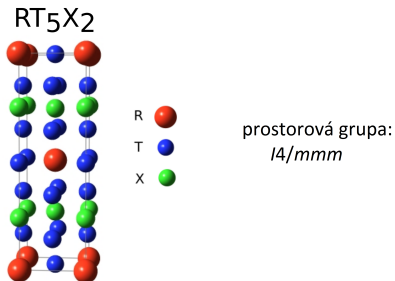
- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
    - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)
- ↓
- studium izostrukturálních magnetických analogů (substituovaná vzácná zemina):
    - především výměnné interakce typu RKKY a krystalové pole

# Motivace

- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
    - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)
- ↓
- studium izostrukturálních magnetických analogů (substituovaná vzácná zemina):
    - Nd sloučeniny - nejbližší analogy Ce sloučenin  $\rightarrow \text{NdPd}_5\text{Al}_2$

# Motivace

- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
    - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)
- ↓
- studium izostrukturálních magnetických analogů (substituovaná vzácná zemina):
    - Nd sloučeniny - nejbližší analogy Ce sloučenin  $\rightarrow \text{NdPd}_5\text{Al}_2$

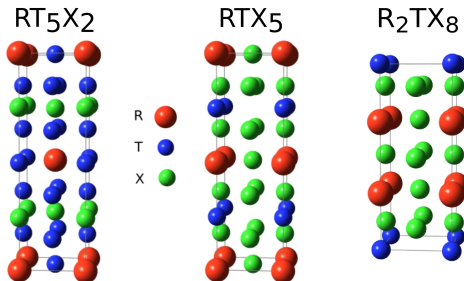


R - vzácná zemina, T - tranzitivní kov, X - p-kov



# Motivace

- $\text{RPd}_5\text{Al}_2$ :  $\text{CePd}_5\text{Al}_2$ ,  $\text{NpPd}_5\text{Al}_2$  - nekonvenční supravodivost  $\leftrightarrow$  mag. excitace
    - komplikované chování (těžkofermionové systémy, Kondův jev, magnetické uspořádání, krystalové pole ...)
- ↓
- studium izostrukturálních magnetických analogů (substituovaná vzácná zemina):
    - Nd sloučeniny - nejbližší analogy Ce sloučenin  $\rightarrow \text{NdPd}_5\text{Al}_2$
  - porovnání se strukturně příbuznými tetragonálními sloučeninami  $\text{RTX}_5$  a  $\text{R}_2\text{TX}_8$



R - vzácná zemina, T - tranzitivní kov, X - p-kov

# Příprava vzorků a charakterizace

## Příprava:

- monokrystaly
  - Czochralského metoda
  - objemová anizotropní měření

# Příprava vzorků a charakterizace

## Příprava:

- monokrystaly
  - Czochralského metoda
  - objemová anizotropní měření
- polykrystaly
  - tavba v obloukové peci
  - měření pomocí rozptylu neutronů

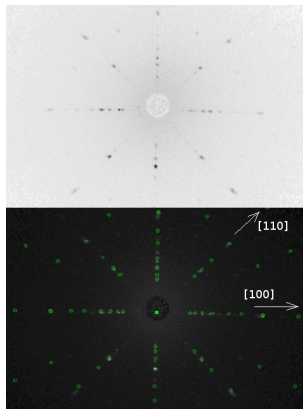
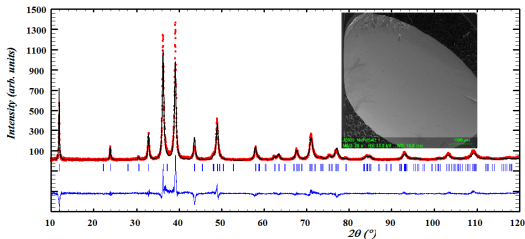
# Příprava vzorků a charakterizace

## Příprava:

- monokrystaly
  - Czochralského metoda
  - objemová anizotropní měření
- polykrystaly
  - tavba v obloukové peci
  - měření pomocí rozptylu neutronů

## Charakterizace:

- Laueho metoda (monokr.), EDX, XRD



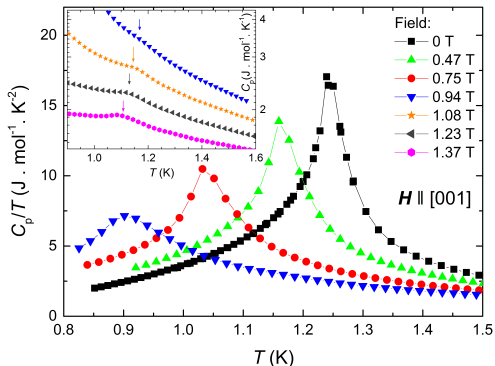
# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 **Objemová měření a fázový diagram**
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

# Měrná tepla a $M(H)$ v nízkých teplotách

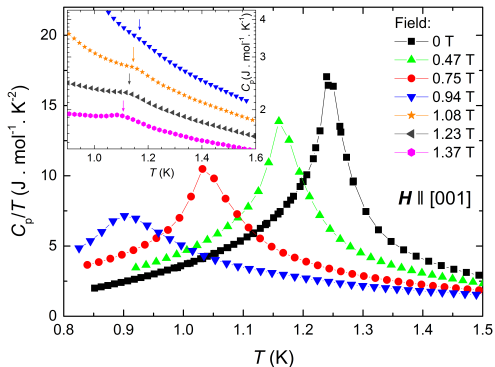
# Měrná tepla a $M(H)$ v nízkých teplotách

- teplotní závislost měrného tepla:



# Měrná tepla a $M(H)$ v nízkých teplotách

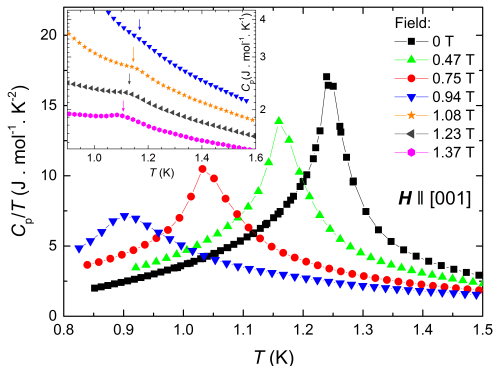
- teplotní závislost měrného tepla:
  - mag. uspořádání pod  $T_N = 1.3\text{K}$





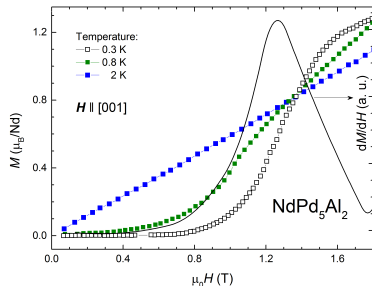
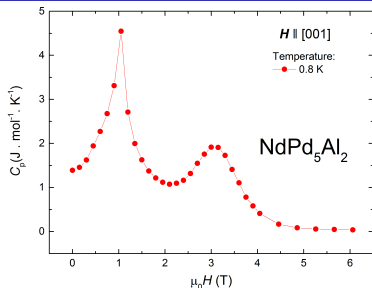
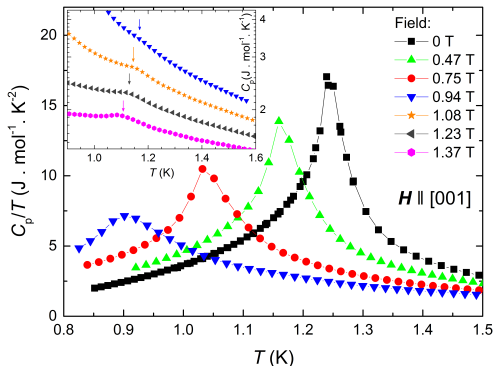
# Měrná tepla a $M(H)$ v nízkých teplotách

- teplotní závislost měrného tepla:
  - mag. uspořádání pod  $T_N = 1.3\text{K}$
  - 2 přechody

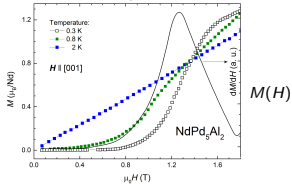
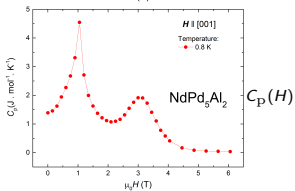
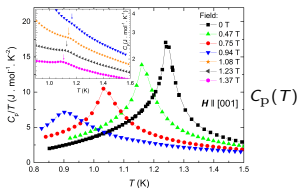


# Měrná tepla a $M(H)$ v nízkých teplotách

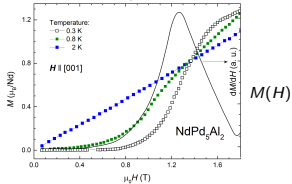
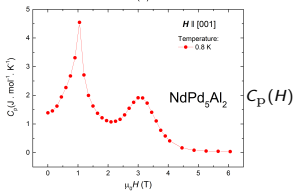
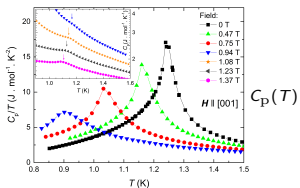
- teplotní závislost měrného tepla:
  - mag. uspořádání pod  $T_N = 1.3\text{K}$
  - 2 přechody
- doloženo daty  $C_p(H)$  a  $M(H)$



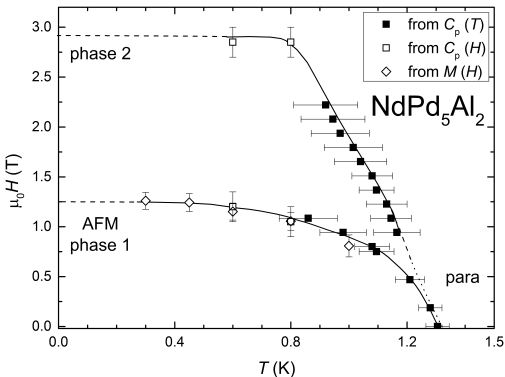
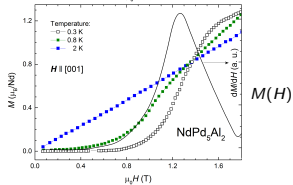
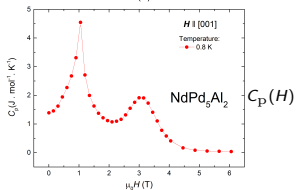
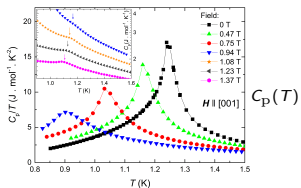
# Magnetický fázový diagram



# Magnetický fázový diagram

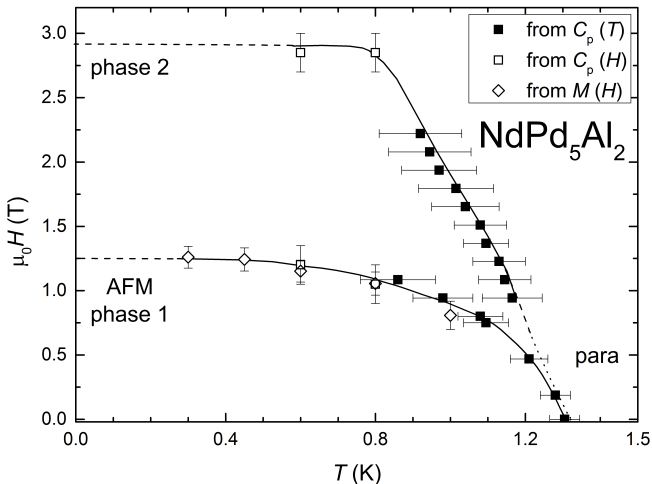


# Magnetický fázový diagram



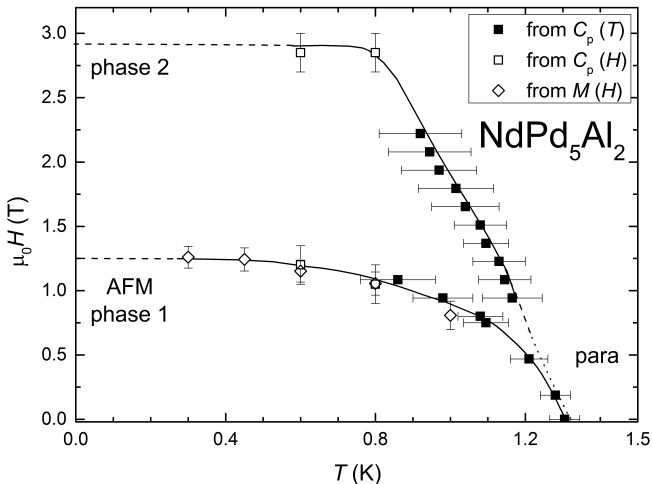
# Magnetický fázový diagram

- 2 nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze



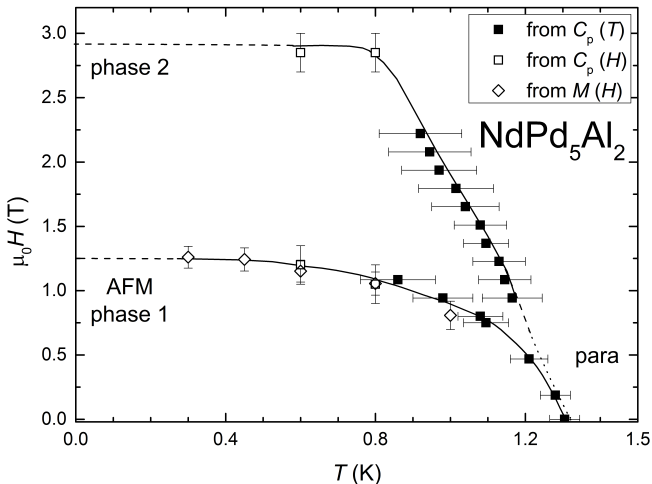
# Magnetický fázový diagram

- 2 nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze



# Magnetický fázový diagram

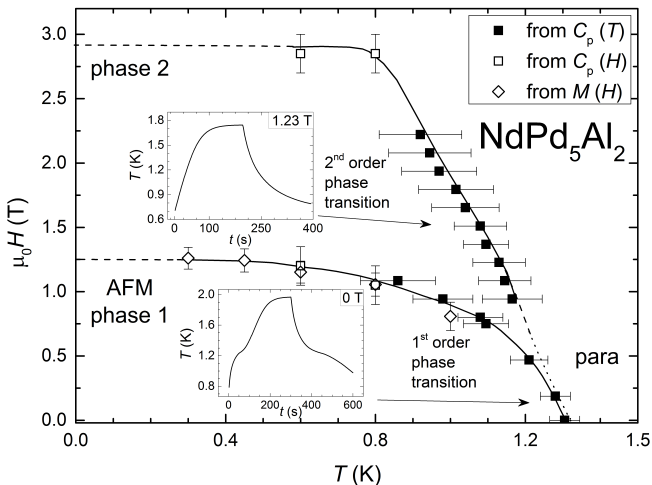
- 2 nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
- podobnost s fáz. diag. sloučenin  $RTX_5$  a  $R_2TX_8$





# Magnetický fázový diagram a fázový přechod I. druhu

- 2 nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
- metoda "dual slope": latentní teplo - fázový přechod I. druhu

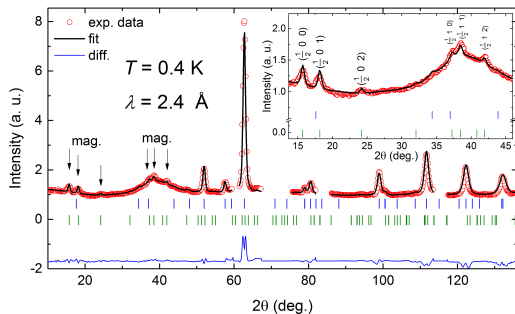


# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

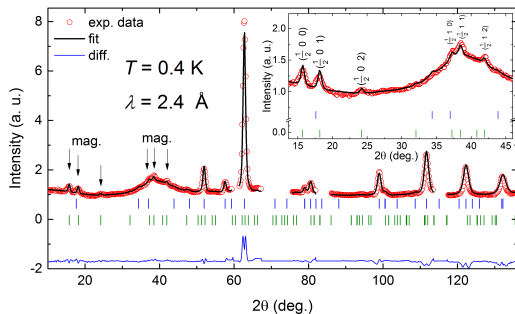
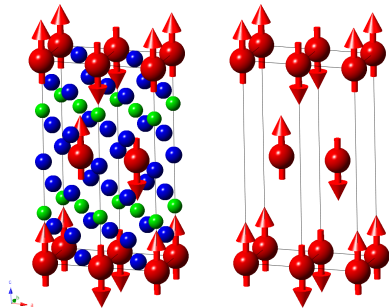
# Magnetická struktura

- neutr. prášková difrakce
- mag. struktura AFM fáze  
1 v nulovém poli



# Magnetická struktura

- neutr. prášková difrakce
- mag. struktura AFM fáze 1 v nulovém poli



- kolineární AFM:  $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}00)$ , Nd mag. momenty ( $\approx 2.22\mu_B$ )  $\parallel c$
- analogie s  $\text{Ho}_2\text{RhIn}_8$  (Čermák, PRB 91, 2015):
  - přechod AFM 1  $\rightarrow$  fáze 2: překlopení 1/4 Nd momentů

# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

# Hamiltonián krystalového pole

- KP = působení okolních atomů a iontů na magnetický iont
  - sejmutí degenerace stavů  $\{|J, J_z\rangle\}$  (Nd: 5 dubletů), magnetokrystalová anizotropie, mag. momenty redukované

## Hamiltonián KP (tetragonální symetrie)

$$\hat{H}_{\text{KP}} = B_2^0 \hat{O}_2^0 + B_4^0 \hat{O}_4^0 + B_4^4 \hat{O}_4^4 + B_6^0 \hat{O}_6^0 + B_6^4 \hat{O}_6^4$$

$B_l^m$  ... parametry KP

$\hat{O}_l^m$  ... Stevensovy operátory - polynomy v  $\hat{J}, \hat{J}_z, \hat{J}_\pm$

$B_2^0 < 0$  ... tetragonální osa  $c$  snadným směrem magnetizace

# Hamiltonián krystalového pole

- KP = působení okolních atomů a iontů na magnetický iont
  - sejmutí degenerace stavů  $\{|J, J_z\rangle\}$  (Nd: 5 dubletů), magnetokrystalová anizotropie, mag. momenty redukované

## Hamiltonián KP (tetragonální symetrie)

$$\hat{H}_{\text{KP}} = B_2^0 \hat{O}_2^0 + B_4^0 \hat{O}_4^0 + B_4^4 \hat{O}_4^4 + B_6^0 \hat{O}_6^0 + B_6^4 \hat{O}_6^4$$



energie (vl. čísla), vlnové funkce (vl. vektory)



$\chi(T)$ ,  $M(H)$ ,  $C_{\text{Schottky}}$ , inel. neutr. spektra (INS)

# Metody studia krystalového pole



# Metody studia krystalového pole

Metody:

- fitování exp. susceptibilit  $\chi(T) \rightarrow$  parametry KP
- výpočet parametrů KP z prvních principů
- nepružný rozptyl neutronů

# Metody studia krystalového pole

## Metody:

- fitování exp. susceptibilit  $\chi(T) \rightarrow$  parametry KP
- výpočet parametrů KP z prvních principů
- nepružný rozptyl neutronů

## Ověření:

- výpočet  $M(H)$ ,  $C_{Schottky}$
- porovnání s experimentálními daty

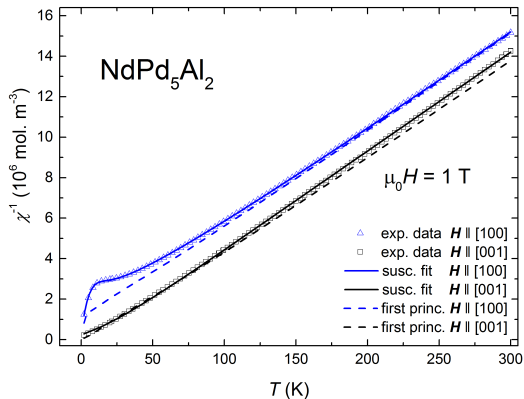
# Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů

# Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů

- fit susceptibilit vs. ab-initio výpočty

# Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů

- fit susceptibilit vs. ab-initio výpočty



# Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů

- fit susceptibilit vs. ab-initio výpočty

## Parametry KP (K)

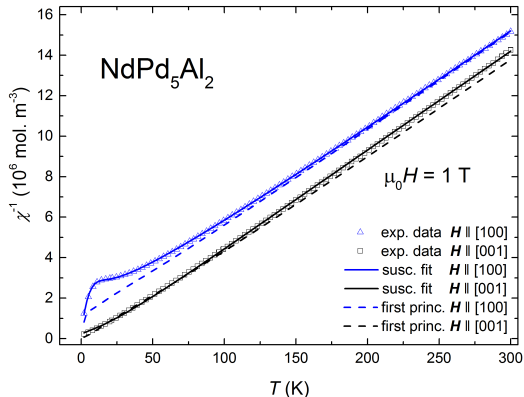
	$B_2^0$	$B_4^0$	$B_4^4$	$B_6^0$	$B_6^4$
fit susc.	-0.557	-0.041	0.261	-0.0009	0.0011
výp. z PP	-1.03	0.0064	-0.0028	-0.0005	0.0115

## Energie(K) (dublety)

fit susc.	0	40.5	100.4	180.9	259.8
výp. z PP	0	14.5	82.5	122.4	180.6

## Základní stavy:

$$\begin{aligned}
 |\psi_1^{\text{fit susc.}}\rangle &= 0.895|\pm 9/2\rangle - 0.431|\pm 1/2\rangle + 0.11|\mp 7/2\rangle \\
 |\psi_1^{\text{exp. princ.}}\rangle &= -0.860|\pm 9/2\rangle + 0.502|\pm 1/2\rangle - 0.09|\mp 7/2\rangle
 \end{aligned}$$



# Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů

- fit susceptibilit vs. ab-initio výpočty
- inset:  $M(H)$  vypočtená z parametrů KP z fitu susceptibilit a ab-initio výpočtů

Parametry KP (K)

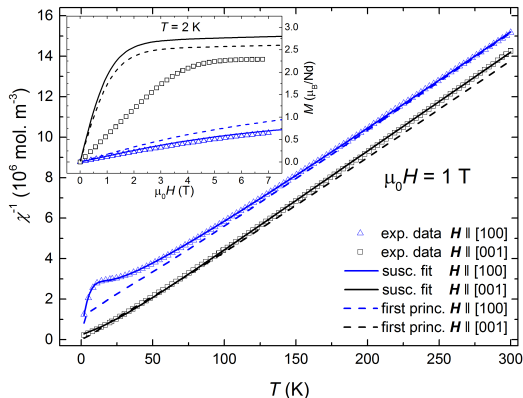
	$B_2^0$	$B_4^0$	$B_4^4$	$B_6^0$	$B_6^4$
fit susc.	-0.557	-0.041	0.261	-0.0009	0.0011
výp. z PP	-1.03	0.0064	-0.0028	-0.0005	0.0115

Energie(K) (dublety)

fit susc.	0	40.5	100.4	180.9	259.8
výp. z PP	0	14.5	82.5	122.4	180.6

Základní stavy:

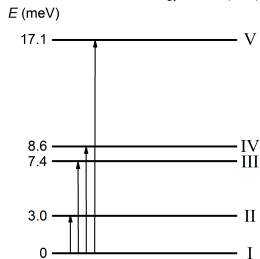
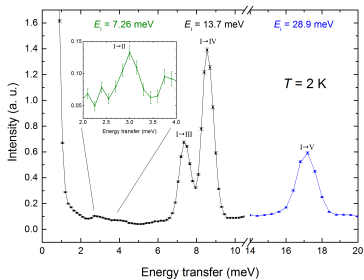
$$\begin{aligned}
 |\psi_1^{\text{fit susc.}}\rangle &= 0.895|\pm 9/2\rangle - 0.431|\pm 1/2\rangle + 0.11|\mp 7/2\rangle \\
 |\psi_1^{\text{dev. pr.}}\rangle &= -0.860|\pm 9/2\rangle + 0.502|\pm 1/2\rangle - 0.09|\mp 7/2\rangle
 \end{aligned}$$



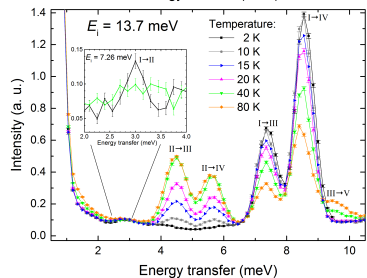
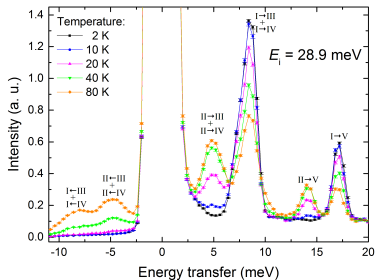
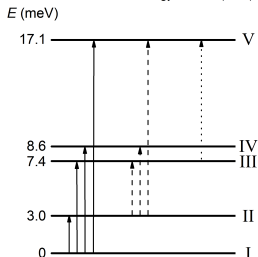
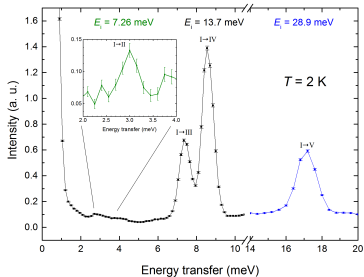
# Nepružný rozptyl neutronů



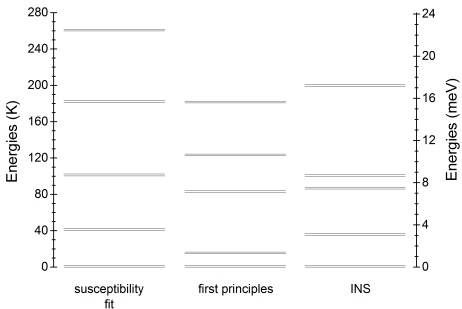
# Nepružný rozptyl neutronů



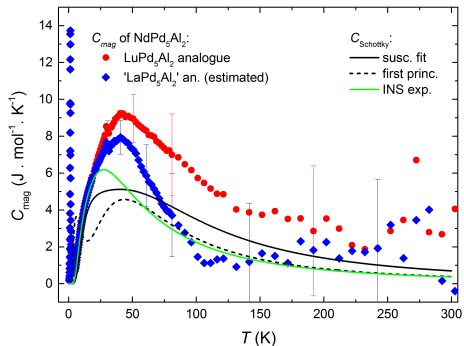
# Nepružný rozptyl neutronů



# Porovnání metod



Energetické hladiny KP



$C_{Schottky}$  a magnetická měrná  
tepla  $NdPd_5Al_2$

# Obsah

- 1 Úvod
  - Motivace
  - Příprava vzorků a charakterizace
- 2 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla a  $M(H)$
  - Magnetický fázový diagram
  - Fázový diagram a fázový přechod I. druhu
- 3 Neutronová difrakce
  - Magnetická struktura
- 4 Krystalové pole
  - Hamiltonián krystalového pole a metody studia
  - Fitování susceptibilit a výpočty z prvních principů
  - Nepružný rozptyl neutronů
  - Porovnání metod
- 5 Shrnutí

# Shrnutí

- NdPd<sub>5</sub>Al<sub>2</sub> se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3$  K

# Shrnutí

- $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$  se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3 \text{ K}$
- magnetický fázový diagram:
  - dvě nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
  - podobnosti se sloučeninami  $\text{R}_2\text{TX}_8$  a  $\text{RTX}_5$

# Shrnutí

- $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$  se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3 \text{ K}$
- magnetický fázový diagram:
  - dvě nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
  - podobnosti se sloučeninami  $\text{R}_2\text{TX}_8$  a  $\text{RTX}_5$
- fázový přechod v nulovém poli - charakter fáz. přech. I. druhu

# Shrnutí

- $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$  se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3 \text{ K}$
- magnetický fázový diagram:
  - dvě nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
  - podobnosti se sloučeninami  $\text{R}_2\text{TX}_8$  a  $\text{RTX}_5$
- fázový přechod v nulovém poli - charakter fáz. přech. I. druhu
- mag. struktura AFM fáze I: kolineární antiferomagnet s  $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}00)$  a momenty orientovanými podél osy  $c$



# Shrnutí

- $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$  se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3 \text{ K}$
- magnetický fázový diagram:
  - dvě nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
  - podobnosti se sloučeninami  $\text{R}_2\text{TX}_8$  a  $\text{RTX}_5$
- fázový přechod v nulovém poli - charakter fáz. přech. I. druhu
- mag. struktura AFM fáze I: kolineární antiferomagnet s  $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}00)$  a momenty orientovanými podél osy  $c$
- energie KP zjištěny pomocí fitování susceptibilit, výpočtů z prvních principů a INS, KP parametry ze susceptibilit a výpočtů z prvních principů

# Shrnutí

- $\text{NdPd}_5\text{Al}_2$  se uspořádává antiferomagneticky pod  $T_N = 1.3 \text{ K}$
- magnetický fázový diagram:
  - dvě nízkoteplotní magneticky uspořádané fáze
  - podobnosti se sloučeninami  $\text{R}_2\text{TX}_8$  a  $\text{RTX}_5$
- fázový přechod v nulovém poli - charakter fáz. přech. I. druhu
- mag. struktura AFM fáze I: kolineární antiferomagnet s  $\mathbf{k} = (\frac{1}{2}00)$  a momenty orientovanými podél osy  $c$
- energie KP zjištěny pomocí fitování susceptibilit, výpočtů z prvních principů a INS, KP parametry ze susceptibilit a výpočtů z prvních principů

Plány do budoucna:

- zjištění parametrů KP z INS spekter, interpretace v kontextu magnetizačních měření

Poděkování:

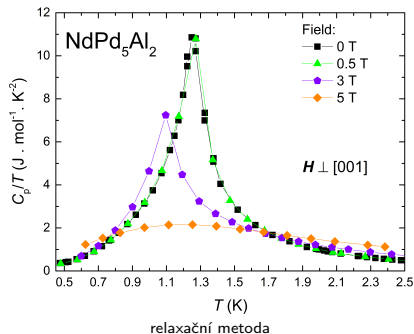
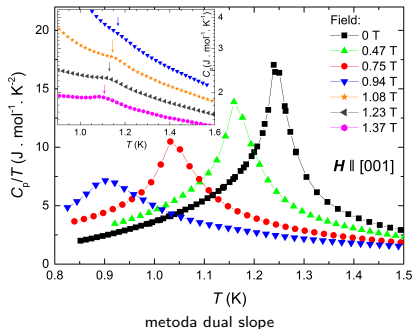
doc. Pavel Javorský, doc. Martin Diviš (výpočty z prv. principů)

Děkuji za pozornost.

# Obsah

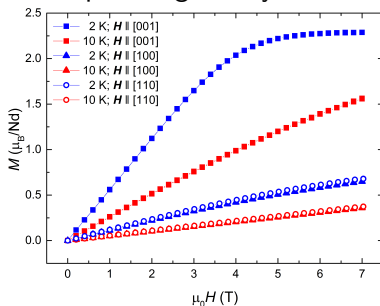
- 6 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla v nízkých teplotách
  - Polní závislost magnetizace
  - Fázové diagramy příbuzných sloučenin
  
- 7 Neutronová difrakce
  - Kritické chování
  
- 8 Krystalové pole
  - Krystalové pole - vztahy I
  - Krystalové pole - vztahy II
  - Fitování susceptibilit - výsledky

# Měrná tepla v nízkých teplotách



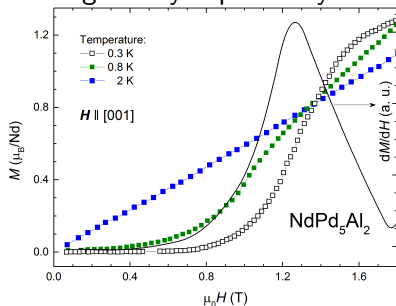
# Polní závislost magnetizace

## paramagnetický stav



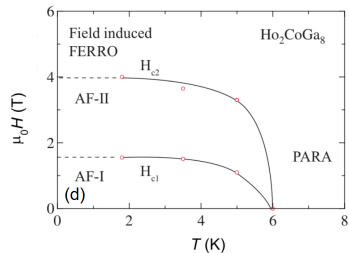
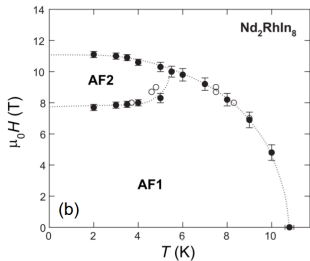
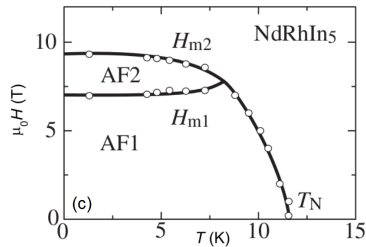
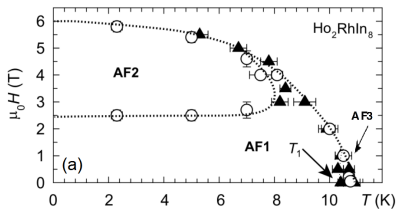
DC extrakce (SQUID)

## magneticky uspořádaný stav



měřeno pomocí Hallových sond

## Fázové diagramy příbuzných sloučenin

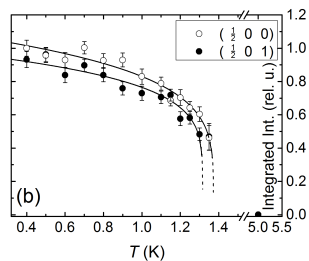
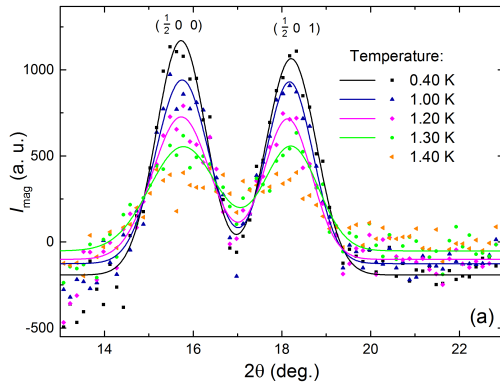




# Obsah

- 6 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla v nízkých teplotách
  - Polní závislost magnetizace
  - Fázové diagramy příbuzných sloučenin
  
- 7 Neutronová difrakce
  - Kritické chování
  
- 8 Krystalové pole
  - Krystalové pole - vztahy I
  - Krystalové pole - vztahy II
  - Fitování susceptibilit - výsledky

## Kritické chování



# Obsah

- 6 Objemová měření a fázový diagram
  - Měrná tepla v nízkých teplotách
  - Polní závislost magnetizace
  - Fázové diagramy příbuzných sloučenin
  
- 7 Neutronová difrakce
  - Kritické chování
  
- 8 Krystalové pole
  - Krystalové pole - vztahy I
  - Krystalové pole - vztahy II
  - Fitování susceptibilit - výsledky

# Krystalové pole - vztahy k exp. veličinám I

- susceptibilita ( $H \rightarrow 0$ ):

$$\chi_{CF}^i = \frac{N}{V} \frac{(g_J \mu_B)^2}{Z} \left[ \frac{\sum_n |\langle n | J_i | n \rangle|^2}{k_B T} \exp\left(\frac{-E_n}{k_B T}\right) + \sum_{\substack{n,m \\ n \neq m}} |\langle m | J_i | n \rangle|^2 \frac{\exp\left(\frac{-E_n}{k_B T}\right) - \exp\left(\frac{-E_m}{k_B T}\right)}{E_m - E_n} \right] \quad (1)$$

$$\chi_i = \frac{1}{\frac{1}{\chi_{CF}^i} - \lambda_i} + \chi_0^i \quad (2)$$

- magnetizace vs. pole:

$$H = \hat{H}_{CF} + g_J \mu_B J_i H_i \quad (3)$$

$$M_i = - \sum_{\tilde{n}} \frac{g_J \mu_B \langle \tilde{n} | \hat{J}_i | \tilde{n} \rangle}{Z} \left( \frac{-E_{\tilde{n}}}{k_B T} \right) \quad (4)$$

# Krystalové pole - vztahy k exp. veličinám II

- Schottkyho měrné teplo:

$$C_{Schottky} = k_B \left[ \frac{\sum_n \frac{E_n^2}{k_B^2 T^2} \exp\left(\frac{-E_n}{k_B T}\right)}{Z} - \frac{\left(\sum_n \frac{E_n}{k_B T} \exp\left(\frac{-E_n}{k_B T}\right)\right)^2}{Z^2} \right] \quad (5)$$

- inelastický účinný průřez:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma}{d\Omega dE} &= N \frac{k_f}{k_i} (\gamma r_0)^2 e^{-2W} \left[ \frac{1}{2} gf(\mathbf{Q}) \right]^2 \\ &\times \sum_{i,j} p_i |\langle \Gamma_i | \mathbf{J}_\perp | \Gamma_j \rangle|^2 \delta(\hbar\omega - E_i + E_j) = \frac{k_f}{k_i} S(\mathbf{Q}, E) \end{aligned} \quad (6)$$

- polykrystalické středování:

$$\langle \Gamma_i | \mathbf{J}_\perp | \Gamma_j \rangle^2 = \frac{1}{3} \left( \langle \Gamma_i | J_+ | \Gamma_j \rangle^2 + \langle \Gamma_i | J_- | \Gamma_j \rangle^2 + 2 \langle \Gamma_i | J_z | \Gamma_j \rangle^2 \right) \quad (7)$$

## Fitování susceptibilit - výsledky

parametry KP										
$B_2^0$ (K)	$B_4^0$ (K)	$B_4^4$ (K)	$B_6^0$ (K)	$B_6^4$ (K)	$\lambda$ (mol/m <sup>3</sup> )			$\chi_0$ (m <sup>3</sup> /mol)		
-0.557	-0.041	0.261	-0.0009	0.0011	$\lambda_{x,y} = -1.36 \times 10^5$			$\chi_0^{x,y} \approx 0$		
					$\lambda_z = -2.24 \times 10^5$			$\chi_0^z \approx 0$		
Energie a vlnové funkce										
$E$ (K)	$ 9/2\rangle$	$ 7/2\rangle$	$ 5/2\rangle$	$ 3/2\rangle$	$ 1/2\rangle$	$ -1/2\rangle$	$ -3/2\rangle$	$ -5/2\rangle$	$ -7/2\rangle$	$ -9/2\rangle$
259.8	0.067	0	0	0	0.375	0	0	0	0.925	0
259.8	0	0.925	0	0	0	0.375	0	0	0	0.067
180.9	0	0	-0.81	0	0	0	-0.586	0	0	0
180.9	0	0	0	-0.586	0	0	0	-0.81	0	0
100.4	-0.44	0	0	0	-0.821	0	0	0	0.365	0
100.4	0	-0.365	0	0	0	0.821	0	0	0	0.44
40.5	0	0	0.586	0	0	0	-0.81	0	0	0
40.5	0	0	0	0.81	0	0	0	-0.586	0	0
0	0	0.11	0	0	0	-0.431	0	0	0	0.895
0	0.895	0	0	0	-0.431	0	0	0	0.11	0