

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 » липня 2020 р.

СИЛАБУС

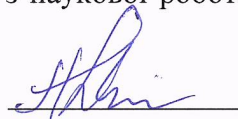
навчальної дисципліни

Спектроскопічні методи дослідження твердих тіл
(назва навчальної дисципліни)

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

РОЗРОБНИК/-И:

доктор фізико-математичних наук, професор, заступник директора з наукової роботи ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Гречнев Геннадій Євгенович



підпис

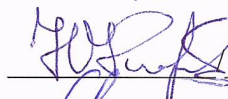
доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу мікроконтактної спектроскопії ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Найдюк Юрій Георгійович



підпис


Погоджено Науковою радою з проблеми «Електронні властивості провідних та надпровідних систем»
ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України 18.06 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

СПЕКТРОСКОПІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

2020-2021 навчальний рік

Назва	СПЕКТРОСКОПІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ
Адреса викладання	м. Харків, пр. Науки, 47
Рівень вищої освіти	Третій освітньо-науковий рівень
Галузі знань	10 «Природничі науки»;
Шифр та назва спеціальності	104 Фізика та астрономія,
Викладачі	Проф. Гречнев Г.Є, доктор фіз.-мат. наук, заступник директора з наукової роботи Проф. Найдюк Ю.Г., доктор фіз.-мат. наук, зав. відділу
Контактна інформація викладачів	naidyuk@ilt.kharkov.ua grechnev@ilt.kharkov.ua
Графік занять	За розкладом
Консультації по курсу відбуваються	Вівторок, 16.00-17.00., пр. Науки, 47, кабінет заступника директора з наукової роботи (для узгодження часу писати на електронну пошту grechnev@ilt.kharkov.ua)
Сторінка курсу	https://

Інформація про навчальну дисципліну	Дисципліна «Спектроскопічні методи дослідження твердих тіл» є вибіркою дисципліною зі спеціальності 104 – Фізика та астрономія для підготовки доктора філософії з природничих наук, яка викладається в 2-3 семестрах в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS)
Анотація	Курс «Спектроскопічні методи дослідження твердих тіл» є курсом зі спеціалізації, який узагальнює та систематизує знання аспірантів, отримані у інших курсах, а також знайомить з новими теоретичними і експериментальними методами дослідження енергетичних спектрів електронів провідності, фононів, а також електрон-фононної взаємодії.
Мета та цілі	Метою вивчення дисципліни “Спектроскопічні методи дослідження твердих тіл” є формування у майбутнього науковця поняття теорії електронних і фононних спектрів твердих тіл і експериментальних методів їх дослідження, ознайомити аспірантів з сучасним станом фізики твердого тіла, надати інформацію про сучасні методи експериментального дослідження електрон-фононної взаємодії, надпровідних, оптичних та магнітних властивостей твердих тіл. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у аспірантів проводити аналіз різноманітних властивостей твердих тіл на основі електронних та фононних спектрів кристалів, класифікації спектрів квазічастинок та колективних збуджень, правил відбору при оптичних переходах. 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 процесі виконання дисертаційної роботи.
Загальний обсяг у кредитах Європейської кредитно-трансферної системи /ECTS/	4 кредити
Загальна кількість годин	120 год.

Структура	36 годин аудиторних. З них 30 годин лекцій, 6 годин семінарських занять, 84 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення курсу аспірант повинен:</p> <p>Знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основи теорії енергетичних спектрів електронів і фононів в твердих тілах; - особливості і механізми електрон-фононої взаємодії в твердих тілах; - основні положення квантової теорії і статистичної фізики кристалічних систем; - основні методи створення точкових контактів для отримання мікроконтактних спектрів; - фізичні основи сучасних методів дослідження спектрів електронів провідності і фононів; - основні методи квантових обчислень спектрів електронів провідності; - особливості зв'язку оптичних та магнітних явищ з електронною структурою твердих тіл. - основи теорії надпровідності та методи дослідження надпровідного стану <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - визначати напрямки актуальних досліджень та успішно вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи знання надані прослуханим курсом; - знаходити додаткову навчальну і поточну наукову літературу стосовно спектроскопічних методів дослідження твердих тіл та отримувати актуальну інформації щодо сучасного стану справ в рамках своїх наукових інтересів. - використовувати засвоєне теоретичне підґрунтя та викладені експериментальні методи у самостійній науковій роботі;
Ключові слова	Електронна структура твердих тіл, фононні спектри, електрон-фононна взаємодія, мікроконтактна спектроскопія, надпровідність.

<p>Програма навчальної дисципліни</p>	<p>Тема 1. Електронні спектри атомів і твердих тіл; дослідження методами теорії функціоналу густини Тема 2. Вплив особливостей електронної структури на фізичні властивості твердих тіл Тема 3. Точкові контакти - новий інструмент спектроскопічних досліджень твердих тіл Тема 4. Андреевська спектроскопія надпровідників Тема 5. Спектроскопічні дослідження новітніх матеріалів</p>
<p>Короткий опис змісту тем</p>	<p>Тема 1. ЕЛЕКТРОННІ СПЕКТРИ АТОМІВ І ТВЕРДИХ ТІЛ; ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ФУНКЦІОНАЛУ ГУСТИНИ</p> <p>Заповнення електронних оболонок. Іонний потенціал. Утворення кристалів з атомів. Квантова теорія майже вільних електронів. Періодичність кристалів і хвильові функції Блоха. Осередки Вігнера- Зейтца і зони Бріллюена. Ефективна маса зонних електронів. Зонна структура кристалів. Електрони як квазічастинки. Закон дисперсії електронів в кристалі. Густина електронних станів. Напівпровідники і ізолятори. Напівметали і метали. Поверхня Фермі. Електронна теплоємність металів. Методи розрахунку зонної структури. Напівемпіричні методи. Псевдопотенціали. Теорія функціоналу електронної і спінової густини. Самоузгоджені розрахунки з повним потенціалом. Методи розрахунків електронної структури систем з сильними кулонівськими кореляціями.</p> <p>Тема 2. ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОННОЇ СТРУКТУРИ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ</p> <p>Загальна характеристика сил міжатомної взаємодії. Енергія зв'язку кристалів. Іонний зв'язок. Ковалентний зв'язок. Металеві кристали. Молекулярні кристали. Кристали з водневими зв'язками. Фононні спектри кристалів. Зонні електрони в зовнішніх полях. Основи електронної теорії електропровідності. Електронні спектри надпровідників. Електрони в зовнішньому магнітному полі: квантові осциляції. Оптичні збудження в кристалах. Спіновий парамагнетизм металів. Зонний</p>

ферромагнетизм і антиферромагнетизм. Основи теорії магнітного впорядкування. Магнітна сприйнятливість слабких магнетиків. Діамагнетизм електронів провідності

Тема 3. ТОЧКОВІ КОНТАКТИ - НОВИЙ ІНСТРУМЕНТ СПЕКТРОСКОПІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТВЕРДИХ ТІЛ

Балістичний режим. Формула Шарвіна. Функція розподілу електронів у балістичному контакті. Теорія Кулика-Омельянука-Шехтера (КОШ) нелінійної провідності балістичних контактів. Струмові режими у мікроконтактах. Мікроконтактна спектроскопія електрон-квазічастинкової взаємодії. Нерівноважні процеси в провідності мікроконтактів (МК), фонові складові. Ефект Кондо в провідності МК. Дослідження локальних та квазілокальних фононних збуджень. Двохрівневі системи (ДУС) в МК. Ефекти кристалічного поля та парамагнетонні збудження. Мікроконтактна спектроскопія сильнокорельованих електронних систем: високотемпературні надпровідники (ВТНП), системи з важкими ферміонами та змінною валентністю, диборид магнію та рідкоземельні нікель-борокарбідні сполуки

Тема 4. АНДРЕЄВСЬКА СПЕКТРОСКОПІЯ НАДПРОВІДНИКІВ

Транспорт електронів на межі розділу нормальний метал-надпровідник. Андреєвське відбиття. Багатократне андреєвське відбиття. Надлишковий та критичний струм. Дослідження надпровідної щільності методом андреєвського відбиття. Теорія Блондера-Тінкхама-Клапвейка (БТК). Модифікована БТК модель для багатозонних надпровідників. Андреєвська спектроскопія ВТНП та залізовмісних надпровідників, систем з важкими ферміонами, дибориду магнію, рідкоземельних нікель-борокарбідних сполук та інших актуальних надпровідників.

Тема 5. СПЕКТРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ

Високотемпературні надпровідники, диборид магнію, залізовмісні надпровідники, системи з важкими ферміонами, сильнокорельовані електронні системи, рідкоземельні нікель-борокарбідні сполуки, системи з колосальним магнітоопором, топологічні ізолятори, вейлівські та діраковські напівметали, низьковимірні шаруваті матеріали.

Теми лекційних занять

- Електронна будова атомів і періодична система елементів
- Квантова теорія майже вільних електронів
- Зонна структура кристалів
- Методи розрахунку зонної структури
- Класифікація кристалів за типами зв'язку
- Зонні електрони в зовнішніх полях
- Оптичні спектри твердих тіл
- Основи мікроконтактної спектроскопії.
- Мікроконтактна спектроскопія електрон-квазічастинкової взаємодії.
- Мікроконтактна спектроскопія сильнокорельованих електронних систем.
- Надпровідні точкові контакти, андреєвське відбиття.
- Дослідження надпровідної щілини методом андреєвського відбиття.
- Андреєвська спектроскопія актуальних надпровідників.
- Топологічні матеріали: вейлівські та діраковські напівметали.
- Точкові контакти – нанооб'єкти з перспективними прикладними властивостями.

Теми семінарських занять	<p>Магнітні властивості вільних атомів. Правила Гунда. Балістичний режим. Формула Шарвіна. Струмові режими в мікроконтактах. Теорія КОШ нелінійної провідності балістичних контактів. Тепловий режим у мікроконтактах. Гетероконтакти Ефект Кондо у мікроконтактах Дослідження локальних та квазілокальних фононних збуджень та ДУС</p>
Теми для самостійної роботи	<p>Ефекти кристалічного поля та парамагнетонні збудження у мікроконтактах Мікроконтактна спектроскопія ВТНП Мікроконтактна спектроскопія систем з важкими ферміонами Мікроконтактна спектроскопія залізовмісних надпровідників Типи надпровідникових контактів, джозефсонівські контакти, НКВДи. Багатократне андреєвське відбиття. Теорія Блондера-Тінкхама-Клапвейка. Андреєвська спектроскопія ВТНП. Андреєвська спектроскопія систем з важкими ферміонами. Андреєвська спектроскопія залізовмісних надпровідників. Андреєвська спектроскопія дибориду магнію. Андреєвська спектроскопія рідкоземельних борокарбідних сполук</p>
Підсумковий контроль, форма	<p>Іспит</p>
Пререквізити	<p>Для вивчення курсу необхідні базові знання з фізики твердого тіла, квантової механіки, атомної фізики, магнетизму, оптики, фізики напівпровідників та діелектриків.</p>
Постреквізити	<p>Основні положення навчальної дисципліни мають застосовуватися при проведенні власних наукових досліджень.</p>

Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	В процесі навчання використовуються лекції, презентації, методичні матеріали та спеціальна література.																													
Необхідне обладнання	Технічні засоби, необхідні для демонстрації презентацій, загально вживані програми і операційні системи.																													
Шкала оцінювання	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою:</p> <table border="1" data-bbox="638 491 1861 1040"> <thead> <tr> <th rowspan="2">СУМА БАЛІВ</th> <th rowspan="2">ОЦІНКА ЄКТС</th> <th colspan="2">ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ</th> </tr> <tr> <th>екзамен</th> <th>залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>90-100</td> <td>A</td> <td>відмінно</td> <td rowspan="3">зараховано</td> </tr> <tr> <td>82-89</td> <td>B</td> <td rowspan="2">добре</td> </tr> <tr> <td>75-81</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>64-74</td> <td>D</td> <td rowspan="2">задовільно</td> <td rowspan="3">не зараховано</td> </tr> <tr> <td>60-63</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>35-59</td> <td>FX</td> <td rowspan="2">незадовільно</td> </tr> <tr> <td>1-34</td> <td>F</td> </tr> </tbody> </table>				СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ		екзамен	залік	90-100	A	відмінно	зараховано	82-89	B	добре	75-81	C	64-74	D	задовільно	не зараховано	60-63	E	35-59	FX	незадовільно	1-34	F
СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ																												
		екзамен	залік																											
90-100	A	відмінно	зараховано																											
82-89	B	добре																												
75-81	C																													
64-74	D	задовільно	не зараховано																											
60-63	E																													
35-59	FX	незадовільно																												
1-34	F																													
Критерії оцінювання	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">Кількість балів</td> <td style="text-align: center;">Критерії оцінювання</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">90-100</td> <td>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.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">75-89</td> <td>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</td> </tr> </table>	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																							
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																													

	<p>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 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>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заповнення електронних оболонок. 2. Магнітні властивості вільних атомів. 3. Правила Гунда. 4. Періодичність кристалів і хвильові функції Блоха. 5. Осередки Вігнера- Зейтца і зони Бріллюена. 6. Ефективна маса зонних електронів. 7. Закон дисперсії електронів в кристалі. 8. Густина електронних станів. 9. Напівпровідники і ізолятори. 10. Напівметали і метали. 11. Поверхня Фермі. 12. Електронна теплоємність металів. 13. Загальна характеристика сил міжатомної взаємодії. 14. Енергія зв'язку кристалів. Іонний зв'язок. 15. Ковалентний зв'язок. 16. Металеві кристали. 17. Молекулярні кристали. 18. Кристали з водневими зв'язками. 19. Основи електронної теорії електропровідності.

	<ol style="list-style-type: none">20. Електрони в зовнішньому магнітному полі: квантові осциляції.21. Оптичні збудження в кристалах.22. Спіновий парамагнетизм металів.23. Зонний ферромагнетизм і антиферромагнетизм.24. Основи теорії магнітного впорядкування.25. Діамагнетизм електронів провідності26. Моделі мікроконтактів.27. Режими протікання струму у мікроконтактах.28. Функція розподілу електронів у мікроконтактах.29. Методи отримання мікроконтактів.30. Формули Шарвіна, Максвелла, Векслера для опору мікроконтактів.31. Фонони, густина станів.32. Локальні та квазілокальні фононні збудження.33. Природа фону на мікроконтактних спектрах.34. Методи створення та критерії якості точкових контактів.35. Модуляційні методи вимірювання похідних ВАХ контактів.36. Дворівневі системи у аморфних тілах.37. Термоелектричні ефекти у гетероконтактах.38. Два типи надпровідників.39. Куперівські пари, довжина когерентності.40. Надлишковий та критичний струм точкових контактів з надпровідників.41. Андреєвське відбиття.42. Багатократне андреєвське відбиття.43. Основні параметри в теорії БТК. Фізичний сенс параметрів Z та Γ.44. Багатозонна БТК модель.45. Причини уширення андреєвських спектрів.46. Визначення спінової поляризації за допомогою контактів з надпровідником47. Вейлівські та діраковські напівметали.
--	--

<p>Література для вивчення дисципліни:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. - М.: Мир, 1974. 2. Давыдов А.С. Теория твердого тела. - М.: Наука, 1976. 3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978. 4. Ашкрофт Н, Мермин Н. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1979. 5. Харрисон У., Электронная структура и свойства твердых тел: Физика химической связи. — М.: Мир, 1983. 6. Немошкаленко В. В., Антонов В. Н. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Зонная теория металлов. — Киев: Наукова думка, 1985. 7. Немошкаленко В. В., Кучеренко Ю. Н. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронные состояния в неидеальных кристаллах. — Киев: Наукова думка, 1986. 8. Соболев В.В., Немошкаленко В.В. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронная структура полупроводников. — Киев: Наукова думка, 1988. 9. В. Буккель, <i>Сверхпроводимость</i>. Москва, «Мир», 1975. 10. М. Тинкхам, <i>Введение в сверхпроводимость</i>. М.: Атомиздат, 1980. 11. В. В. Шмидт, <i>Введение в физику сверхпроводников</i>, М.: МЦНМО, 2000. 12. А. В. Хоткевич, И. К. Янсон, <i>Атлас микроконтактных спектров электрон-фононного взаимодействия в металлах</i>, Наукова думка, Киев, 1986. 13. Ю. Г. Найдюк, И. К. Янсон, <i>Микроконтактная спектроскопия</i>, Изд. «Знание» Москва 1989 (arXiv:physics/0312016 v1). 14. Yu. G. Naidyuk, I. K. Yanson, <i>Point-contact spectroscopy</i>, Springer, New-York, 2005
<p>Додаткова література</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Барьяхтар В.Г., Зароченцев Е.В., Троицкая Е.П. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Атомные свойства металлов. — Киев: Наукова думка, 1990. 2. Абаренков И.В., Антонова И.М., Барьяхтар В.Г., Булатов В.Л., Зароченцев Е.В. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронная структура идеальных и дефектных кристаллов. — Киев: Наукова думка, 1991. 3. Юхновский И.Р., Гурский З.А. Квантово-статистическая теория неупорядоченных систем. — Киев: Наукова думка, 1991.

	<p>4. Уильямс А., Барт У. — Приложение теории функционала плотности к атомам, молекулам и твердым телам. М.: Мир, 1987.</p> <p>5. Yu. G. Naidyuk and K. Gloos, <i>Anatomy of point-contact Andreev reflection spectroscopy from the experimental point of view (Review)</i>, Fiz. Nizk. Temp. 44, 343 (2018).</p> <p>6. Yu. G. Naidyuk, I. K. Yanson, <i>Point-contact spectroscopy of heavy-fermion systems</i>, J. Phys.: Condens. Matter, 10, 8905–8938 (1998).</p> <p>7. D. Daghero and R. S. Gonnelli, <i>Probing multiband superconductivity by point-contact spectroscopy</i>, Supercond. Sci. Technol. 23, 043001 (2010).</p> <p>8. Guy Deutscher, <i>Andreev–Saint-James reflections: A probe of cuprate superconductors</i>, Rev. of Modern Phys., 77, 109 (2005).</p>
--	--

<p>Опитування</p>	<p>. Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>
--------------------------	---

