



Національна академія наук України
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича



Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни
ОСНОВИ ФІЗИКИ КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ РЕЧОВИНИ
FUNDAMENTALS OF CONDENSED MATTER PHYSICS

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>10 «Природничі науки»</i>
Спеціальність	<i>105 «Прикладна фізика та наноматеріали»</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Статус дисципліни	<i>обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс навчання, 3 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити ECTS, 90 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 41 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, залік – 1 год</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про викладачів	<i>д.ф.-м.н., с. н. с., зав. від. Хижун Олег Юліанович, тел. +38 097 1713001, e-mail: khyzhun@ukr.net к.ф.-м.н., ст. досл., зав. від. Євтушенко Арсеній Іванович, тел.: +38 098 2371278, e-mail: a.ievtushenko@ipms.kyiv.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom; доступ за запрошенням викладача</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліни присвячена опануванню знань між структурою матеріалів, їх складом та електронною будовою та пов'язаними з ними властивостями. Отримані знання допоможуть слухачам глибше розуміти, пояснювати та впливати на електричні, магнітні, оптичні, пружні та інші властивості матеріалів.

Предмет освітньої компоненти - електронна структура, електричні, магнітні, теплові, механічні (пружні) властивості твердих тіл та вплив на ці властивості зовнішніх природних або штучно створених силових збуджуючих факторів.

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері прикладної фізики та наноматеріалів, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК06. Здатність оцінювати соціальну значимість результатів своєї діяльності, бути відповідальним громадянином, усвідомлювати рівні можливостей та гендерні проблеми. проекту або вирішення наукової проблеми.

Фахові компетентності:

ФК01. Здатність самостійно здійснювати наукову діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій.

ФК02. Здатність розвивати теоретичні засади, створювати і застосовувати сучасні об'єкти і процеси прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі прикладної фізики та наноматеріалів з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК07. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних технічних рішень і впровадження нових технологій і матеріалів з огляду на їх вплив на навколишнє середовище.

ФК09. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.

Програмні результати навчання. Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН01. Проявляти наукові погляди та підходи при оцінюванні варіантів створення нових перспективних матеріалів з заданим рівнем властивостей.

РН02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі прикладної фізики та наноматеріалів бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

РН09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів,

«розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

PH11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.

PH12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з прикладної фізики та наноматеріалів.

PH18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

Пререквізити:	
Методологія наукових досліджень	Розуміння теоретичних засад, методів та способів наукового пізнання з метою набуття відповідних компетентностей, створення необхідного підґрунтя і мотивації для самостійного проведення фахових наукових досліджень, зокрема, в області прикладної фізики та наноматеріалів.
Фізичні основи наноматеріалів та нанотехнологій	Теоретичні основи будови, властивостей і методів отримання наноструктур і наноструктурних матеріалів, достатні для самостійного подальшого проведення досліджень в цієї галузі і наступного оволодіння нанотехнологіями, та вміння вибирати методи синтезу (отримання) наноструктур, консолідації тривимірних матеріалів, отримання тонких плівок, адаптувати знання при виконанні власних дисертаційних досліджень.
Науково-дослідна практика	Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напрямку.
Постреквізити:	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

3. Зміст освітньої компоненти

Тема 1. Вступ в фізику конденсованого стану.

Класифікація твердих тіл. Типи хімічного зв'язку у кристалах.

Тема 2. Основи симетрії кристалів.

Гратки Браве, індекси Міллера, пряма й зворотна гратка. Дефекти кристалічної структури.

Тема 3. Динаміка кристалічної ґратки.

Моделі ізольованого атому та пружного континууму. Закон Гука. Температура Дебая. Хвилі в одномірному ланцюжку та трьохвимірній ґратці. Закони дисперсії акустичних й оптичних коливань.

Тема 4. Теплоємність, теплопровідність та термічне розширення твердих тіл.

Тема 5. Зонна теорія твердого тіла.

Рівняння Шредінгера, адіабатичне наближення, самоузгоджений потенціал. Спектр електронів у діелектриках, напівпровідниках та металах.

Тема 6. Кінетичне рівняння Больцмана.

Час релаксації. Механізми розсіювання. Рухливість носіїв заряду. Нерівноважні носії заряду (розподіл по енергії, генерація та рекомбінація, час життя, дифузія та дрейф). Рівняння неперервності, співвідношення Ейнштейна.

Тема 7. Напівпровідники.

Електрони та дірки, ефективна маса. Енергетичний спектр електронів в основних напівпровідниках. Власні та домішкові напівпровідники (донори, акцептори, глибокі центри), особливості поверхневих станів. Рівноважні носії заряду, функції розподілу. Рівень Фермі.

Тема 8. Діелектрики.

Природа носіїв заряду (іони та полярони). Суперіонна провідність. Фазове перетворення діелектрик - метал. Позисторна провідність. Поляризація діелектриків та розрахунок діелектричної проникності. Механізми діелектричних втрат та їхня частотна залежність. Електропровідність та пробій діелектриків. Властивості діелектриків в сильних полях: нелінійність поляризації та провідності, електронний та тепловий пробій. Електричне старіння.

Тема 9. Метали.

Характерні властивості металів. Електропровідність металів. Теплові властивості металів. Електронна теорія металів, поверхня Фермі. Надпровідність металів і сплавів.

Тема 10. Магнітні властивості твердих тіл. Магнетики.

Природа діа-, пара-, феро- та антиферомагнетизму. Магнітні домени (анізотропія, динаміка, гістерезис). Феримагнетизм та роль феритів в матеріалознавстві. Магніторезонансні явища.

Тема 11. Оптичні властивості твердих тіл.

Відбиття, пропускання та поглинання світла металами, діелектриками та напівпровідниками (роль вільних носіїв заряду, край оптичного поглинання). Взаємодія електромагнітного випромінювання з твердим тілом. Генерація та рекомбінація зарядів нетеплового походження. Фотопровідність.

Тема 12. Фазові переходи.

Правило фаз Гіббса для рівноваги. Фазові переходи першого і другого роду.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

Базова література:

1. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла. [в 2-х томах] / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.- Київ: Політехніка, 2017. – 416 с.
2. Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр; Київський університет, 2007. – Т. 1. – 338 с.
3. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, Л.П.Переверзева, В.І. Ільченко, О.С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.:НТУУ «КПІ», 2011: Частина 1. Перспективні напрями матеріалознавства – 302 с.; Частина 2. Діелектрики – 392 с.; Частина 3. Провідники і магнетики -372 с.; Частина 4. Напівпровідники – 336 с.
4. A. Meisel, G. Leonhardt, R. Szargan, X-Ray Spectra and Chemical Binding, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1989.
5. Charles Kittel. Introduction to Solid State Physics. 7th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York – London, 1996.
6. S. Hüfner, Photoelectron Spectroscopy: Principles and Applications, 3rd ed. (Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg), 2003.

Додаткова література:

1. Ievtushenko A. Behavior of Al Impurity in ZnO Films: Influence of Al-Level Doping on Structure, X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Transport Properties / A. Ievtushenko, O.Baibara, M. Dranchuk, O.Khyzhun, V. Karpyna, O. Bykov, O.Lytvyn, V.Tkach, V. Baturin, and O. Karpenko // Phys. Status Solidi A. - 2023.– 220 (2). - P. 2200523 (1 of 7). <https://doi.org/10.1002/pssa.202200523>
2. Ievtushenko A. The effect of Ag doping on the structure, optical, and electronic properties of ZnO nanostructures deposited by atmospheric pressure MOCVD on Ag/Si substrates/ A. Ievtushenko, V. Dzhagan, O. Khyzhun, O. Baibara, O. Bykov, M. Zahornyi, V. Yukhymchuk, M. Valakh, D. R. T. Zahn, K. Naumenko, P. Zaremba and S. Zagorodnya // Semiconductor Science and Technology. – 2023. – 38. – P. 075008 (14pp). <https://doi.org/10.1088/1361-6641/acd6b2>
3. Koziarskyi I.P. The influence of manufacturing modes on the electrical and energy parameters of graphene/p-CdTe Schottky diodes/ I.P. Koziarskyi, M.I. Ilashchuk, I.G. Orletskyi, D.P. Koziarskyi, L.A. Myroniuk, D.V. Myroniuk, A.I. Ievtushenko, E.V. Maistruk // Physica B: Condensed Matter. – 2023. – 667. – P. 415151. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415151>
4. Golovynskyi S. High transparent and conductive undoped ZnO thin films deposited by reactive ion-beam sputtering/ S.Golovynskyi, A.Ievtushenko, S. Mamykin, M. Dusheiko, I.Golovynska, O. Bykov, O. Olifan, D. Myroniuk, S.Tkach, J. Qu // Vacuum. - 2018. - 153. - 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.04.019>
5. Shtepliuk I. Temperature-Dependent Photoluminescence of ZnO Thin Films Grown on Off-Axis SiC Substrates by APMOCVD / I. Shtepliuk, V. Khranovskyy, A. Ievtushenko, R. Yakimova // Materials. – 2021. – 14(4). – P. 1035 (15pp). <https://doi.org/10.3390/ma14041035>

6. Myroniuk L. *The Biological Activity of ZnO Nanostructures Doped by Mg and Co*/L. Myroniuk, D. Myroniuk, V. Karpyna, O. Bykov, I. Garmasheva, O. Povnitsa, L. Artiukh, K. Naumenko, S. Zahorodnia, A. Ievtushenko // *Acta Physica Polonica A*. – 2022. - V. 142 (5). - P. 651-656. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.142.651>
7. Ievtushenko A. *The effect of magnetron power and oxygen pressure on the properties of NiO films deposited by magnetron sputtering in layer-by-layer growth regime*/ A. Ievtushenko, V. Karpyna, O. Khyzhun, O. Bykov, O. Olifan, P. Lytvyn, O. Yarmolenko, V. Tkach, V. Baturin, O. Karpenko // *Vacuum*. – 2023. – 215.– P. 112375. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112375>
8. *Practical Surface Analysis (the 2nd Edition): Vol. 1: Auger and X-Ray Photoelectron Spectroscopy* (Edited by D. Briggs and P.M. Seach), John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1990.
9. M.Ya. Rudysh, A.O. Fedorchuk, V.Yo. Stadnyk, P.A. Shchepanskyi, R.S. Brezvin, B.I. Horon, O.Yu. Khyzhun, O.M. Gorina. *Structure, electronic, optical and elastic properties of (NH₄)₂BeF₄ crystal in paraelectric phase*. *Current Applied Physics* 45 (2023) 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2022.11.005>
10. Tuan V. Vu, O. Khyzhun, G.L. Myronchuk, M. Denysyuk, L. Piskach, A.O. Selezon, I. Radkowska, A.O. Fedorchuk, S.S. Petrovska, V.A. Tkach, M. Piasecki. *Insights from Experiment and Theory on Peculiarities of the Electronic Structure and Optical Properties of the Tl₂HgGeSe₄ Crystal*. *Inorg. Chem* 62, 41 (2023) 16691–16709. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.3c01756>
11. M. Batouche, T. Seddik, Tuan V. Vu, W. Ouerghui, Dj Hemidi, Dat D. Vo, O.Y. Khyzhun, Nguyen N. Hieu. *First-principles calculation of the electronic, optical, and photo-electrochemical properties of CaM₂S₄ (M= Sc, Y) compounds*. *Materials Science in Semiconductor Processing* 164 (2023) 107600. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2023.107600>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

6. Самостійна робота

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження

причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта R розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг) S та диференційованого заліку C . Додаткові бали D можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг S складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до екзамену є кількість рейтингових балів не менше 30.

На екзамені аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 5 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 10 балів. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де S – стартовий рейтинг;

C – залік;

D – додаткові бали.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

<i>Кількість балів</i>	<i>Шкала ECTS</i>	<i>Оцінка за національною шкалою</i>
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	Задовільно
60-64	E	
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено зав. від., д. ф.-м. н., с. н. с. Хижун О.Ю. та зав. від., к.ф.- м.н., ст. досл. Євтушенко А.І.

Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).