

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
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. Глушук

« 7 » листопада 2020 р.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Сучасна фізика надпровідності: прикладні аспекти, теорія та експеримент  
(назва навчальної дисципліни)

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

РОЗРОБНИК/-И:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу транспортних властивостей провідних та надпровідних систем ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Соловйов Андрій Львович

підпис

Погоджено Науковою радою з проблеми «Електронні властивості провідних та надпровідних систем» ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України 13.06. 2020 р., протокол № 6

Голова Ради

/ Ю. А. Колесніченко /

Вчений секретар Ради

/ В. В. Андрієвський /

Затверджено Вченою радою Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, 07.07. 2020 р., протокол № 5.

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

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

СУЧАСНА ФІЗИКА НАДПРОВІДНОСТІ: ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ, ТЕОРІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТ  
2020-2021 навчальний рік

<i>Назва n/n</i>	<i>Коротка інформація</i>
<b>Назва</b>	<b>СУЧАСНА ФІЗИКА НАДПРОВІДНОСТІ: ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ, ТЕОРІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТ</b>
<b>Адреса викладання</b>	м. Харків, пр. Науки, 47
<b>Рівень вищої освіти</b>	Третій освітньо-науковий рівень
<b>Галузі знань</b>	10 «Природничі науки»
<b>Шифр та назва спеціальності</b>	104 Фізика та астрономія
<b>Викладач /-чі/</b>	д.ф.-м.н., с.н.с. Соловйов А.Л., к.ф.-м.н., с.н.с. Турутанов О.Г. к.ф.-м.н., с.н.с. Юзефович О.И.
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	<a href="mailto:solovjov@ilt.kharkov.ua">solovjov@ilt.kharkov.ua</a> <a href="mailto:turutanov@ilt.kharkov.ua">turutanov@ilt.kharkov.ua</a> <a href="mailto:yuzephovich@ilt.kharkov.ua">yuzephovich@ilt.kharkov.ua</a>
<b>Графік занять</b>	За розкладом
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Середа 16.00-17.00. пр. Науки, 47, адмін.. корпус, к. 37; он-лайн консультації через Skype, Viber або Zoom (для узгодження часу писати на електронну пошту <a href="mailto:solovjov@ilt.kharkov.ua">solovjov@ilt.kharkov.ua</a> , <a href="mailto:turutanov@ilt.kharkov.ua">turutanov@ilt.kharkov.ua</a> , <a href="mailto:yuzephovich@ilt.kharkov.ua">yuzephovich@ilt.kharkov.ua</a> )
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://">https://</a>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
<b>Інформація про навчальну дисципліну</b>	Дисципліна «Сучасна фізика надпровідності: прикладні аспекти, теорія та експеримент» є вибіркою навчальною дисципліною зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» для підготовки доктора філософії з природничих наук. Дана дисципліна викладається у 2-3 семестрах підготовки в обсязі 4 кредитів за Європейською кредитно-трансферною системою /ECTS/.
<b>Анотація</b>	Курс з навчальної дисципліни «Сучасна фізика надпровідності: прикладні аспекти, теорія та експеримент» є курсом зі спеціалізації, який знайомить з фізичними основами явища надпровідності, теоретичними моделями і ефектами, властивостями класичних низькотемпературних надпровідників і сучасних надпровідних систем з високими критичними температурами, наноструктурами і приладами, що базуються на надпровідності, фізичними методами створення та дослідження їхніх властивостей.
<b>Мета та цілі</b>	Метою дисципліни “Сучасна фізика надпровідності: прикладні аспекти, теорія та експеримент” є ознайомлення аспірантів з сучасним станом і актуальними проблемами фізики надпровідності, надати інформацію про основні ефекти і закони як класичної низькотемпературної, так і високотемпературної надпровідності, методи дослідження надпровідників та надпровідних структур і практичного застосування їх у науці, техніці і промисловості, сформулювати уявлення про проблеми пошуку надпровідників з високими критичними параметрами і незвичайними властивостями. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у майбутніх науковців самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо оптимального методу дослідження властивостей конкретного надпровідника у процесі виконання дисертаційних робіт. В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен знати основні поняття предмету, викладені у програмі курсу; пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи досліджень у самостійній науковій роботі.
<b>Загальний обсяг у кредитах Європейської кредитно-трансферної системи /ECTS/</b>	4 кредити
<b>Загальна кількість годин</b>	120 годин
<b>Структура</b>	36 годин аудиторних. З них 30 годин лекцій, 6 годин семінарських занять, 84 години самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	У результаті вивчення курсу аспірант повинен знати:

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- термінологію в галузі надпровідності;</li> <li>- фізичні основи і механізми явища надпровідності, особливості його прояви у класичних НТНП і сучасних ВТНП;</li> <li>- основні найбільш вживані надпровідники та їхні параметри, як-то критичні температури, магнітні поля та струми, довжина когерентності і глибина проникнення магнітного поля тощо;</li> <li>- основні положення теорій Гінзбурга-Ландау (Г-Л), Бардіна-Купера-Шріфера (БКШ), надпровідних флуктуацій Хікамі-Ларкіна та інші теоретичні уявлення про стаціонарні і нерівноважні властивості надпровідників та їхню взаємодію із зовнішніми полями;</li> <li>- механізми руйнування надпровідності різними факторами, як-то температурою, електричним струмом, зовнішніми магнітними і електромагнітними полями;</li> <li>- найбільш вагомні застосування надпровідників у науці, техніці, промисловості та інших областях;</li> <li>- основні принципи створення багатокомпонентних надпровідників та дослідження їхніх властивостей;</li> <li>- основні проблеми, які стоять перед сучасною фізикою надпровідності і напрями їх вирішення;</li> <li>- сучасні методи і основну апаратуру для дослідження надпровідників та структур, що на них базуються;</li> </ul> <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання і одержані знання з надпровідності;</li> <li>- орієнтуватися у довідковій та навчальній літературі в галузі фізики надпровідності, знаходити інші необхідні джерела інформації і використовувати їх для вирішення конкретних завдань;</li> <li>- планувати конкретні експерименти і розрахунки у рамках поставленого завдання у самостійній науковій роботі;</li> <li>- користуватися основними експериментальними і чисельними методами дослідження;</li> <li>- використовувати теоретичні знання з надпровідності для тлумачення одержаних експериментальних і розрахункових результатів;</li> <li>- спираючись на теоретичні знання, вирішувати необхідні рівняння, як-то моделі локальних пар для багатокомпонентних новітніх надпровідників, тобто описувати динамічне поведження псевдоціліни.</li> </ul> <p>Інтегральний результат навчання полягає у тому, що аспірант повинен</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Уявляти основні глобальні задачі в галузі фізики новітніх надпровідників.</li> </ul>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вміти на високому рівні проводити наукові дослідження.</li> <li>• Володіти навичками використання новітньої дослідницької апаратури.</li> <li>• Вміти описувати результати власних наукових досліджень у фахових публікаціях у вітчизняних та закордонних спеціалізованих виданнях.</li> <li>• Працювати над власним розвитком та вдосконалюванням, виявляти прагнення до підвищення професійної кваліфікації та критично оцінювати власні здобутки, бачити обмеження та вміти визначати перспективи подальшого професійного вдосконалення.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Надпровідність, тверде тіло, низькотемпературні надпровідники, слабка надпровідність, надструктури, критичні параметри, ефекти Джозефсона, високотемпературні надпровідники, локальні пари, псевдо щілина
<b>Програма навчальної дисципліни</b>	<p>Тема 1. Відкриття надпровідності</p> <p>Тема 2. Надпровідники II роду (фаза Шубнікова)</p> <p>Тема 3. Феноменологічний опис надпровідників.</p> <p>Тема 4. Електродинаміка надпровідників II роду. Вихори Абрикосова</p> <p>Тема 5. Термодинамічні властивості надпровідників</p> <p>Тема 6. Нові надпровідні структури.. Інтерфейсна надпровідність</p> <p>Тема 7. Вихорова ґратка в шаруватих системах</p> <p>Тема 8. Основи мікроскопічної теорії надпровідності</p> <p>Тема 9. Кінетичні властивості надпровідників</p> <p>Тема 10. Типи слабких зв'язків в надпровідниках, ефекти Джозефсона.</p> <p>Тема 11. Андрєєвське відбиття, нерівноважна надпровідність.</p> <p>Тема 12. Експериментальні аспекти квантових вимірювань.</p> <p>Тема 13. Практичне застосування надпровідників в електротехніці і електроніці.</p> <p>Тема 14. Високотемпературні надпровідники (ВТНП) – надпровідники з сильним зв'язком.</p> <p>Тема 15. Теоретичні основи і експериментальне дослідження флуктуаційної провідності в ВТНП.</p> <p>Тема 16. Специфіка систем з малою щільністю носіїв заряду</p> <p>Тема 17. Новітні надпровідники I: залізовмісні FeAs-пніктіди.</p> <p>Тема 18. Новітні надпровідники II: халькогеніди FeSe.</p>
<b>Короткий опис змісту тем</b>	<p><b>Тема 1. ВІДКРИТТЯ НАДПРОВІДНОСТІ</b></p> <p>Нульовий опір надпровідників нижче критичної температури <math>T_c</math> і незгасаючі струми в експериментах Г. Камерлінг-Оннеса. Ефект Мейснера-Оксенфельда. Ідеальний діаманетизм надпровідників. Критичне магнітне поле <math>H_c</math> і критичний струм <math>I_c</math>. Правило Сілсбі. Проміжний стан надпровідників I роду в</p>

Назва п/п	Коротка інформація
	<p>магнітному полі.</p> <p><b>Тема 2. НАДПРОВІДНИКИ II РОДУ (ФАЗА ШУБНІКОВА)</b>  Нижнє <math>H_{c1}(T)</math> і верхнє <math>H_{c2}(T)</math> критичні магнітні поля у надпровідниках II-роду. Змішаний стан. Магнітні властивості і фазові переходи в магнітному полі для надпровідників I і II роду. Ефект близькості. Третє (поверхнєве) критичне поле <math>H_{c3}(T)</math>. Нелокальна електродинаміка надпровідників I роду (теорія Піпарда).</p> <p><b>Тема 3. ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИЙ ОПИС НАДПРОВІДНИКІВ</b>  Рівняння Лондонів. Квантування магнітного потоку. Теорія Гінзбурга - Ландау. Два характерних масштаби в надпровідниках: довжина когерентності <math>\xi(T)</math>, і глибина проникнення магнітного поля <math>\lambda(T)</math>. Енергія межі розділу нормальної і надпровідної фази в надпровідниках I і II роду. Ефект близькості. Третє (поверхнєве) критичне поле <math>H_{c3}(T)</math>. Нелокальна електродинаміка надпровідників I роду (теорія Піпарда). Тонка плівка в магнітному полі. Струм розпарювання.</p> <p><b>Тема 4. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА НАДПРОВІДНИКІВ II РОДУ</b>  Вихори Абрикосова. Взаємодія вихорів. Сила Лоренца. Вихорова ґратка і вихоровий (змішаний) стан. Поверхнєвий бар'єр Біна-Лівінгстона. Основні механізми пінінга вихорів. Критичний струм неідеальних надпровідників II роду в магнітному полі. Модель критичного стану. Одночастинковий і колективний пінінг вихорів. Способи підсумовування елементарних сил пінінга. Модулі пружності вихорової ґратки. Резистивний стан надпровідників II роду. В'язка течія вихорів під дією сили Лоренца. Особливості поведінки вихорової ґратки шаруватих надпровідників. Анізотропія верхніх критичних полів. Кросовер верхніх магнітних полів.</p> <p><b>Тема 5. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ</b>  Енергія основного стану надпровідників нижче <math>T_c</math>. Фазові переходи I і II роду з нормального в надпровідний стан. Теплоємність надпровідника. Стрибок теплоємності в точці <math>T = T_c</math>. Термодинамічне критичне поле <math>H_c</math>. Роль флуктуацій в околі <math>T_c</math>, Парамагнітне обмеження верхнього критичного поля <math>H_{c2}</math>.</p> <p><b>Тема 6. НОВІ НАДПРОВІДНІ СТРУКТУРИ. ІНТЕРФЕЙСНА НАДПРОВІДНІСТЬ</b>  Нові надпровідні системи, гетероструктури різних типів, гібридні наногетероструктури надпровідник-ферромагнетик, гетероструктури <math>A^{IV}B^{VI}</math> типу. Структурні характеристики гетероструктур <math>A^{IV}B^{VI}</math>. Сітки</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>дислокацій невідповідності. Критичні температури та верхні критичні поля. Модель надпровідності в напівпровідникових гетероструктурах, залежність надпровідної щільності від тиску.</p> <p><b>Тема 7. ВИХОРОВА ГРАТКА В ШАРУВАТИХ СИСТЕМАХ</b>  Вихорова ґратка в шаруватих системах. Ефекти сумірності періоду вихрової ґратки та параметра шаруватої структури. Теорія Івлева-Копніна-Покровського. Вихорова ґратка в похилих магнітних полях. Локін-ефект. Теорія Булаєвського-Клема.</p> <p><b>Тема 8. ОСНОВИ МІКРОСКОПІЧНОЇ ТЕОРІЇ НАДПРОВІДНОСТІ</b>  Феномен Купера. Куперівські пари. Модель БКШ. Роль електрон-фононної і кулонівської взаємодії в ефекті куперівського зпарювання. Енергетична щільність <math>\Delta</math> в спектрі квазічастинок. Залежність <math>\Delta</math> від температури. Критична температура надпровідника <math>T_c</math>. Ізотопічний ефект. Метод канонічних перетворювань Боголюбова. Рівняння Боголюбова-де Жена в наближенні самоузгодженого поля. Фактори когерентності. Густина станів в надпровіднику. константа електрон-фононної взаємодії і кулонівський псевдопотенціал. Надпровідники з сильним і проміжним зв'язком. Рівняння Еліашберга. Обчислювання критичної температури і проблема високотемпературної надпровідності.</p> <p><b>Тема 9. КІНЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДПРОВІДНИКІВ</b>  Характерні часи релаксації квазічастинок і параметра порядку в надпровіднику. Теплопровідність надпровідника. Поглинання ультразвуку і релаксація ядерного спіна в надпровідниках. НВЧ імпеданс надпровідників (теорія Матіса-Бардіна). Нерівноважні ефекти в надпровідниках під дією зовнішніх полів. Флуктуаційна провідність вище <math>T_c</math>.</p> <p><b>Тема 10. ТИПИ СЛАБКИХ ЗВ'ЯЗКІВ В НАДПРОВІДНИКАХ, ЕФЕКТИ ДЖОЗЕФСОНА</b>  Тунельний ефект в N-I-S і S-I-S структурах. Ефект Джозефсона (стаціонарний і нестаціонарний) в надпровідних тунельних контактах. Проникнення магнітного поля в надпровідний тунельний контакт. Рівняння Ферела-Прейджда. Джозефсонівські вихори. Залежність критичного струму Джозефсона від величини магнітного поля. Типи слабких зв'язків. Струм-фазове співвідношення.</p> <p><b>Тема 11. АНДРЕЄВСЬКЕ ВІДБИТТЯ, НЕРІВНОВАЖНА НАДПРОВІДНІСТЬ</b>  Андрєєвське відбиття квазічастинок від межі розділу нормальний метал-надпровідник (NS-межа). Розбаланс заселеності спектру квазічастинок і глибина проникнення в надпровідник поздовжнього електричного поля при протіканні струму через NS-межу. Нерівноважні ефекти при тунельній інжекції</p>

Назва п/п	Коротка інформація
	<p>квазічастинок в надпровідник. Андреевське квантування спектру квазічастинок і особливості ефекту Джозефсона в S-N-S контактах.</p> <p><b>Тема 12. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ КВАНТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ</b>  Узагальнений підхід до проблеми критичного струму і резистивних станів у низьковимірних надпровідних (плівках, стрічках). Нелінійна течія абрикосівських вихорів. Центри і лінії проковзування фази, термоактивовані і квантові. Застосування ефекту Джозефсона для реєстрації слабких електромагнітних полів. Надпровідний квантовий інтерферометр (SQUID). Принципи роботи і конструкції одно- і двоконтактних SQUID'ів. Однофотонні детектори оптичного і мікрохвильового діапазонів. Експериментальні аспекти вимірювання квантових систем (декогеренція станів, наднизькі температури, вплив оточення і електроніки, термалізація об'єктів вимірювання, фільтрація, екранування, метод безперервних нечітких вимірювань кубітів). Короткий огляд просторово-розрізнявальних методів для вивчення надпровідників (скануюча тунельна мікроскопія, скануюча лазерна мікроскопія, скануюча електронна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, магніто-оптичні методи.</p> <p><b>Тема 13. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ НАДПРОВІДНИКІВ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ І ЕЛЕКТРОНІЦІ</b>  Струмонесячі елементи електричних ланцюгів. Надпровідні багатожильні композитні проводи і кабелі. Термомагнітні нестійкості і методи кріостабілізації проводів. Втрати в змінному магнітному полі. Надпровідні магніти (соленоїди). Надпровідні накопичувані енергії. Використання надпровідників для левітації (магнітного підвісу). Надпровідні пасивні елементи в радіотехніці. НВЧ резонатори і фільтри.</p> <p><b>Тема 14. ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ НАДПРОВІДНИКИ (ВТНП) - НАДПРОВІДНИКИ З СИЛЬНИМ ЗВ'ЯЗКОМ.</b>  Історія відкриття ВТНП. Передумови існування високотемпературної надпровідності. Кристалічна структура <math>YBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math> (YBCO) і <math>Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}</math> (BiSCCO). Основні властивості, що відрізняють ВТНП від НТНП. Фазова діаграма ВТНП. Поняття про псевдощільну (ПЩ). Експериментальне спостереження зниження щільності станів на рівні Фермі (DOS) в ВТНП.</p> <p><b>Тема 15. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ ПРОВІДНОСТІ В ВТНП</b>  Флуктуаційні теорії Асламазова-Ларкіна, Маки-Томпсона і Хікамі-Ларкіна. Флуктуаційна провідність в</p>



Назва п/п	Коротка інформація
	<p>класичних надпровідниках. Особливості флуктуаційної провідності в ВТНП. Алгоритм розрахунку флуктуаційної провідності в ВТНП. Флуктуаційна провідність в тонких плівках YBCO. Флуктуаційна провідність в надгратках і двошарових плівках YBCO-PrBCO.</p> <p><b>Тема 16. СПЕЦІФІКА СИСТЕМ З МАЛОЮ ЩІЛЬНІСТЮ НОСІВ ЗАРЯДУ</b>  Поняття псевдощілини. Концепція локальних пар (ЛП) в ВТНП. Теорія Імрі-Ківелсона і Рандерья. Бозе-Ейнштейнівська конденсація (БЕК). Сильно зв'язані бозони (СЗБ) в ВТНП. Роль довжини когерентності в трансформації локальних пар від СЗБ до флуктуаційних куперовських пар (ФКП) поблизу <math>T_c</math>. Перехід БЕК-БКШ в ВТНП при зменшенні температури. Ефекти, що підтверджують наявність ЛП в ВТНП. Розрахунок величини і температурної залежності псевдощілини: в плівках <math>YBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math> (YBCO-123) і в сполуках з магнітною взаємодією.</p> <p><b>Тема 17. НОВІТНІ НАДПРОВІДНИКИ I: ЗАЛІЗОВМІСНІ FeAs ПНІКТІДИ</b>  Історія відкриття. Фундаментальні властивості: три типу надпровідників. Фазова діаграма. Співіснування надпровідності і магнетизму. Флуктуаційна провідність в пніктідах. Псевдощілина в залізовмісних надпровідниках <math>SmFeAsO_{0.85}</math>. Дві енергетичні щілини в Fe-пніктідах. Особливості поверхні Фермі. Теорія Мачіди-Нокури-Матсубари. Співіснування надпровідності і магнетизму у теорії і експерименті. Псевдощілина у магнітних купратах типу <math>HoBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math>.</p> <p><b>Тема 18. НОВІТНІ НАДПРОВІДНИКИ II: ХАЛЬКОГЕНІДИ FeSe</b>  Історія відкриття. Структура і структурний перехід в FeSe. Температурна залежність питомого опору в FeSe. Незвичайні фундаментальні властивості: два типи носіїв заряду. Температурна залежність параметра <math>\Delta^*(T)</math> в FeSe. Експериментальне спостереження псевдощілини в FeSe. Залежність густини локальних пар від дефектних ансамблів в FeSe яка впливає з теорії Пітерса-Бауера.</p>
<b>Теми лекційних занять</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Відкриття надпровідності. Низькотемпературні надпровідники. Ефект Мейснера</li> <li>- Надпровідники II роду</li> <li>- Вихорова гратка надпровідників II роду. Вихори Абрикосова</li> <li>- Інтерфейсна надпровідність. Напівпровідникові структури <math>A^{IV}B^{VI}</math> типу</li> <li>- Теорія Гінзбурга-Ландау</li> <li>- Основи мікроскопічної теорії надпровідності</li> <li>- Кінетичні властивості надпровідників</li> </ul>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Типи слабких зв'язків в надпровідниках, ефекти Джозефсона</li> <li>- Андреевське відбиття, нерівноважна надпровідність</li> <li>- Експериментальні аспекти квантових вимірювань</li> <li>- Високотемпературні надпровідники (ВТНП) - надпровідники з сильним зв'язком</li> <li>- Теоретичні основи і експериментальне дослідження флуктуаційної провідності в ВТНП</li> <li>- Специфіка систем з малою щільністю носіїв заряду</li> <li>- Новітні надпровідники I - залізовмісні FeAs пніктіди</li> <li>- Новітні надпровідники II - халькогеніди FeSe</li> </ul>
<b>Теми семінарських занять</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вихорова ґратка в шаруватих системах. Ефекти сумірності періоду вихрової ґратки та параметра шаруватої структури. Теорія Івлева-Копніна-Покровського. Вихорова ґратка в похилих магнітних полях. Локін-ефект. Теорія Булаєвського-Клема.</li> <li>- Практичне застосування надпровідників в електротехніці і електроніці. Струмонесячі елементи електричних ланцюгів. Надпровідні багатожильні композитні проводи і кабелі. Втрати в змінному магнітному полі. Надпровідні магніти (соленоїди). Надпровідні накопичувачі енергії. Використання надпровідників для левітації (магнітного підвісу). Надпровідні пасивні елементи в радіотехніці. НВЧ резонатори і фільтри.</li> <li>- Поняття псевдо щілини і концепція локальних пар (ЛП) в ВТНП. Теорія Імрі-Ківелсона. Бозе-Ейнштейнівська конденсація (БЕК). Сильно зв'язані бозони (СЗБ) в ВТНП. Роль довжини когерентності в трансформації локальних пар від СЗБ до флуктуаційних куперовських пар (ФКП) поблизу <math>T_c</math>. Перехід БЕК-БКШ в ВТНП при зменшенні температури.</li> </ul>
<b>Теми для самостійної роботи</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ефект близькості. Третє (поверхневе) критичне поле <math>H_{c3}(T)</math>. Нелокальна електродинаміка надпровідників 1 роду (теорія Піпарда).</li> <li>- Модель критичного стану. Одночастинковий і колективний пінінг вихорів. Способи підсумовування елементарних сил пінінга. Модулі пружності вихорової ґратки.</li> <li>- Термодинамічні властивості надпровідників. Енергія основного стану надпровідників нижче <math>T_c</math>. Фазові переходи I і II роду з нормального в надпровідний стан. Теплоємність надпровідника. Стрибок теплоємності в точці <math>T = T_c</math>. Термодинамічне критичне поле <math>H_c</math>. Роль флуктуацій в околі <math>T_c</math>, Парамагнітне обмеження верхнього критичного поля <math>H_{c2}</math>.</li> <li>- Нові надпровідні системи, надпровідні наноструктури, гетероструктури різних типів, гібридні наногетероструктури надпровідник-ферромагнетик.</li> <li>- Основи мікроскопічної теорії надпровідності. Феномен Купера. Модель БКШ. Роль електрон-фононої і кулонівської взаємодії в ефекті куперівського зпарювання. Енергетична щілина <math>\Delta</math> в спектрі</li> </ul>

Назва n/n	Коротка інформація
	<p>квазічастинок. Ізотопічний ефект. Фактори когерентності. Надпровідники з сильним і проміжним зв'язком. Обчислювання критичної температури і проблема високотемпературної надпровідності.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Кінетичні властивості надпровідників. Поглинання ультразвуку і релаксація ядерного спіна в надпровідниках. НВЧ імпеданс надпровідників (теорія Матіса-Бардіна). Нерівноважні ефекти в надпровідниках під дією зовнішніх полів. Флуктуаційна провідність вище <math>T_c</math>.</li> <li>- Типи слабких зв'язків в надпровідниках, ефекти Джозефсона. Тунельний ефект в N-I-S і S-I-S структурах. Ефект Джозефсона (стаціонарний і нестаціонарний) в надпровідних тунельних контактах. Проникнення магнітного поля в надпровідний тунельний контакт. Рівняння Ферела-Прейджда. Джозефсонівські вихори. Залежність критичного струму Джозефсона від величини магнітного поля.</li> <li>- Андреевське відбиття, нерівноважна надпровідність. Андреевське відбиття квазічастинок від межі розділу нормальний метал - надпровідник (NS - межа). Розбаланс заселеності спектру квазічастинок і глибина проникнення в надпровідник поздовжнього електричного поля при протіканні струму через NS-межу. Нерівноважні ефекти при тунельній інжекції квазічастинок в надпровідник. Андреевське квантування спектру квазічастинок і особливості ефекту Джозефсона в S-N-S контактах.</li> <li>- Експериментальні аспекти квантових вимірювань. Центри і лінії проковзування фази, термоактивовані і квантові. Застосування ефекту Джозефсона для реєстрації слабких електромагнітних полів. Надпровідний квантовий інтерферометр (SQUID). Принципи роботи і конструкції одно- і двоконтактних SQUID'ів. Експериментальні аспекти вимірювання квантових систем (декогеренція станів, наднизькі температури, вплив оточення і електроніки, термалізація об'єктів вимірювання, фільтрація, екранування, метод безперервних нечітких вимірювань кубітів).</li> <li>- Практичне застосування надпровідників в електротехніці і електроніці. Надпровідні багатожилінні композитні проводи і кабелі. Термомагнітні нестійкості і методи кріостабілізації проводів. Втрати в змінному магнітному полі. Надпровідні магніти (соленоїди). Надпровідні накопичувані енергії. Використання надпровідників для левітації (магнітного підвісу). Надпровідні пасивні елементи в радіотехніці. НВЧ резонатори і фільтри.</li> <li>- Кристалічна структура <math>YBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math> (YBCO) і <math>Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}</math> (BiSCCO). Основні властивості, що відрізняють ВТНП від НТНП. Фазова діаграма ВТНП. Поняття про псевдощільну (ПЩ).</li> <li>- Флуктуаційні теорії Асламазова-Ларкіна, Маки-Томпсона і Хікамі-Ларкіна. Особливості флуктуаційної провідності в ВТНП. Алгоритм розрахунку флуктуаційної провідності в ВТНП. Флуктуаційна провідність в тонких плівках YBCO. Флуктуаційна провідність в надгратках і двошарових плівках YBCO-PtBCO.</li> <li>- Бозе-Ейнштейнівська конденсація (БЕК) і сильно зв'язані бозони (СЗБ) в ВТНП. Роль довжини</li> </ul>

Назва п/п	Коротка інформація										
	<p>когерентності в трансформації локальних пар від СЗБ до флуктуаційних куперовських пар (ФКП) поблизу <math>T_c</math>. Перехід БЕК-БКШ в ВТНП при зменшенні температури. Діаграма Рандерья. Ефекти, що підтверджують наявність ЛП в ВТНП.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Фундаментальні властивості FeAs-пніктидів. Фазова діаграма і співіснування надпровідності і магнетизму. Флуктуаційна провідність в пніктидах. Псевдощілина в залізовмісних надпровідниках SmFeAsO<sub>0.85</sub>. Особливості поверхні Фермі і дві енергетичні щілини в Fe-пніктидах.. Теорія Мачіди-Нокури-Матсубари.</li> <li>- Структура і структурний перехід в FeSe. Температурна залежність питомого опору в FeSe. Незвичайні фундаментальні властивості: два типи носіїв заряду. Температурна залежність параметра <math>\Delta^*(T)</math> в FeSe. Експериментальне спостереження псевдощілини в FeSe. Залежність густини локальних пар від дефектних ансамблів в FeSe яка впливає з теорії Пітерса-Бауера.</li> </ul>										
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік										
<b>Пререквізити</b>	Вивчення дисципліни передбачає володіння базовими знаннями із загальної фізики, фізики твердого тіла та вищої математики, навиками щодо роботи з науковою літературою і пошуку інформації, що <b>будуть</b> отримані під час здобуття ступеня магістра та попереднє засвоєння кредитів з дисципліни «Іноземна мова для аспірантів»; бажано також мати уявлення та деякі навички щодо роботи з вимірювальною апаратурою.										
<b>Постреквізити</b>	Основні положення навчальної дисципліни мають застосовуватися при плануванні і виконанні власних наукових досліджень та подальшій обробці і аналізі результатів цих досліджень.										
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	В процесі навчання використовуються лекції, презентації, методичні матеріали та спеціальна література.										
<b>Необхідне обладнання</b>	Технічні засоби, необхідні для демонстрації презентацій, загально вживані програми і операційні системи.										
<b>Шкала оцінювання</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою:</p> <table border="1" data-bbox="728 1252 1948 1437"> <thead> <tr> <th data-bbox="728 1252 996 1316" rowspan="2">СУМА БАЛІВ</th> <th data-bbox="996 1252 1272 1316" rowspan="2">ОЦІНКА ЄКТС</th> <th colspan="2" data-bbox="1272 1252 1948 1316">ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ</th> </tr> <tr> <th data-bbox="1272 1316 1624 1380">Екзамен</th> <th data-bbox="1624 1316 1948 1380">Залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="728 1380 996 1437">90-100</td> <td data-bbox="996 1380 1272 1437">А</td> <td data-bbox="1272 1380 1624 1437">Відмінно</td> <td data-bbox="1624 1380 1948 1437">зараховано</td> </tr> </tbody> </table>	СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ		Екзамен	Залік	90-100	А	Відмінно	зараховано
СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС			ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ							
		Екзамен	Залік								
90-100	А	Відмінно	зараховано								

Назва п/п	Коротка інформація			
	82-89	B	Добре	
	75-81	C		
	64-74	D	Задовільно	
	60-63	E		
	35-59	FX	незадовільно	не зараховано
	1-34	F		
<b>Критерії оцінювання</b>	<p><b>Кількість балів</b></p> <p><b>Критерії оцінювання</b></p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>35-59 У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.</p> <p>1-34 Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією</p>			
<b>Питання до іспиту/заліку</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Відкриття надпровідності. Нульовий опір надпровідників нижче критичної температури <math>T_c</math> і незгасаючі струми в експериментах Г.Камерлінг-Оннеса. Ефект Мейснера-Оксенфельда. Ідеальний діамagnetизм надпровідників.</li> <li>Магнітні властивості надпровідників I роду. Критичне магнітне поле <math>H_c</math> і критичний струм <math>I_c</math>. Правило</li> </ol>			

Назва п/п	Коротка інформація
	<p>Сілсбі. Проміжний стан надпровідників I роду в магнітному полі.</p> <p>3. Надпровідники II роду (фаза Шубнікова). Нижнє <math>H_{c1}(T)</math> і верхнє <math>H_{c2}(T)</math> критичні магнітні поля у надпровідниках II-роду. Змішаний стан. Магнітні властивості і фазові переходи в магнітному полі для надпровідників I і II роду.</p> <p>4. Вихорова ґратка в шаруватих системах. Ефекти сумірності періоду вихрової ґратки та параметра шаруватої структури. Теорія Івлева-Копніна-Покровського. Вихорова ґратка в похилих магнітних полях. Локін ефект. Теорія Булаєвського-Клема.</p> <p>5. Феноменологічний опис надпровідників. Теорія Гінзбурга-Ландау. Два характерних масштаби в надпровідниках: довжина когерентності <math>\xi(T)</math>, і глибина проникнення магнітного поля <math>\lambda(T)</math>. Трете (поверхнєве) критичне поле <math>H_{c3}(T)</math>. Тонка плівка в магнітному полі. Струм розпарювання.</p> <p>6. Електродинаміка надпровідників II роду. Вихори Абрікосова. Взаємодія вихорів. Сила Лоренца. Вихорова ґратка і вихоровий (змішаний) стан. Поверхнєвий бар'єр Біна-Лівінгстона. Основні механізми пінінга вихорів. Критичний струм неідеальних надпровідників II роду в магнітному полі.</p> <p>7. Модель критичного стану. Резистивний стан надпровідників II роду. В'язка течія вихорів під дією сили Лоренца. Термоактивований рух вихорів. Крип магнітного потоку.</p> <p>8. Термодинамічні властивості надпровідників. Теплоємність надпровідника. Стрибок теплоємності в точці <math>T = T_c</math>. Термодинамічне критичне поле <math>H_c</math>. Роль флуктуацій в околі <math>T_c</math>, Парамагнітне обмеження верхнього критичного поля <math>H_{c2}</math>.</p> <p>9. Інтерфейсна надпровідність. Гетероструктури <math>A^{IV}B^{VI}</math> типу і їх структурні характеристики гетероструктур. Сітки дислокацій невідповідності. Модель надпровідності в напівпровідникових гетероструктурах, залежність щілини від тиску.</p> <p>10. Індукований магнітним полем фазовий перехід надпровідник ізолятор в різних низьковимірних надпровідних системах.</p> <p>11. Куперівські пари. Модель БКШ. Роль електрон-фононної і кулонівської взаємодії в ефекті куперівського зпарювання. Енергетична щілина <math>\Delta</math> в спектрі квазічастинок. Залежність <math>\Delta</math> від температури. Критична температура надпровідника <math>T_c</math>. Ізотопічний ефект.</p> <p>12. Нерівноважні ефекти в надпровідниках під дією зовнішніх полів. Розбаланс квазічастинкових гілок спектру у надпровіднику. Характерні часи релаксації квазічастинок і параметра порядку в надпровіднику. Структура центра та лінії проковзування фази параметра порядку. Дифузія</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>квазічастинок, глибина проникнення електричного поля у надпровідник.</p> <p>13. Тунельний ефект в N-I-S і S-I-S структурах. Ефект Джозефсона (стаціонарний і нестаціонарний) в надпровідних тунельних контактах. Проникнення магнітного поля в надпровідний тунельний контакт. Залежність критичного струму Джозефсона від величини магнітного поля. Самоіндуковані і наведені електромагнітним полем струмові ступені (ступені Шапіро).</p> <p>14. Типи слабких зв'язків в надпровідниках. Співвідношення струм-фаза у контактах різного типу. (S-I-S, S-N-S) в залежності від розмірів і температури. Використання контактів Джозефсона у приладах.</p> <p>15. Андреевське відбиття квазічастинок від межі розділу нормальний метал-надпровідник (SN-межа). Розбаланс заселеності спектру квазічастинок і глибина проникнення в надпровідник поздовжнього електричного поля при протіканні струму через SN-межу. Нерівноважні ефекти при тунельній інжекції квазічастинок в надпровідник.</p> <p>16. Резистивний стан тонких надпровідних плівок і вузьких каналів. Нелінійна течія абрикосівських вихорів. Центри і лінії проковзування фази, термоактивовані і квантові, їхня просторова і часова структура. Перегрів надпровідника струмом, модель гарячої плями.</p> <p>17. Застосування ефекту Джозефсона для реєстрації слабких електромагнітних полів. Надпровідний квантовий інтерферометр (SQUID). Принципи роботи і конструкції одно- і двоконтактних SQUID'ів.</p> <p>18. Методи просторово-розрізняючого дослідження тонких надпровідників та їх поверхні. Тунельний, лазерний, електронний, атомно-силовий скануючі мікроскопи, магнітооптичний метод. Приклади структур, що вивчаються цими методами.</p> <p>19. Надпровідні кубіти – «штучні атоми» як основа квантових технологій обробки інформації. Суперпозиція станів. Вплив електромагнітного середовища, декоренція, проблема зворотного впливу (back action). Метод безперервного нечіткого вимірювання квантових станів. Експериментальні умови успішних квантових вимірювань надпровідних кубітів.</p> <p>20. Практичне використання надпровідників для силових виробів у енергетиці, транспорті. Кабелі, накопичувані енергії, соленоїди, магнітні підвіси. Особливості розгортки струму через надпровідний соленоїд. Елементи надпровідної електроніки – НВЧ резонатори, стандарти вольта, надпровідні квантові інтерферометри, НВЧ змішувачі і селективні приймачі на джозефсонівському контакті.</p> <p>21. Кристалічна структура <math>YBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math> (YBCO) і <math>Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}</math> (BiSCCO). Фазова діаграма купратних високотемпературних надпровідників (ВТНП); фізичний сенс і визначення температур <math>T_N</math>, <math>T_c</math> і <math>T^*</math>.</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>22. Основні властивості, що відрізняють високотемпературні надпровідники (ВТНП) від низькотемпературних (НТНП). Поняття про псевдощільну (ПЩ) в високотемпературних надпровідниках (ВТНП), фізичний сенс і визначення температур <math>T^*</math>, <math>T_{\text{pair}}</math> і <math>T_N</math>.</p> <p>23. Експериментальне спостереження зниження щільності станів на рівні Фермі (DOS) в високотемпературних надпровідниках (ВТНП).</p> <p>24. Флуктуаційна провідність в високотемпературних надпровідниках (ВТНП). Фізичний сенс і визначення температур <math>T_G</math>, <math>T_0</math> і <math>T_{01}</math>.</p> <p>25. Теоретичні основи флуктуаційної провідності: флуктуаційні теорії Асламазова-Ларкіна, Макі-Томпсона і Хікамі-Ларкіна. Вплив довжини когерентності на температурну залежність флуктуаційної провідності.</p> <p>26. Концепція локальних пар в високотемпературних надпровідниках (ВТНП). Теорія Імрі-Ківелсона; діаграма Рандерья.</p> <p>27. Сильно зв'язані бозони та локальні пари в високотемпературних надпровідниках (ВТНП). Перехід БЕК-БКШ в високотемпературних надпровідниках (ВТНП). Роль довжини когерентності в температурній залежності псевдощільності. Ефекти, що підтверджують наявність локальних пар в високотемпературних надпровідниках (ВТНП).</p> <p>28. ВТНП з активною площиною FeAs (пніктіди): відкриття; структурний і магнітний перехід в пніктідах. Особливості структури і фазової діаграми. Основні властивості, що відрізняють пніктіди від купратів.</p> <p>29. Структура і структурний перехід в FeSe. Температурна залежність питомого опору в FeSe. Незвичайні фундаментальні властивості: два типи носіїв заряду.</p> <p>30. Температурна залежність параметра <math>\Delta^*(T)</math> в FeSe. Експериментальне спостереження псевдощільності в FeSe. Залежність густини локальних пар від дефектних ансамблів в FeSe яка впливає з теорії Пітерса-Бауера.</p>
<p><b>Література для вивчення дисципліни:</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В.В.Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, М., Наука, Физматгиз, 1982, 240 с.</li> <li>2. М. Тинкхам, Введение в сверхпроводимость, пер. с англ., М., Атомиздат, 1980, 310с.</li> <li>3. В. Буккель, Сверхпроводимость. Основы и приложения, пер. с нем., М., Мир, 1975, 368 с.</li> </ol>



<i>Назва n/n</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>4. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников, под ред. ДМ. Гинсберга, пер. с англ., М.; Мир, 1990, 543 с.</p> <p>5. П. Де Жен, Сверхпроводимость металлов и сплавов М. Мир, 1968.- 280 с.</p> <p>6. Р.П.Хюбенер, Структуры магнитных потоков в сверхпроводниках, М., Машиностроение, 1984. -224 с.</p> <p>7. С.В. Вонсовский, Ю.А. Изюмов, Э.З. Курмаев, Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений, М., Наука, Физматгиз, 1977, 384с.</p> <p>8. М. Коэн, Г. Глэдстоун, М. Йенсен, Дж. Шриффер, Сверхпроводимость полупроводников и переходных металлов, пер. с англ., М., Мир, 1972, 316 с.</p> <p>9. Дж. Шриффер, Теория сверхпроводимости, М., Наука, Физматгиз, 1970. - 312 с.</p> <p>10. А. Роуз-Инс, Е. Родерик, Введение в физику сверхпроводников, пер. с англ., М., Мир, 1972.</p> <p>11. М. Уилсон, Сверхпроводящие магниты, М., Мир, 1985, 405 с.</p> <p>12. Н.В. Плакида, Высокотемпературные сверхпроводники, М., Наука, Физматгиз, 1993, 288 с.</p> <p>13. К. К. Лихарев, В. К. Семенов, А. Б. Зорин, Новые возможности для сверхпроводящей электроники // Итоги науки и техники, сер. Сверхпроводимость, 1988, Том 1, сс. 1-74.</p> <p>14. А. Кемпбелл, Дж. Иветтс, Критические токи в сверхпроводниках, пер. с англ., М., Мир, 1975. - 332 с.</p> <p>15. В.М.Пан, В.Г.Прохоров, А.С.Шпигель, Металлофизика сверхпроводников, К., Наукова Думка, 1984. - 192 с.</p> <p>16. Р.Г.Минц, А.Л.Рахманов, Неустойчивости в сверхпроводниках, М., Наука, 1984. - 262 с.</p> <p>17. А.Вл.Гуревич, Р.Г.Минц, А.Л.Рахманов, Физика композитных сверхпроводников, М., Наука,</p>

<i>Назва n/n</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>Физматгиз, 1987. - 240 с.</p> <p>18. Высокотемпературные сверхпроводники, Под ред. Д. Нелсона, М. Уиттингхема, Т.М.М. Джорджа, М., Мир, 1988.</p> <p>19. А. Бароне, Дж. Патерно, Эффект Джозефсона, пер. с англ., М., Мир, 1984</p> <p>20. Л. Солимар, Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение, пер. с англ, М., Мир, 1974</p> <p>21. И.О. Кулик, И.К. Янсон. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах, М., «Наука», 1970. – 272 с.</p> <p>22. А.Н. Омелянчук, Е.В. Ильичев, С.Н. Шевченко, Квантовые когерентные явления в джозефсоновских кубитах, Киев, «Наукова думка», 2013.-168 с.</p> <p>23. 24. Shevchenko S. N. Mesoscopic Physics meets Quantum Engineering, Singapore, World Scientific, 2019 — 176 p.</p> <p>24. И.М. Дмитренко, В мире сверхпроводимости, К., Наукова Думка, 1981.</p> <p>25. А.А. Варламов, А.И. Ларкин. Теория флуктуаций в сверхпроводниках. ДОБРОСВЕТ, Москва, 2005.</p> <p>26. А.Л. Соловьёв, В.М. Дмитриев. Флуктуационная проводимость и псевдощель в высокотемпературных сверхпроводниках YBCO (Обзор). ФНТ, 35 (3), 227, 2009.</p> <p>27. Р.В. Вовк, А.Л. Соловьёв. Электротранспорт и псевдощель в ВТСП соединениях системы 1-2-3 в условиях всестороннего сжатия (Обзор), ФНТ, 44 (2), 111, 2018.</p> <p>28. S.S. Hikami and A.I. Larkin. Magnetoresistance of high temperature superconductors. Mod. Phys. Lett. B2, 693, 1988.</p> <p>29. V.J. Emery and S.A. Kivelson. Importance of phase fluctuations in superconductors with small superfluid density. Nature (London) 374, 434, 1995.</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>30. Т. Timusk and B. Statt, The pseudogap in high temperature superconductors: an experimental Survey, Rep. Prog. Phys. 62, 61 (1999).</p> <p>31. Е.Г. Максимов, Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. УФН 170, 1033 (2000).</p> <p>32. M. Randeria, Pre-pairing for condensation, Nature Phys. 6, 561 (2010).</p> <p>33. A.A. Kordyuk, Iron-based superconductors: Magnetism, superconductivity, and electronic structure (Review Article), ФНТ, 38 (9), 888 , 2012.</p> <p>34. Yu.V. Pustovit and A.A. Kordyuk, Metamorphoses of electronic structure of FeSe-based Superconductors (Review Article), ФНТ, 42 (11), 1268, 2016</p>
<b>Додаткова література</b>	<p>1. G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Larkin, and V. M. Vinokur, Vortices in high-temperature superconductors, Reviews of Modern Physics, Vol. 66, No. 4, 1994, pp. 1125-1388.</p> <p>2. N. Ya. Fogel, E. I. Buchstab, Yu. V. Bomze, O. I. Yuzepovich, M. Yu. Mikhailov, A. Yu. Sipatov, E. A. Pashitskii, R. I. Shekhter, and M. Jonson, Direct evidence for interfacial superconductivity in two-layer semiconducting heterostructures, Phys. Rev. B 73, 161306(R) (2006)</p> <p>3. B. I. Ivlev, N. B. Kopnin &amp; V. L. Pokrovsky, Shear instabilities of a vortex lattice in layered superconductors, J. Low Temp. Phys. 80, 187 (1990)</p> <p>4. L. Bulaevskii and John R. Clem, Vortex lattice of highly anisotropic layered superconductors in strong, parallel magnetic fields, Phys. Rev. B44, 10234, (1991).</p> <p>5. D. Feinberg and C. Villard, Intrinsic pinning and lock-in transition of flux lines in layered type-II superconductors, Phys. Rev. Lett. 65, 919, (1990).</p> <p>6. V F Gantmakher, Superconductor–insulator transitions and insulators with localized pairs, Usp. Fiz. Nauk 168, 231 (1998) [Phys. Usp. 41, 214, (1998)]</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>7. W.J. Skocpol, M.R. Beasley, M. Tinkham, Phase-slip center and non-equilibrium processes in superconducting tin microbridges, J. Low Temp. Phys., 16(1/2), 145-167 (1974)</p> <p>8. A. P. Zhuravel, A. G. Sivakov, O. G. Turutanov, A. N. Omelyanchouk, S. M. Anlage, A. Lukashenko, A. V. Ustinov, D. Abraimov, Laser scanning microscopy of HTS films and devices, Физика низких температур, 32(6), 775–794 (2006)</p> <p>9. Kunihiro Inomata, Zhirong Lin, Kazuki Koshino, William D. Oliver, Jaw-Shen Tsai, Tsuyoshi Yamamoto &amp; Yasunobu Nakamura, Single microwave-photon detector using an artificial Lambda-type three-level system, Nature Commun. 7, 12303 (2016)</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.