

ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ім. Б.І. ВЕРКІНА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора  
ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України



М.І. Галуцьук

« 16 » 09 2020 р.

**ПРОГРАМА**

навчальної дисципліни

**Актуальні проблеми фізики низькотемпературного магнетизму**  
(назва навчальної дисципліни)

з галузі знань «10 Природничі науки»  
за спеціальністю «104 Фізика та астрономія».

<i>Рівень вищої освіти</i>	<u>третій (освітньо-науковий)</u>
<i>Освітня програма</i>	<u>доктор філософії</u>
<i>Форма навчання</i>	<u>денна</u>
<i>Загальний обсяг у кредитах</i>	
<i>Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи:</i>	<u>4 кредити ЄКТС</u>

Харків - 2020

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

Фізико–технічним інститутом низьких температур ім. Б. І. Веркіна  
Національної академії наук України  
(повне найменування вищого навчального закладу)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Звягін Андрій Анатолійович** - доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу математичної фізики Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

**Курносів Володимир Самуїлович** - доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу магнетизму Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

**Саицький Володимир Миколайович** - кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник відділу оптичних та магнітних властивостей твердих тіл Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Програма затверджена Вченою радою Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р., протокол № \_\_\_.

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузі знань: - «10 Природничі науки»	Обов'язковий
Загальна кількість годин – 120 (30 аудиторних)	Спеціальність: - «104 Фізика та астрономія»	
Тижневих годин для денної форми навчання аудиторних – 2 самостійної роботи здобувача – 8	Освітньо-науковий рівень: доктор філософії	<i>Лекції, годин</i>
		30
		<i>Семінари, годин</i>
		6
		<i>Самостійна робота, годин</i>
		84
		<i>Вид контролю</i>
		іспит

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** Метою вивчення дисципліни “Актуальні проблеми фізики низькотемпературного магнетизму” є формування у майбутнього науковця глибокого розуміння універсальності явища магнетизму, а також ознайомлення аспірантів з сучасним станом фізики магнітних явищ, зокрема при низьких температурах, надання інформації про сучасні методи експериментального дослідження магнітних систем, теоретичного опису квантових явищ фізики магнетизму та формування уявлення про проблеми і перспективи розвитку фізики низькотемпературного магнетизму.

**Завдання:** Основним завданням курсу є формування вміння аспірантів самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо оптимального методу дослідження властивостей конкретного об'єкту заданої природи у процесі виконання дисертаційних робіт. В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен знати основні поняття предмету, викладені у програмі курсу; вміти пояснити основні принципи експериментальних методів досліджень та використовувати їх у самостійній науковій роботі.

**У результаті вивчення курсу аспірант повинен**

**знати:**

- знати місце явища магнетизму у сучасному техногенному суспільстві та його вплив на науково-технічний прогрес;
- (на поняттєво-аналітичному рівні) знати фундаментальні поняття магнетизму, основні магнітні явища та процеси у твердих тілах, сучасні методи їх вивчення та основи створення магнітних систем і експериментального устаткування; а також наукові принципи створення функціональних магнітних матеріалів та їх практичного застосування;

**вміти:**

- вміти в межах теоретичних уявлень аналітично описати властивості основних класів магнетиків а також експериментально визначити належність речовини до певного магнітного класу;

- обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з низькотемпературного магнетизму;
- використовувати довідкову і навчальну літературу в галузі низькотемпературного магнетизму, знаходити інші необхідні джерела інформації і працювати з ними.
- пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі **програмні результати навчання** (згідно з освітньо-науковою програмою «ФІЗИКА»):

**знання:**

- 1) здобуття поглиблених знань і розумінь в фізиці та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів та/або теоретичних наукових досліджень (ПРН-1.1);
- 2) здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації (ПРН-1.2);
- 3) здатність ясно та ефективно описувати результати наукової роботи (ПРН-1.3);
- 4) здатність вести спеціалізовані наукові семінари та публікувати наукові статті в вітчизняних та закордонних наукових журналах (ПРН-1.4);
- 5) здатність робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, он-лайн ресурси (ПРН-1.5);
- 6) здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі індивідуальних досліджень (ПРН-1.6);
- 7) досягнення відповідних знань, розумінь та здатностей використання методів аналізу даних та статистики на найбільш сучасному рівні (ПРН-1.7).

**уміння:**

- 1) здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел (ПРН-2.1);
- 2) самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати (ПРН-2.2);
- 3) обирати методи і моделювати явища та процеси різної складності при вирішенні фізичних задач з урахуванням спеціалізації в конкретних галузях фізики конденсованого стану (ПРН-2.3);
- 4) поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів (ПРН-2.4);
- 5) застосовувати знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації (ПРН-2.5);
- 6) ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди (ПРН-2.6);
- 7) застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання науково-дослідних завдань з обраної спеціалізації та проведення досліджень (ПРН-2.7);
- 8) аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення (ПРН-2.8);
- 9) підготувати запит на отримання фінансування, звітну документацію (ПРН-2.9).
- 10) формулювати науково і технічно значиму проблематику, володіти різними формами її публічної презентації (он-лайн презентації, публічні лекції, науково-популярні тексти тощо) (ПРН-2.10).

Здобути комунікативні навички та набути навичок працювати автономно і відповідально:

- 1) ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях, включаючи усну та письмову комунікацію іноземною мовою (ПРН-3.1);
- 2) кваліфіковано представляти та обговорювати отримані результати та здійснювати трансфер набутих знань (ПРН-3.2).
- 3) здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення (ПРН-4.1);
- 4) здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань (ПРН-4.2);
- 5) здатність відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики (ПРН-4.3);

- 6) здатність самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень (ПРН-4.4);
- 7) здатність демонструвати розуміння засад охорони праці, електробезпеки та їх застосування (ПРН-4.5).

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у аспірантів загальних та фахових **компетентностей**:

- ЗК-1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- ЗК-2 Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;
- ЗК-5 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації;
- ЗК-8 Здатність бути критичним і самокритичним;
- ЗК-9 Здатність до практичного застосовування знань;
- ЗК-10 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- ЗК-11 Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК-12 Здатність до наукового мислення, зокрема володіння загальнонауковими (філософськими) компетентностями, спрямованими на формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.
- ЗК-13 Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, а також академічної доброчесності, характерних для учасників академічного середовища.
- ФК-1 Концептуальні та методологічні знання щодо історії розвитку та сучасного стану наукових досліджень з основних напрямів фізики.
- ФК-2 Поглиблені спеціалізовані знання з того напрямку сучасної фізики, який був обраний для проведення власного наукового дослідження, та розуміння сучасних фізичних теорій і методів, спроможність до їхнього аналізу та ефективного застосування в практиці наукової та науково-педагогічної діяльності і проведенні досліджень.
- ФК-4 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у фізиці і дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики та суміжних галузей.
- ФК-6 Здатність самовдосконалюватися, презентувати результати досліджень фахівцям і нефаківцям.
- ФК-7 Здатність до формулювання наукових задач та планування стратегій їхнього розв'язання з можливістю інтеграції знань з різних наукових сфер та застосуванням системного підходу в практичній діяльності.
- ФК-10 Здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі узагальнення власних експериментальних або теоретичних досліджень з фізики.
- ФК-11 Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати комплексні аспекти при розв'язанні проблемних завдань та проведенні наукових досліджень.
- ФК-12 Знати та вміти застосовувати фундаментальні знання з фізики конденсованого стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах і рідинах, знати основні закономірності утворення структури твердих тіл та взаємозв'язок структури з фізичними властивостями твердих тіл, вміти використовувати основні принципи сучасної фізики конденсованого стану до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.
- ФК-14 Знати основні поняття теорії електронних і фононних спектрів твердих тіл і експериментальних методів їх дослідження, положення квантової теорії і статистичної фізики кристалічних систем та вміти проводити аналіз різноманітних властивостей твердих тіл на основі електронних та фононних спектрів кристалів.
- ФК-17 Знати сучасний стан фізики магнітних явищ, зокрема при низьких температурах, сучасні методи експериментального дослідження магнітних систем, теоретичного опису квантових явищ фізики магнетизму та проблеми і перспективи розвитку фізики низькотемпературного магнетизму, основи побудови магнітних систем і експериментального устаткування; наукові принципи створення функціональних магнітних матеріалів та їх практичного застосування. Вміти аналітично описати властивості основних класів магнетиків а також експериментально визначити належність речовини до певного магнітного класу
- ФК-19 Знати сучасний стан фізики мезо- та наноскопічних систем і наноструктур, сучасні методи їх

отримання і експериментального дослідження, а також проблеми і перспективи розвитку фізики наноструктур і нанотехнологій, вміти обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи міждисциплінарні знання з нанотехнологій і наноматеріалів

### **Пререквізити**

Для вивчення курсу необхідні знання з курсу загальної фізики, зокрема електрики і магнетизму, оптики, квантової механіки, атомної фізики.

### **Постреквізити**

Основні положення навчальної дисципліни мають застосовуватися при плануванні і виконанні власних наукових досліджень та подальшій обробці і аналізі результатів цих досліджень.

## **3. Анотація навчальної дисципліни**

Курс «Актуальні проблеми фізики низькотемпературного магнетизму» є курсом зі спеціалізації, який узагальнює та систематизує знання аспірантів, отримані при вивченні інших курсів, а також поглиблює розуміння та засвоєння університетського курсу загальної фізики. Курс знайомить з новими магнітними системами і явищами, що в них відбуваються під впливом різноманітних зовнішніх факторів. Крім того, курс знайомить з сучасними методами експериментальних досліджень властивостей магнетиків.

## **4. Структура навчальної дисципліни**

### **Тема 1. Квантова теорія магнетизму.**

Містить матеріали, що спрямовані на засвоєння аспірантами основних базових уявлень про природу магнітних явищ, зокрема розкриває їх природу та квантовий характер. Розглядає уявлення про всі можливі види взаємодій у речовині, електронну будову атомів та сполук і принципи утворення магнітних структур та різноманітних видів магнітного впорядкування. Описує методи аналізу та теретичного дослідження магнітовпорядкованих речовин.

### **Тема 2. Елементарні магнітні збудження в конденсованих середовищах.**

Розглядає принципи опису збуджених станів, що пов'язані з магнітними ступенями свободи. Встановлює вплив, завдяки різноманітним механізмам взаємодії, збуджень магнітного походження на інші ступені свободи в конденсованих середовищах, насамперед, в кристалах. Дає уявлення про механізми взаємодії збуджень, які зачіпають магнітні ступені свободи, з електромагнітним полем і пов'язані з цим принципи експериментальних спектральних досліджень. Вводить в основи аналізу експериментальних даних гігагерцової та терагерцової оптичної спектроскопії.

### **Тема 3. Магнетики у зовнішньому магнітному полі та перспективи застосування магнітних явищ і матеріалів.**

Містить відомості про вплив зовнішніх чинників, здебільшого магнітного поля, на властивості магнітовпорядкованих речовин. Розглядає базові засади прикладних досліджень основних класів магнетиків та способи їх практичного застосування. Описує сучасні пристрої та обладнання, спрямовані як на розширення можливостей наукових досліджень, так і на потреби забезпечення комфортних умов життя людини.

## Загальна структура навчальної дисципліни

№	Назва теми	у тому числі			
		Усього	Лекції, годин	Семинар, годин.	Самостійна робота, годин
1.	Квантова теорія магнетизму.	40	10	2	28
2.	Елементарні магнітні збудження в конденсованих середовищах	40	10	2	28
3.	Магнетики у зовнішньому магнітному полі та перспективи застосування магнітних явищ і матеріалів.	40	10	2	28
Усього, годин		<b>120</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>84</b>

### Теми лекційних занять

№	Назва лекції	Кількість годин
1.	Класична електродинаміка. Магнітний момент. Термодинаміка і статистична механіка магнетиків. Теорема Бора- ван Льовен. Електрон в кулонівському потенціалі ядра. Квантова механіка орбітальних моментів. Рівняння Дірака. Спін. Ферміони і бозони.	2
2.	Спін-орбітальна взаємодія. Частково заповнені орбіталі. Правила Хунда. Повний момент. Ефект Зеемана. Кристалічне поле. Ефект Яна-Теллера.	2
3.	Диполь-дипольна взаємодія. Молекула водню. Прямий обмін. Кінетичний обмін. Непрямий (посередній) обмін. Взаємодія Дзялошинського-Морія. Взаємодія РККІ.	2
4.	Прості моделі магнетизму – модель Ізинга. Опис упорядкованих магнетиків. Середнє поле. Елементарні збудження – магнони. Фазові переходи. Теорія Ландау. Урахування флуктуацій. Скейлінг.	2
5.	Динамічні властивості квантових систем. Магнітні резонанси: електронний парамагнітний резонанс, ядерний магнітний резонанс, ферро- та антиферромагнітні резонанси. Магнітна нейтронографія.	2
6.	Намагнічування речовин у зовнішньому полі. Діамагнетизм, парамагнетизм. Взаємодія парамагнітних центрів. Ступені свободи, що пов'язані з магнітними моментами центрів.	2
7.	Магнітне впорядкування. Основний стан. Роль розмірності магнітної структури. Спінові хвилі, як збудження над основним станом. Нелінійні магнітні збудження. Солітони.	2
8.	Феноменологія взаємодії електромагнітних хвиль з магнітними збудженнями одно- та багаточастинкової природи.	2

9.	Характерні прояви магнітних збуджень в спектрах оптичного поглинання, ДІЧ поглинання, комбінаційного (раманівського та бриллюєнівського) розсіяння світла.	2
10.	Експериментальна техніка оптичного поглинання, ДІЧ поглинання, раманівського та мандельштам-бриллюєнівського розсіяння світла.	2
11.	Магнітні властивості надпровідників. Ефект Мейснера. Критичні магнітні поля та критичні струми. Проникнення поля в надпровідники першого та другого роду. Вихори Абрикосова.	2
12.	Магнетизм і ВТНП. Квантування магнітного потоку. Ефект Джозефсона. СКВІД-магнітометри.	2
13.	Антиферомагнетик у зовнішньому магнітному полі. Експериментальні дослідження перекидання магнітних підгранок Проміжний стан антиферомагнетика.	2
14.	Гальваномагнітні явища. Ефект Холла. Явище магнітоопору. Струм спінополяризованих електронів. Спінтроніка.	2
15.	Сучасні магнітні матеріали та їх застосування. Надпровідні магнітні системи та принципи їх створення. ЯМР-томографія.	2
	<b>Разом</b>	<b>30</b>

### Теми семінарських занять

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Квантові властивості парамагнетиків. Магнітна сприйнятливість, теплоємність.	2
2.	Резонансні явища та їх використання для дослідження магнітних властивостей речовини.	2
3.	Магнітокалоричний ефект, адіабатичне розмагнічування парамагнетиків. Одержання низьких та наднизьких температур. Магнітні властивості надпровідників. Використання магнітних властивостей надпровідників для одержання постійних магнітних полів. Приклади застосування надпровідних магнітних систем.	2
	<b>Разом</b>	<b>6</b>

### Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Розвиток уявлень про природу магнітних явищ. Електрична природа магнітних властивостей. Доквантовий період: класична електродинаміка, гіпотеза й теорема Ампера. Орбітальний і спіновий магнітні моменти електрона. Магнітомеханічні відношення $g_l$ та $g_s$ . Магнітні моменти	10



	протона і нейтрона. Кваркова модель. Магнетон Бора і ядерний магнетон. Магнітний монополь.	
2.	Недосконалість класичної моделі будови атома. Постулати Бора. Співвідношення невизначеностей. Атом у магнітному полі. Просторове квантування проєкцій магнітних моментів. Розщеплення енергетичного стану атома у магнітному полі. Електрична і магнітна взаємодії між електронами в атомі. $L-S$ та $jj$ - зв'язки. Векторна модель атома. Магнітний момент атома, фактор Ланде. Основний енергетичний стан атома. Терм основного стану.	10
3.	Види взаємодії між атомами. Диполь-дипольна (спін-спінова) взаємодія. Спін-орбітальна взаємодія. Обмінна взаємодія. Магнітне впорядкування. Методи виявлення магнітного порядку в кристалах. Види магнітного впорядкування. Колінеарні магнітні структури. Неколінеарні магнітні структури. Модульовані магнітні структури. Аморфні магнетики. Суперпарамагнетики.	8
4.	Магнітні властивості систем невзаємодіючих або слабо взаємодіючих атомів (іонів) - орієнтаційний парамагнетизм локалізованих магнітних моментів (ідеальний газ магнітних моментів). Закони Кюрі й Кюрі-Вейса. Стала Кюрі. Врахування просторового квантування – формула Бриллюена. Діамагнітні властивості атомів та молекул. Діамагнетизм металів. Осциляції сприйнятливості в магнітному полі – ефект де Гааза-ван Альфена.	10
5.	Елементарні збудження в кристалічному середовищі, квазічастинки, та їх властивості. Загальні уявлення про спінові хвилі (магнони). Ефект Рамана, уявлення про механізми комбінаційного розсіяння світла за участю фононів, магнонів та екситонів. Магнітні збудження в процесах раманівського розсіяння та ІЧ поглинання. Феромагнітний та антиферомагнітний резонанс, характерні риси та умови спостереження..	10
6.	Оптичні властивості магнетиків. Уявлення про магнітооптичні ефекти та їх природу. Лінійний та циркулярний дихроїзм поглинання світла в парамагнітних та магнітовпорядкованих кристалічних середовищах. Загальні уявлення про магнітоелектричні кристали, симетрійні аспекти, оптичні властивості в гігагерцовому діапазоні частот, електромагнони.	8
7.	Причини виникнення доменної структури. Методи спостережень магнітних доменів. Доменні стінки. Види доменних стінок. Доменні стінки Блоха та Нееля. Доменна структура. Розміри доменів Циліндричні магнітні домени. Однодоменні феромагнітні наночастинки. Процеси намагнічування. Зміщення доменних стінок. Обертання намагніченості.	10
8.	Адіабатичне розмагнічування парамагнетиків. Одержання низьких та наднизьких температур. Магнітні властивості надпровідників. Використання магнітних властивостей надпровідників для одержання постійних магнітних полів. Приклади застосування надпровідних магнітних систем. Орієнтаційні фазові переходи в АФМ. Проміжний та змішаний магнітні стани речовини.	10
9.	Традиційні магнітні матеріали та застосування їх у техніці. Новітні магнітні матеріали та штучні магнетики. Традиційні методи магнітного запису та перспективи їх подальшого застосування. Жорсткі магнітні диски (вінчестери). Термомагнітне записування інформації. Методи прочитання інформації. ЯМР-томографія в медицині. Застосування магнетизму у нетрадиційній медицині	8
	<b>Разом</b>	<b>84</b>

## 5. Методи навчання

**МН1 – Лекції.** Лекційний матеріал охоплює центральні та найбільш складні проблеми сучасної фізики низькотемпературного магнетизму. Простіші питання, що добре висвітлені в літературі, виносяться на самостійне вивчення.

**МН2 – Семінарські заняття.** Семінарські заняття передбачають самостійне вивчення аспірантами за завданням викладача окремих питань і тем лекційного курсу з наочним оформленням матеріалу у вигляді презентації, усної доповіді, повідомлення тощо. Семінарські заняття дають змогу викладачам ближче познайомитися з аспірантами, донести до них необхідну інформацію, а відтак перевірити, як вони засвоїли її, як користуються нею в навчальній і науковій роботі. Викладач має змогу враховувати теоретичну і практичну підготовку аспіранта, його індивідуальні особливості і здібності, що зумовлює підвищення рівня підготовки кожного аспіранта.

**МН4 – Самостійна робота.** Робота здобувачів носить в основному самостійний характер. Вони самостійно роблять пошук наукової літератури і опрацьовують її, консультуючись з викладачем. Таким чином вони удосконалюють набуті раніше навички роботи з літературою за фахом. Основна увага приділяється формуванню та засвоєнню базових знань в галузі низькотемпературного магнетизму та вмінню застосовувати їх до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

**МН3, МН5** – демонстрація презентацій, використання засобів мультимедіа, дистанційні заняття з використанням комп'ютерних засобів.

## 6. Методи діагностики знань

### ФОРМИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ (ФО)

**ФО1** – відвідування лекцій та творчий підхід в процесі наукового пошуку (20 балів);

**ФО2** – самостійна робота, опрацювання літератури та електронних джерел за темою дослідження (20 балів);

**ФО4** – відповідь на семінарі та використання сучасних інформаційних технологій при підготовці відповіді (20 балів);

**ФО5** – робота в команді при виконанні завдань самостійної роботи та на семінарі (5 балів);

**ФО6, ФО8, ФО9, ФО10** – підготовка та оформлення реферату та презентації, використання у доповіді прикладів реальних фізичних об'єктів, що пов'язані з дисертаційним дослідженням (20 балів).

Екзамен (15 балів)

Всього: 100 балів.

### Шкала оцінювання

Сума балів	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
80-89	добре	
70-79		
60-69	задовільно	
50-59		

1-49	незадовільно	не зараховано
------	--------------	---------------

## 7. Критерії оцінювання результатів навчання

Кількість балів	Критерії оцінювання
90-100	У відповіді повністю розкрито зміст питання. Матеріал викладено логічно, аргументовано, мова є грамотною, науковий стиль викладення матеріалу, вільне володіння термінологічним апаратом дисципліни. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що входить до навчальної програми, та продемонстровано високі практичні навички.
75-89	Відповідь досить повно розкриває зміст питання або розкриває основні (найважливіші) аспекти у запитанні, слухач володіє термінологічним апаратом дисципліни. У викладеному матеріалі слухач має помилки із аргументацією відповіді, недостатня логічність та послідовність викладення матеріалу. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, та середній рівень володіння практичним матеріалом.
60-74	Відповідь на контрольне питання є неповною, розкриває тільки деякі аспекти навчального матеріалу. Слухач припускається помилок у використанні термінології навчальної дисципліни. Рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, додатковим та практичним матеріалом є середнім.
35-59	У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.
1-34	Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією

## 8. Навчально-методичне забезпечення

На початку семестру здобувачі отримують:

1. Робочу програму, що містить перелік тем, список рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів, критерії та шкалу оцінювання; контрольні запитання до іспиту;

2. Пакет літератури, що містить основні підручники, навчальні та методичні посібники в електронній формі (формати .pdf та .djvu),

## 9. Питання до заліку/екзамену

1. Гіпотеза та теорема Ампера.
2. Орбітальний магнітний момент електрона в атомі.
3. Гіромагнітне відношення та його експериментальне визначення.
4. Постулати Бора.
5. Стаціонарні стани. Хвильова функція електрона.
6. Атом водню з точки зору квантової механіки.
7. Просторове квантування моменту кількості руху.
8. Магнітний момент у зовнішньому магнітному полі.
9. Фактор Ланде.
10. Природа спін-орбітальної взаємодії.
11. Одержати формулу для розрахунку  $g$ -фактора електронної оболонки атома.
12. Структура атомного ядра.
13. Зв'язок Рассела – Саундерса.  $jj$  - зв'язок.
14. Правила Хунда.
15. Терм атома.
16. Ефект Зеемана.
17. Теплоємність парамагнетика. Аномалія Шотткі.

18. Прості моделі магнетиків - модель Ізинга.
19. Теорія середнього поля для ферромагнетика.
20. Магнітні підґратки. Теорія середнього поля для антиферромагнетика. Переход типу спін-флоп.
21. Теорія фазових переходів Ландау. Скейлінг. Флуктуації параметру порядку.
22. Спінові хвилі. Низькотемпературна теплоємність магнітовпорядкованих систем.
23. Електронний парамагнітний резонанс.
24. Ядерний магнітний резонанс.
25. Магнітні резонанси в магнітовпорядкованих системах.
26. Основи магнітної нейтронографії.
27. Диполь-дипольна взаємодія
28. Прямий обмін. Непрямий (посередній) обмін.
29. Взаємодія Дзялошинського-Морія.
30. Взаємодія РККІ
31. Намагнічування системи невзаємодіючих моментів
32. Магнітний момент системи з довільним спіном
33. Магнітна анізотропія парамагнетиків
34. Закон Кюрі
35. Функція Бріллюена
36. Парамагнетизм електронів провідності у металі.
37. Розщеплення енергетичних рівнів
38. Намагнічення парамагнітних солей. Порівняння експериментальних даних та розрахованих за рівнянням Бріллюена
39. Намагнічування системи моментів, що взаємодіють між собою
40. Рівняння Ван-Флека
41. Закон Кюрі-Вейса
42. Парамагнетизм Паулі.
43. Заморожування орбітального моменту у кристалічному полі.
44. Магнітооптичні ефекти.
45. Спінові хвилі, їх взаємодія з електромагнітним випромінюванням.
46. Екситон-магнонне поглинання світла в антиферромагнетиках.
47. Механізми розсіяння світла на магнонах.
48. Електромагнони в магнітоелектриках.
49. Нелінійні магнітні збудження, солітони.
50. Фазова діаграма надпровідника у зовнішньому магнітному полі.
51. Як відбувається руйнування НС у НП 2-го роду?
52. Що таке пінінг у надпровідниках?
53. Проміжний та змішаний стан у надпровідниках.
54. Квантування магнітного потоку
55. Пояснити вираз: “надпровідник – ідеальний діамагнетик”.
56. Дати характеристику надпровідників 1-го та 2-го роду.
57. Що таке вихори Абрикосова?
58. Охарактеризувати “м’які” та “жорсткі” надпровідники.
59. У чому полягає ефект Джозефсона?
60. Що таке “довжина когерентності” у НП? Її характерна величина?
61. Як відбувається руйнування НС у НП 1-го роду?
62. Що таке СКВІД?
63. Що таке магнітоелектрики?
64. Що таке крип магнітного потоку?
65. Охарактеризувати процес перекидання підґраток одновісного АФМ у зовнішньому магнітному полі.
66. Зобразити конфігурацію векторів намагнічення підґраток під час спін-флоп переходу.

67. Практичне застосування явища магнітострикції.
68. Гальваномагнітні явища та їх природа.
69. Ефект Холла та його застосування.
70. Природа магнітоопору у електричних провідниках.
71. Що таке спінтроніка?
72. Сучасні магнітні матеріали.
73. Принцип запису інформації на магнітних носіях.
74. Термомагнітний метод запису інформації.
75. Використання магнітних явищ для діагностики захворювань у медицині.

## 10. Рекомендована література

### Основна:

1. Боровик Е. С., Еременко В. В., Мильнер А. С. Лекции по магнетизму. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 512 с.
2. Вонсовский С.В. Магнетизм, М.: Наука, 1971. – 1031 с.
3. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма (Магнитные свойства вещества). – М.: "Мир", 1983. – 304 с.
4. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма (Магнитные характеристики и практические применения). – М., Мир, 1987. – 416 с.
5. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. – М.: изд.МГУ, 1976. – 367.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела, М.: Наука, 1978. – 791 с.
7. Блейкмор Дж, Физика твердого тела, М: Мир, 1988. – 400 с.
8. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма, М.: Мир. 1985. – 304 с.
9. Zvyagin A.A., Quantum Theory of One-Dimensional Spin Systems, Cambridge Scientific Publishers, Cambridge, 2010. – 330 pp.
10. Андерс А.Г. Магнитный резонанс в низкоразмерных магнитных системах. Харьк. нац. ун-т им. В.Н. Каразина. 2010. – 143 с.
11. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М., Наука, 1973. – 592 с.
12. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса, М.: Мир, 1981. – 448 с.
13. Еременко В.В. Введение в оптическую спектроскопию магнетиков. К.: Наукова думка, 1975. – 472 с.
14. Фабелинский И.Л. Молекулярное рассеяние света. М.: Наука, 1965. – 512 с.
15. Савицький В.М. Магнітні властивості речовини.: навч. посіб./ – Х.: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2010. – 328 с.
16. Товстолиткін О.І., Боровий М.О., Курилюк В.В., Куницький Ю.А. Фізичні основи спітроніки.: навч.посіб./ Вінниця.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. – 500 с.
17. Туров Е.А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М. 1963. – 223 с.
18. Смарт Дж. Эффективное поле в теории магнетизма, М.: Мир, 1968. – 271 с.
19. А.И.Ахизер, В.Г.Барьяхтар, С.В.Пелетминский, Спиновые волны, М., Наука, 1967. – 368 с.
20. С.В.Тябликов, Методы квантовой теории магнетизма, М., Наука, 1965. – 336 с.
21. Э.Г.Петров, Теория магнитных экситонов, Киев, Наукова думка, 1976. – 240 с.
22. Матгис Д. Теория магнетизма, - М.: «Мир», 1967. – 408 с.
23. Звездин А.К., Матвеев В.М., Мухин А.А., Попов А.И., Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах, М.: Наука, 1985. – 296 с.

### Додаткова:

1. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Магнетизм - что это? - К.: Наукова думка, 1991. – 207 с.
2. Каганов М.И., Цукерник В.М., Природа магнетизма – М.:Наука. 1982. – 192 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976. – 920 с.
4. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. М.: Энеогоатомиздат, 1988. – 192 с.
5. Уилсон М. Сверхпроводящие магниты. М.: Мир, 1985. – 405 с.
6. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. М.: Мир, 1977. – 358 с.
7. Карлин Р.. Магнетохимия. М. Мир, 1989.

8. Еременко В.В., Харченко Н.Ф., Литвиненко Ю.Г., Науменко В.М. Магнитооптика и спектроскопия антиферромагнетиков. К.: Наукова думка, 1989. – 264 с.
9. Еременко В.В., Сиренко В.А. Магнитные и магнитоупругие свойства антиферромагнетиков и сверхпроводников. – Киев : Наукова думка, 2004. – 295 с.
10. Альтшулер С.А., Козырев Б.М., Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп, М.: Наука, 1972. – 670 с.
11. Веллюз Л., Легран М., Грожан М. Оптический магнитный круговой дихроизм. М.: Мир, 1967. – 314 с.
12. Б.Е.Левин, Ю.Д.Третьяков, Л.М.Летюк. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. – М.: Металлургия, 1979. – 466 с.
13. Косевич А.М., Иванов Б.А., Ковалев А.С., Нелинейные волны намагниченности. Динамические и топологические солитоны, К.: Наукова думка, 1983. – 192 с.
14. И.Я.Коренблит, Е.Ф.Шендер. Спиновые стекла и неэргодичность, УФН, т.157, в.2, с.267, 1989.
15. Нагаев Э.Л., Магнетики со сложными обменными взаимодействиями, М.: Наука, 1988. – 232 с.
16. В.С.Львов, Нелинейные спиновые волны, М., Наука, 1987. – 272 с.
17. Туров Е.А., Кинетические, оптические и акустические свойства антиферромагнетиков, Свердловск, 1990. – 131 с.
18. В.С.Доценко. Физика спин-стекольного состояния, УФН, т.163, в.6, с.1, 1993.
19. Zvyagin A.A., Finite size effects in correlated electron models: Exact results, Imperial College Press, London, 2005 -350 p.
20. Ю.А.Изюмов, Р.П.Озеров. Магнитная нейтронография, М., 1966. – 532 с.
21. Ю.И.Петров. Физика малых частиц. – М.: «Наука», 1982. – 359 с.
22. Л.М.Сороко. Интроскопия на основе ядерного магнитного резонанса. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
23. Изюмов Ю.А., Медведев М.В., Теория магнитоупорядоченных кристаллов с примесями, М.: Наука, 1970. – 271 с.
24. Малоземов А., Слонзуски Дж., Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами, М.: Мир, 1982. – 382 с.

## Интернет-ресурсы

1. <http://library.univer.kharkov.ua/book/html/phys1/Savicky2.pdf>
2. <http://library.univer.kharkov.ua/book/html/phys1/Savicky1.pdf>
3. <https://sites.google.com/site/magnitnivlastivostirecovini/>
4. <https://opticstoday.com/>
5. <http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/ogurtsov/lect4mag.pdf>

Внутрішня мережа ФТІНТ : V:\Books