

## **Oponentský posudek dizertační práce Michala Vališky „Magnetismus 5f-elektronů v intermetalických sloučeninách uranu“**

Předložená dizertační práce Michala Vališky je věnována studiu fyzikálních vlastností tří vybraných uranových sloučenin obsahujících f-elektrony. Jmenovitě  $U_4Ru_7Ge_6$ ,  $UAu_2Si_2$  a  $UIrGe$ . Tyto sloučeniny vykazují velice komplexní chování. To je způsobeno silným svázáním strukturních a magnetických vlastností díky silné spin-orbitální vazbě a f-f interakci. Studium jejich fázových transformací a konstrukce fázových diagramů je proto nemírně důležité z hlediska pochopení základních fyzikálních procesů v magnetických materiálech.

Samotná práce má 143 stran a je rozčleněna do pěti částí a devíti číslovaných kapitol. Témata jednotlivých kapitol byla zvolena pečlivě tak, aby tvořila jednotný celek. Po stručném úvodu do problematiky uranových sloučenin a vymezení cílů práce následují první tři kapitoly věnované teorii potřebné k analýze experimentálních dat a diskuzi výsledků. Již z obsahu a formy těchto kapitol je zřejmé, že doktorand k vypracování práce přistupoval velmi zodpovědně a snažil se co nejvíce přiblížit řešenou problematiku i zcela nezasvěcenému čtenáři. Jsou zde popsány základní fyzikální principy stojící za magnetickým uspořádáním pevných látek včetně příslušných zákonů a závislostí jednotlivých fyzikálních veličin. Dále je zde vysvětlen vliv 5f elektronů, jež obsahují zkoumané sloučeniny, a který vede k silným magnetickým anizotropiím. Konec druhé kapitoly je věnován úvodu do problematiky fázových přechodů a třetí kapitola vlivu magnetismu na fyzikální vlastnosti látek. Na tyto kapitoly se poté autor odkazuje napříč zbytkem práce. Text kapitol je vyvážený a neobsahuje nadbytečné množství rovnic, které by čtenáře zbytečně mátl. Velmi chválím mnoho odkazů na odbornou literaturu, které dokazují značnou sečtělost studenta.

Čtvrtá kapitola představuje metody růstu krystalů, konkrétně Czochlarského metodu a zonální tavbu v optické peci. Pomocí těchto metod byly připraveny unikátní monokrystalické vzorky. Na jejich popis navazuje stručný popis podmínek přípravy vzorků a jejich základní strukturní charakterizace pomocí rentgenové difrakce, včetně uvedení všech strukturních parametrů. Na závěr je uveden způsob přípravy jednotlivých krystalů pro následující měření.

Kapitoly pět a šest jsou věnovány popisu experimentálních metod použitých v rámci předkládané práce. Tyto metody jsou tematicky rozděleny do okruhů makroskopických a mikroskopických fyzikálních vlastností. Hlavními experimentálními metodami byly VSM a SQUID magnetometrie, dilatometrie, zařízení pro transportní měření a neutronová difrakce.

Sedmá až devátá kapitola pak shrnují vlastní experimentální pozorování a jejich diskuzi. Sedmá kapitola je věnována výzkumu fyzikálních vlastností sloučeniny  $U_4Ru_7Ge_6$ . Magnetická měření ukázala překvapivě slabou magnetickou anizotropii. Teplotně závislá měření pak ukázala změnu směru snadné osy při teplotě 5.9 K v důsledku přechodu ze základního magnetického stavu rhomboedrálně deformované mříže do excitovaného magnetického stavu tetragonálně deformované mříže. Porovnáním experimentálních výsledků s výpočty z prvních principů byl původ slabé magnetické anizotropie vysvětlen stíněním 5f-5f interakce uranových iontů v důsledku vlivu okolních iontů Ru a Ge. Osobně považuji za nejzajímavější výsledek práce demonstraci schopnosti dilatačních měření k určení extrémně slabé distorze, kterou standartní strukturní charakterizační metody jako je rentgenová difrakce odhalit nedokáží.

Osmá kapitola se věnuje sloučenině  $UAu_2Si_2$ . Pomocí kombinace měření teplotní roztažnosti, magnetostrikce a magnetických měření byl sestaven magnetický fázový diagram této sloučeniny. Jako základní magnetický stav byl určen nevykompenzovaný antiferomagnet se slabou feromagnetickou složkou. Pomocí měření ve vysokých polích byl sledován fázový přechod ze základního magnetického stavu až ke trikritickému bodu, kde se přechod mění z prvního druhu na druhý.

Konečně devátá kapitola se věnuje studiu fyzikálních vlastností antiferomagneticky uspořádaného  $UIrGe$ . Podobně jako v případech předchozích sloučenin byla provedena magnetická a transportní měření i měření magnetostrikce. Sloučenina vykazuje značnou anizotropii teplotní roztažnosti pod Néelovou

teplotou. Aplikace vnějšího magnetického pole pak tuto teplotu snižuje. Z výsledků měření byl sestaven fázový diagram této sloučeniny, který predikuje existenci trikritického bodu i v tomto materiálu.

Z práce vyplývá, že kromě výpočtů z prvních principů se student aktivně podílel na všech experimentálních pracích od růstu krystalů až po měření neutronové difrakce. Celkový rozsah provedených měření pomocí širokého spektra experimentálních metod je značný a výsledky jsou prokazatelně originální. To ukazuje i fakt, že řada výsledků již byla publikována. Dizertační práce je psána v anglickém jazyce na vynikající úrovni s minimem překlepů a gramatických chyb. Počet referencí je nadstandartní.

K práci mám jen drobnou připomínku: graf 7.16 demonstrující slabou rhomboedrickou distorzi  $U_4Ru_7Ge_6$  i přes evidentní snahu autora pro mne není vzhledem k velikému počtu různých atomů názorný. Doporučoval bych spíše jednoduchý schematický obrázek.

Výborná úroveň práce, kterou demonstruje ocenění třetím místem ceny Milana Odehnala a publikace v prestižních vědeckých časopisech, společně s velkým souborem originálních výsledků prokazují značnou erudici autora a jeho předpoklady k samostatné vědecké práci. Dizertační práci proto s velkým potěšením doporučuji k obhajobě.

Případné otázky do diskuze:

- 1) V kapitole 4 je zmíněno, že před žiháním byly krystaly zabaleny do tantalové fólie. Může student vysvětlit proč?
- 2) V grafu 7.10 je vidět znatelný skok v teplotní roztažnosti podél osy [001] okolo 7.5 K. Tato teplota neodpovídá teplotě přechodu. Jedná se tedy o artefakt měření? Jaký je odhad přesnosti měření přístroje v tomto případě?
- 3) Ve vloženém grafu 7.14 je vyznačena teplota přechodu  $T_1$  jako lokální minimum druhé derivace teplotní závislosti rezistivity. V této závislosti se však nachází další lokální minimum v blízkosti 3 K. Má toto minimum fyzikální vysvětlení?
- 4) Na straně 72 je zmíněno, že nebylo pozorováno latentní teplo při fázovém přechodu prvního druhu. Absence pozorování tohoto jevu byla vysvětlena komplexní doménovou strukturou vzorku. Víím, že v laboratoři MGML je možné měřit MFM při nízkých teplotách. Zřejmě by bylo zajímavé podpořit toto tvrzení příslušným experimentem. Je toto v plánu v rámci pokračování výzkumu?
- 5) V grafu 8.9 jsou znázorněny polní závislosti magnetostrikce vzorku  $UAu_2Si_2$ . Zaujalo mne hysterézní chování těchto závislostí v oblasti nad 3 T pro teploty blízké se teplotě přechodu  $T_m$ . Může toto student okomentovat?
- 6) Na straně 101 student tvrdí, že vysokopolní přechod v materiálu  $UAu_2Si_2$  nebyl doposud pozorován v důsledku špatné kvality krystalů či nepatrně odlišné orientace magnetického pole vůči c ose vzorku. Může student okomentovat jak veliký vliv má tato špatná orientace?

V Praze 15. listopadu 2018

RNDr. Martin Veis, Ph.D.  
Fyzikální ústav Univerzity Karlovy