

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Кобзар (Журавльової) Ірини Павлівни**

“**Магнітопружні властивості вузькозонних систем на основі 4f- та 3d-металів**”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

**Актуальність теми дисертації.** В дисертаційній роботі Кобзар (Журавльової) І.П. докладно досліджено магнітооб’ємні властивості низки систем на основі 4f- та 3d- металів та їх зв’язок з електронними енергетичними спектрами цих систем. Задачі роботи знаходяться в межах однієї з основних проблем фізики твердого тіла – побудування моделі зонного магнетизму металів та їх сполук. Коло досліджуваних систем містить матеріали, в яких спостерігалися цікаві та не до кінця пояснені в даний час ефекти. Зокрема, до таких матеріалів належать високотемпературні надпровідники на основі заліза, сполуки зі змішаною валентністю, зонні метамагнетики. Нова інформація щодо цих об’єктів, яка одержана за допомогою сучасних прецизійних методів вимірювання магнітних властивостей в широкому діапазоні температур та тиску, поширює наші можливості щодо трактування явищ в сполуках з рідкісноземельними елементами на основі зонної моделі. Тому тема роботи Кобзар І.П. безумовно є актуальною.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов’язана з виконанням наукових досліджень в рамках наступних державних тем досліджень, що виконувались в останні роки та виконуються в даний час: «Функціональні властивості новітніх надпровідникових сполук і металовмісних спін та зарядово-впорядкованих структур», «Спектроскопічні, транспортні, магнітні та пружні властивості новітніх низьковимірних структур та надпровідних сполук», «Взаємозв’язок магнітних і надпровідних

станів у шаруватих сполуках, що містять іони магнітних перехідних і рідкісноземельних металів», «Квантові електронні явища в нових провідних системах»

**Достовірність та обґрунтованість** отриманих результатів та висновків забезпечується аргументованою постановкою експериментальних завдань і чисельних розрахунків, використанням адекватних методик досліджень, моделей досліджених явищ та комп'ютерних програм. Переважна більшість експериментальних результатів отримана на основі загально визнаних методів, використання яких супроводжується ретельним аналізом можливих помилок. При виконанні поставленої мети досліджень було коректно використано комплекс прецизійних досліджень магнітних властивостей та теоретичних розрахунків, що базуються на сучасних методах обчислень моделей електронної структури речовин. Вплив тиску на магнітні характеристики було досліджено на попередньо атестованих за складом та структурою зразках, докладно наведені технічні параметри експериментальних пристроїв та похибки вимірювань. Продемонстровано, що оригінальна методика вивчення поведінки магнітної сприйнятливості в умовах гідростатичного тиску за допомогою левітаційного магнітометра здатна забезпечити надійні результати. Таким чином, достовірність отриманих результатів не підлягає сумніву.

Дисертаційна робота Кобзар І.П. “Магнітопружні властивості вузькозонних систем на основі 4f- та 3d-металів” має традиційну структуру і складається зі вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел.

**Мета роботи** складалася в встановленні механізму магнітних та магнітопружних властивостей вузькозонних систем на основі 4f- і 3d- металів і з'ясування впливу гідростатичного тиску на особливості електронних енергетичних спектрів та магнітні властивості цих систем.

*Перший розділ* дисертаційної роботи присвячений детальному опису експериментальних установок, які були використані автором при вивченні магнітних та магнітопружних властивостей різноманітних металевих систем.

Вплив тиску на магнітні властивості сполук, що вивчалися, було досліджено за допомогою “левітаційного” магнітометра, а також оригінального магнітометра, у якому механічна система ваг розміщена безпосередньо в камері високого тиску. Результати цих досліджень також контролювалися та доповнювалися за допомогою вимірювань температурних залежностей магнітної сприйнятливості традиційним методом Фарадея.

У *другому розділі* дисертаційної роботи представлено результати детальних експериментальних досліджень впливу тиску на магнітні властивості металу гадолінію. Виходячи із закону Кюрі-Вейса для поведінки магнітної сприйнятливості, було встановлено, що вплив зовнішнього тиску у парамагнітній фазі гадолінію визначається, головним чином, залежністю від тиску парамагнітної температури Кюрі  $\Theta$ . Отримана величина похідної  $d\Theta/dP$  добре узгоджується з найбільш надійними літературними даними  $dT_C/dP$  для температури феромагнітного упорядкування  $T_C$ .

За допомогою отриманого значення  $d\Theta/dP$  автору вдалось оцінити спонтанну зміну об'єму в гадолінію, що виникає внаслідок феромагнітного упорядкування

У *третьому розділі* наведено результати експериментальних досліджень магнітних властивостей тетраборидів рідкісноземельних металів  $RB_4$  ( $R = Sm$  та  $Yb$ ), що проявляють ознаки нестійкості 4f-оболонки, а також розглянуто вплив тиску на магнетизм цих сполук.

Було встановлено, що вплив тиску на магнітну сприйнятливість  $SmB_4$  визначається, головним чином, залежністю від тиску парамагнетизму Ван-Флека, оскільки цей внесок в сприйнятливість є домінуючим. Помітна додатна величина ефекту тиску на магнітну сприйнятливість, спостерігається в  $YbB_4$  і є характерною для інтерметалічних сполук ітербію з проміжною валентністю. Ефект тиску на сприйнятливість  $YbB_4$  визначається, головним

чином, зміною заселеності  $\text{Yb}^{3+}$  стану. Таким чином, оцінена валентність іона ітербію в  $\text{YbV}_4$  відповідає  $\text{Yb}^{2,8+}$ .

**Четвертий розділ** присвячений дослідженню ефектів гідростатичного тиску на магнітні властивості і електронну структуру сполук  $\text{RT}_4\text{Al}_8$  ( $\text{R} = \text{Sc}, \text{Y}, \text{La}, \text{Lu}; \text{T} = \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr}$ ). На відміну від сімейства  $\text{RFe}_4\text{Al}_8$ , сполука  $\text{RMn}_4\text{Al}_8$  за відсутності магнітного впорядкування аж до найнижчих температур характеризуються приблизно на порядок величини меншим парамагнетизмом з істотно немонотонною температурною залежністю сприйнятливості. Дослідження сприйнятливості під тиском були проведені для зразків  $\text{YFe}_4\text{Al}_8$ ,  $\text{YMn}_4\text{Al}_8$  і  $\text{CeCr}_4\text{Al}_8$  на магнітометрі маятникового типу.

Вимірювання під тиском  $P$  до 2 кбар були виконані при фіксованих температурах 78, 150 і 300 К. Було встановлено, що в сполуках  $\text{YFe}_4\text{Al}_8$  і  $\text{CeCr}_4\text{Al}_8$  ефект тиску є помірно великим і характерним як за знаком, так і за величиною для типових обмінно-посилених зонних парамагнетиків, а щодо  $\text{YMn}_4\text{Al}_8$  підвищена величина ефекту тиску представляється досить несподіваною і вимагає детального аналізу.

**П'ятий розділ** присвячений вивченню магнітних властивостей сполуки  $\text{YCo}_2$ , в якому експериментально спостерігали метамагнітний перехід системи колективізованих електронів в феромагнітну фазу в магнітних полях більше 60 Тл, і очікувалось, що внаслідок великого ефекту обмінного-посилення спінового парамагнетизму величина сприйнятливості буде проявляти сильну залежність від параметра кристалічної решітки. Дослідження магнітної сприйнятливості  $\text{YCo}_2$  під тиском були проведені за допомогою магнітометра маятникового типу. Отримані з експерименту значення об'ємної похідної  $d\ln\chi/d\ln V \sim 15$  виявились на порядок більші, ніж значення відповідних похідних для типових парамагнітних металів. Цей результат узгоджується із відповідними розрахунками манітооб'ємного ефекту в  $\text{YCo}_2$  при  $T=0$  К, що підтверджує адекватність існуючих методів зонного підходу для опису магнетизму металевих систем, близьких до феромагнітної нестабільності.

У *шостому розділі* наведено результати експериментальних досліджень магнітних властивостей сполук FeSe до FeTe.

Було встановлено, що при переході від FeSe до FeTe магнітна сприйнятливості нормальної фази зростає на порядок. Для системи FeTe виявлений різкий стрибок сприйнятливості при 70 K, що відповідає структурному і магнітному фазовим переходам.

Виявлено і пояснено аномально сильний і позитивний ефект всебічного тиску на магнітну сприйнятливості сполук FeSe і FeTe в області низьких температур. Було встановлено, що ефект зміни структурного параметра  $Z$  (відстані атомів телуру від площини заліза) з тиском є визначальним і пояснює отримане в експерименті велике позитивне значення баричної похідної магнітної сприйнятливості. Цей ефект компенсує негативний внесок зменшення об'єму кристалічної комірки та, відповідно, магнітної сприйнятливості під тиском.

В роботі досліджувалась магнітна анізотропія монокристалічних зразків  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}$ , виготовлених в рамках єдиної технології з контрольованим вмістом заліза  $1+y$ . Було встановлено, що при проміжній концентрації заліза,  $1+y=1.14$ , відбувається зміна знака анізотропії, при цьому її величина не змінюється. Зміна знака анізотропії відповідає за зміну напрямку вектора антиферомагнетизму у зразках  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}$  із площини  $ab$  до напрямку вздовж осі  $c$ .

Підсумовуючи аналіз змісту цієї дисертаційної роботи, можна виділити декілька важливих моментів, які і складають її **наукову новизну**:

- Продемонстровано новий метод визначення залежності температури Кюрі від об'єму шляхом експериментального вивчення впливу тиску на магнітної сприйнятливості в парамагнітній фазі.
- Встановлено збереження валентного стану іона  $\text{Sm}^{3+}$  під тиском для сполуки  $\text{SmB}_4$ . Виявлено великий додатний ефект тиску на магнітну сприйнятливості сполуки  $\text{YbB}_4$  з проміжною валентністю  $\text{Yb}^{2.8+}$ .

- Вперше встановлені великі значення ефекту тиску на магнітну сприйнятливість в системах  $\text{RMn}_4\text{Al}_8$  і  $\text{RCr}_4\text{Al}_8$ , які корелюють зі зміною електронної структури під тиском.
- Виявлено великий магнітооб'ємний ефект для сполуки  $\text{YCo}_2$ , що зумовлений значним обмінним посиленням спінового парамагнетизму.
- Експериментально виявлено великий додатний ефект тиску на магнітну сприйнятливість сполук  $\text{FeTe}$  і  $\text{FeSe}$  в області низьких температур.
- В монокристалах  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}$  виявлено зміну орієнтації вектора антиферомагнетизму при зміні в зразках концентрації надлишкового заліза у.

Дисертаційна робота Кобзар І.П. написана зрозумілою мовою. Варто відзначити значний об'єм експериментального матеріалу, отриманого автором і представленого значною кількістю рисунків і таблиць.

**Характеризуючи дисертаційну роботу** Кобзар І.П. загалом, можна стверджувати, що вона є завершеною науково-дослідною роботою, змістовна за послідовністю поданих результатів та їх теоретичним осмисленням, а отримані результати, висновки і рекомендації цієї роботи за сукупністю мають **безумовну наукову цінність**.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає перш за все у фундаментальному характері досліджень впливу тиску на особливості електронної структури і магнітні властивості вузькозонних металічних систем. Можливість змінювати кристалічну структуру шляхом використання всебічного тиску також відкриває шлях для створення нових матеріалів з керованим комплексом унікальних характеристик. Тому отримані в роботі результати безперечно можуть бути використані при розробці нових магнітних матеріалів з незвичайними властивостями на основі 4f- та 3d-металів.

За результатами проведених досліджень автором **опубліковано** 19 робіт, з них 7 — статті у провідних фахових наукових журналах (з них дві — в закордонних журналах), 12 — тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій. Представлені роботи і автореферат, в якому визначено **особистий внесок здобувача**, повністю відображають зміст і висновки дисертаційної роботи.

Разом з тим робота не позбавлена деяких недоліків, зокрема:

1. Не для всіх систем, що були досліджені в дисертаційній роботі, проведено оцінку зміни об'єму при магнітних переходах.
2. При обговоренні магнітних властивостей сполуки FeTe автором не проаналізовано вплив тиску на парамагнітну температуру Кюрі  $\theta$ , як це було зроблено для металу гадолінію.
3. У дисертації не запропоновано ніякого можливого фізичного механізму впливу домішок надлишкового заліза на анізотропію магнітної сприйнятливості сполуки FeTe.
4. Мають місце деякі помилки стилістичного характеру, невдалі формулювання, наприклад: “анізотропія температури Кюрі-Вейса”, “більш магнітні стани”, “сильна немонотонна поведінка”.

Однак, перелічені зауваження не впливають на основні висновки роботи, їх наукове і практичне значення і на загальну високу оцінку роботи.

Вважаю, що за актуальністю, новизною, високим науковим рівнем, об'ємом виконаних експериментальних досліджень і одержаних результатів дисертаційна робота І.П. Кобзар “Магнітопружні властивості вузькозонних систем на основі 4f– та 3d–металів” повністю задовольняє вимогам “Порядку присудження наукових ступенів” (Постанова Кабінету Міністру України від 24.07.2013 р. № 567), зокрема, пп. 9, 11, 12, а також вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а її