

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

_____ проф. Якібчук П.М.

“ 27 ” _____ 06 2017 року



Електро-кінетичні властивості та магнетизм наноструктур

РОБОЧА ПРОГРАМА
дисципліни вільного вибору аспіранта

підготовки доктор філософії
з галузі знань **10 Природничі науки**
за спеціальністю **105 Прикладна фізика та наноматеріали**

Розробник програми:

доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник, професор
кафедри фізики металів Плевачук Ю.О.

Програма затверджена на засіданні кафедри фізики металів

Протокол № 15 від 26.06.2017

Завідувач кафедри фізики металів


_____ С.І. Мудрий

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол № 5 від 27.06.2017

Голова Вченої ради фізичного факультету


_____ П.М. Якібчук

© Плевачук Ю.О. 2017

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни
“Електро-кінетичні властивості та магнетизм наноструктур ”)

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 3	Галузь знань: <i>10 Природничі науки</i>	<i>Денна форма навчання</i>
Модулів – 1	Спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали	<i>Вибіркова</i>
Блоків змістових модулів – 1		Рік підготовки – <i>другий</i>
Загальна кількість годин – 90	Спеціалізація: <i>Фізика металів</i>	Семестр – 4
Тижневих годин: аудиторних – 3 самостійної роботи – 2,625	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <i>доктор філософії</i>	Лекції – 32 год.
		Практичні – 16 год.
		Самостійна робота – 42 год.
		Вид контролю – <i>іспит</i>

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить – 1,143.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна **“Електро-кінетичні властивості та магнетизм наноструктур”** укладена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії з природничих наук за спеціальністю **105 Прикладна фізика та наноматеріали** і охоплює основні відомості про теоретичні основи виникнення унікальних властивостей в окремих класах неорганічних сполук, базові характеристики систем з нетиповими властивостями, закономірності залежності фізичних властивостей від зовнішніх чинників.

Навчальну дисципліну **“Електро-кінетичні властивості та магнетизм наноструктур”** аспіранти денної форми навчання вивчають на другому році навчання в аспірантурі.

Метою і завданням навчальної дисципліни “Електро-кінетичні властивості та магнетизм наноструктур” є формування необхідних теоретичних знань і практичних навиків, які дозволять інтерпретувати якісні і кількісні характеристики систем з унікальними фізичними властивостями, виводити закономірності між хімічним складом, кристалічною та електронною структурою і фізичними властивостями таких класів сполук, що в подальшому стане цінним інструментом під час виконання дисертаційних робіт.

В результаті вивчення цього курсу аспірант повинен

знати:

як пояснити характерні властивості сучасних неорганічних матеріалів на основі теоретичних понять, як окреслити області застосування окремих класів неорганічних сполук, шляхи оптимізації властивостей сполук з метою одержання новітніх матеріалів.

вміти:

якісно і кількісно проінтерпретувати властивості важкоферміонних систем, магнетокалориків, систем з великими магнетоопором та магнетострикцією, магнітних та нецентросиметричних надпровідників, каталізаторів, передбачити вплив зовнішніх чинників на властивості цих сполук, оптимізувати дослідження властивостей систем з унікальними властивостями.

Навчальний курс охоплює **3 кредити (90 год)**. Курс складається з 32 год лекційних занять, 16 год практичних занять та 42 год самостійної роботи. Тижневе навантаження студента складає 3 год аудиторних занять та 2,625 год самостійної роботи.

3. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Основні магнітні параметри та методи їх вимірювання. Намагніченість, магнітний момент, магнітна сприйнятливості, магнітна проникливість, магнітна індукція, крива намагнічування, петля гістерезису феромагнетика. Магнітометричний метод Фарадея для дослідження магнітної сприйнятливості матеріалів. Методи вимірювання інтегральних магнітних параметрів: магнітометричний, електродинамічний, магнітomeханічний, балістичний, магнітоелектричний, індукційний. Магнітооптичні методи вимірювання локальних магнітних параметрів. Магнітометричний метод для дослідження кінетики кристалізації швидкогартованих металевих сплавів.

Тема 2. Вплив наноструктурованого об'ємного матеріалу на магнітні властивості діаманетиків. Інтенсивна пластична деформація для одержання субмікроструктурної структури (СМК) матеріалів. Вплив нанокристалічного стану на магнітні властивості на прикладі діаманетичної міді. Температурна залежність магнітної сприйнятливості ($\chi(T)$). Магнітна сприйнятливості нанокристалічної міді після відпалу і наступного охолодження до 300°К (відпалова залежність $\chi(300, T)$). Зворотній температурних хід сприйнятливості. Стрибокподібне перетворення субмікроструктурної міді в крупнозернисту. Основні вклади в магнітну сприйнятливості: діаманетизм атомних остовів, спіновий парамагнетизм Паулі, діаманетизм Ландау електронів провідності.

Тема 3. Вплив наноструктурованого об'ємного матеріалу на магнітні властивості парамагнетиків. Залежність температурної магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ до і після відпалу $\chi(300, T)$ парамагнітних на прикладі вихідного і СМК-паладія в інтервалі температур 300-1225 К. Виконання закону Кюрі для вихідного СМК-паладія. Вплив внутрішньозерених вакансій комплексів на поведінку магнітної сприйнятливості при високих температурах. Підтвердження явищем анігіляції позитронів припущення про наявність вакансійних комплексів в СМК-паладії. Вплив нанокристалічного стану титану на магнітні властивості.

Тема 4. Вплив наноструктурування об'ємного матеріалу на магнітні властивості феромагнетиків. Залежність застосування феромагнітних матеріалів від типу їх намагнічування. Потреба у створенні трансформаторів із матеріалів з мінімальною коерцитивною силою. Магнітом'які і магнітотверді матеріали. Наноструктурування на прикладі Ni і сплаву Ni-Cu. Можливості одержання без гістерезисної петлі намагнічування із нанорозмірних порошків сплавів типу Fe₇₅,₅Cu₁Nb₃S₁₃,₅B₉. Залежність залишкової намагніченості та коерцитивної сили від розмірів частинок. Динаміка наномагнітів. Магнітні частинки у наноопорах. Нановуглецеві феромагнетики. Велетенський магнітний опір.

Тема 5. Магнітні властивості нанотрубок. Залежність електропровідності нанотрубок від магнітного поля. Температурна залежність електроопору багатошарових нанотрубок від зовнішнього магнітного поля. Магнітні властивості нанотрубок легованих атомами металів. Порівняльна характеристика температурної залежності магнітної сприйнятливості для кристалічних фулеренів, алмазу, активованого вугілля, графіта і нанотрубок. Нановуглецеві феромагнетики. Петля гістерезису кривої намагнічування нанотрубок, на кінцях яких знаходяться наночастинки заліза. Залежність коерцитивної сили наночастинок заліза на кінцях нанотрубок від температури

Тема 6. Магнетизм кластерів. Орбітальний, спіновий та повний магнітний моменти електрона. Магнітний момент атома у твердому тілі. Магнітний момент кластера, який складається з атомів. Визначення магнітного моменту кластера в досліді Штерна-Герлаха. Залежність магнітного моменту кластера від кількості атомів в кластері. Залежність

температури плавлення наночастинок від діаметра наночастинок. Розміри кластера, при яких відбувається перехід до об'ємного матеріалу. Зростання магнітного моменту для кластерів заліза, кобальту, нікелю в порівнянні з магнітним моментом в масивному зразку.

Тема 7. Теоретичний аналіз температурного ходу магнітної сприйнятливості ГЦК систем з різними типами обмінної взаємодії між атомами. Закон Кюрі-Вейса. Опису поведінки магнітної сприйнятливості магнетика в широкому інтервалі температур. Теоретичний аналіз поведінки залежності магнітної сприйнятливості для таких типів взаємодій між атомами: тільки феромагнітна (позитивна) взаємодія між ближніми атомами; тільки антиферомагнітна (від'ємна) взаємодія між ближніми атомами; співіснування феромагнітної взаємодії між ближніми атомами і дальнього антиферомагнітного; співіснування антиферомагнітної взаємодії між ближніми атомами і дальньої феромагнітної.

Тема 8. Криві намагнічування низькорозмірних порошкових матеріалів. Методи виготовлення нанорозмірних порошоків з металів, оксидів, карбонатів, нітридів, гідроксидів: електрохімічні, розчино-поновлюючі, плазмохімічні, газохімічні, колоїдно-хімічні. Аналіз рентгенограм та середній розмір зерен нанорозмірного порошка заліза. Криві намагнічування гідроксидних, гідроксикарбонатних, оксидних і металевих нанорозмірних частинок заліза. Формування наноструктур на поверхні і в об'ємі опалових матриць та їх магнітні характеристики.

Тема 9. Магнітні властивості аморфних сплавів при нанокристалізації. Методи одержання аморфних стрічок при нанокристалізації. Вплив структурного стану аморфних сплавів на основі Fe і Co на магнітні властивості і параметри ефекту Баркгаузена при різних умовах термічних і термомагнітних оброблень. Магнітна проникливість, петля гістерезису, магнітні втрати, температури Кюрі і кристалізації аморфних сплавів на основі Fe і Co. Магнітні властивості сплавів після термічних і термомагнітних оброблень при різних умовах. Зміщення петлі гістерезису при відпалі в постійному магнітному полі. Низькі магнітні втрати, висока прямокутність петлі гістерезиса, висока магнітна проникливість – результат гартування у воді у змінному магнітному полі з низькою магнітострикцією. Виникнення дисперсних кластерів в аморфних сплавах після термомагнітної обробки.

Тема 10. Феромагнітні рідини. Феромагнітні рідини-колоїди із зазвичай з 10-нанометровими магнітними частинками, покритих поверхнево-активною речовиною для запобігання їх агрегації і виважуваннях у часі або трансформетованому маслі. Наночастинки як однодоменних (суперпараметричні) магніти, їх орієнтація без і в магнітному полі. Безгістерезісна крива намагнічування феромагнітної речовини на основі наночастинок магнетика Fe₃O₄. Ланцюжки магнітних наночастинок у плівці феромагнітної рідини. Ефект Коттона-Мугона (оптична поляризація на плівці феромагнітної рідини в магнітному полі) та схема установки спостереження цього ефекту.

Тема 11. Магнітні фазові перетворення для нанокластерів і наноструктур. Порівняльна характеристика магнітних фазових перетворень для масивних матеріалів і наноструктур. Магнітні фазові перетворення для ізольованих кластерів з розмірами менше 10 нм і з розмірами 10...100 нм. Критичний розмір кластера, менше якого магнітний кластер втрачає магнітне упорядкування і перетворюється в магнітонеупорядковане. Рівняння для зміни густини вільної енергії Гіббса при переході кластера із магнітоупорядкованого в немагнітний стан. Вплив поверхневого натягу кластера і зовнішнього тиску на появу фазових перетворень першого роду. Магнітне фазове перетворення від слабого феромагнетизму до антиферомагнетизму. Колективні магнітні фазові перетворення.

4. Структура навчальної дисципліни

№	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
		лк	пр	лаб	ср
Модуль 1. Магнітні властивості наноструктурованого матеріалу.					
1	Основні магнітні параметри та методи їх вимірювання.	2		–	6
2	Вплив наноструктурованого об'ємного матеріалу на магнітні властивості діамагнетиків.	4	2	–	3
3	Вплив наноструктурованого об'ємного матеріалу на магнітні властивості парамагнетиків	4	2	–	3
4	Вплив наноструктурування об'ємного матеріалу на магнітні властивості феромагнетиків.	4	2	–	6
Модуль 2. Магнетизм наноструктур.					
5	Магнітні властивості нанотрубок.	2	2	–	6
6	Магнетизм кластерів	2	2	–	3
7	Теоретичний аналіз температурного ходу магнітної сприйнятливості ГЦК систем з різними типами обмінної взаємодії між атомами.	2	2	–	3
8	Криві намагнічування низькорозмірних порошкових матеріалів.	2	2	–	3
9	Магнітні властивості аморфних сплавів при нанокристалізації.	2		–	3
10	Феромагнітні рідини.	2	2	–	3
11	Магнітні фазові перетворення для нанокластерів і наноструктур.	4			3
	ВСЬОГО	32	16	–	42

5. Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
МОДУЛЬ 1		
1	Методи вимірювання інтегральних магнітних параметрів	2
2	Вплив нанокристалічного стану титану на магнітні властивості.	2
3	Комп'ютерний розрахунок густини коливних станів	2
4	Вивчення фононних властивостей методом високотемпературної рентгенографії	2
5	Колективні явища в рідинних наносистемах	2
6	Отримання динамічного структурного фактора методом некогерентного розсіяння нейтронів	2
7	Магнітні властивості сплавів після термічних і термомагнітних оброблень при різних умовах.	4
	ВСЬОГО	16

6. Методи навчання

Використовуються такі методи навчання:

- а) *словесні* – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт;
- б) *наочні* – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами та графіками;
- в) *практичні* – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об'єктів.

7. Розподіл балів, що присвоюються студентам

Контроль знань здійснюється за результатами іспиту.

Шкала оцінювання: вузу, національна та ECTS

Оцінка ЄКТС	Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою	
		Екзамен	
A	90–100	5	відмінно
B	81–89	4	дуже добре
C	71–80		добре
D	61–70	3	задовільно
E	51–60		достатньо

8. Рекомендована література

Базова:

1. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Захаренко М.І., Волощенко А.В. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем. Київ: Академперіодика, 2003. –208 с.
2. Кузьменко П.П., Макара В.А. Зв'язок між електронною структурою атомів, кристалічною структурою і магнітними властивостями в металах. - Київ: Наукова думка, 1995. - 128 с.
3. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. К.: Академперіодика, 2003. – 360 с.
4. І.В. Овсієнко, Л.Л. Вовченко, Л.Ю. Мацуй. Вуглецеві матеріали та інтеркальовані сполуки на їх основі. – Наукове видання. НВП “Видавництво “Наукова думка” НАН України”, 2009. 129с.
5. Коротченков О.О. Вступ до фізики низькорозмірних напівпровідникових систем. Властивості гетеропереходів. Київ, Бавок, 2011. – 20 с.

Додаткова:

1. K.H.J Buschow., F.R. de Boer, Physics of magnetism and magnetic materials. – N.Y.: Kluwer Academic Publishers, 2004.
2. S. Blundell, Magnetism in Condensed Matter. - N.Y.: Oxford University Press, 2001.
3. S.Andersson and V.Korenivski, IEEE Trans. Magn.46,2140 (2010).
4. A.F.Kravets, et al., Phys. Rev. B90,104427 (2014).
5. A.F.Kravets, A.N.Timoshevskii, B.Z.Yanchitsky, O.Yu.Salyuk, S.O.Yablonovskii, S.Andersson, and V.Korenivski, J. Magn. Mater.324, 2131 (2012).