

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Затверджено

на засіданні кафедри фізики металів
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 26 червня 2023 року)

Завідувач кафедри



проф. Степан МУДРИЙ

Силабус
з навчальної дисципліни
«Актуальні проблеми фізики конденсованого стану»,
що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»,
ОНП «Експериментальна фізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Львів 2023

Назва дисципліни	Актуальні проблеми фізики конденсованого стану
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра фізики металів
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
Викладачі курсу	Мудрий Степан Іванович, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри фізики металів
Контактна інформація викладачів	stepan.mudryy@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/mudryj-stepan-ivanovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/aktualni-problemy-fizyky-kondensovanoho-stanu-fizyka
Інформація про дисципліну	«Актуальні проблеми фізики конденсованого стану» є вибірковою дисципліною з спеціальності 104 «Фізика та астрономія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 4,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс передбачає надання учасникам основних фундаментальних знань, умінь, навичок, загальних та фахових компетентностей з фізики конденсованого стану і які мають поглибити попередні знання з теоретичних та експериментальних дисциплін і стати основою для подальшого їх вивчення на науково-дослідницькому рівні. В курсі представлені основні знання з різних розділів цієї дисципліни, які є взаємопов'язані та відображають основні досягнення на сьогодні й окреслюють коло необхідних для розв'язання проблем на майбутнє. Оскільки основним питанням є взаємозв'язок структури і фізичних властивостей, то розглянуто основні закономірності формування різного типу структур залежно від характеру міжатомної взаємодії і термодинамічних характеристик.
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану» є формування глибоких фундаментальних знань про рідини і тверді тіла з розумінням закономірностей їх формування шляхом структурування при переході від газоподібного стану у конденсовану речовину. Передбачено детальний розгляд структури найпростіших рідин і твердих тіл з кристалічною та аморфною будовою, а також фазові переходи між цими фазами включаючи і нанокристалізацію. Метою цієї дисципліни є також і формування знань з теоретичних методів та наближень, які вже існують і можуть бути розвинутими у майбутньому для вивчення конденсованих речовин у різних термодинамічних умовах, включаючи екстремальні. Передбачається виклад основних розділів фізики конденсованого стану, які пов'язані з розвитком і застосуванням комп'ютерних методів дослідження конденсованих систем. Завданням курсу є навчити студентів аналізувати отримані ними знання зі загальних курсів та спеціальних дисциплін і на основі цього аналізу формулювати теми наукових досліджень з фізики конденсованого стану. При цьому, метою є навчити студентів характеризувати різні явища та процеси, що відбуваються в конденсованих речовинах та знаходити взаємозв'язок між атомною й електронною структурою та фізичними властивостями.

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Колінько С. О., Бутенко Т. І., Ващенко В. А. Фізика конденсованого стану матеріалів. Конспект лекцій. Черкаси, 2021. 175 с. 2. Говорун Т. П. Фізика конденсованого стану матеріалів: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2015. 236 с. 3. Ткач М. Квазічастинки у наногетеросистемах. Чернівці, 2003, 311с. 4. Шпак А. П., Захаренко М. І. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем. Київ, Академперіодика, 2003, 211 с. 5. Owens F., Poole C.. The physics and Chemistry of Nanosolids. Willey-Interscience, 2008, 539 p. 6. Поплавко Ю. М., Воронов С. О., Якименко Ю. І. Фізичне матеріалознавство, Ч.3. Провідники та магнетики. Навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 372 с. 7. Подопрігора Н. В., Садовий М. І., Трифонова О. М. Фізика твердого тіла : навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів. Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. 416 с. 8. Булавін Л. А., Плевачук Ю. О., Склярчук В. М. Критичні явища розшарування в рідинах на Землі та в космосі. Київ.: Наукова думка, 2011. 278 с. (http://www.ndumka.kiev.ua/books/library-fund). 9. Булавін Л. А. Властивості рідин у критичній області : Навч. посіб. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. К., 2002. 207 с. 10. Metallic glasses. https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/metallic-glass <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Marvin L. Cohen, Steven G. Louie. Fundamentals of condensed matter physics, Cambridge, 2016, 450 p. 2. Michael C. Gao, Jien-Wei Yeh, Peter K. Liaw, Yong Zhang. High-Entropy Alloys. Fundamentals and Applications. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. https://www.springer.com/gp/book/9783319270111. 3. Murty B. S., Yeh Jien-Wei, Ranganathan S., Bhattacharjee P. P. High-Entropy Alloys, 2nd Edition. Elsevier 2019. https://www.elsevier.com/books/high-entropy-alloys/murty/978-0-12-816067-1 <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Національна бібліотека України імені Володимира Вернадського 2. Львівська національна наукова Бібліотека України імені Василя Стефаника 3. Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка 4. Вікіпедія
<p>Тривалість курсу</p>	<p>Один семестр</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>135 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних занять та 87 години самостійної роботи</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>В результаті вивчення цього курсу студент буде знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основні характеристики конденсованих речовин і методи їх теоретичного та експериментального вивчення; • теоретичні методи опису структури та властивостей рідин, їх термодинамічні характеристики та моделі; • явища та процеси, які протікають у твердих кристалічних та

	<p>аморфних речовинах при зміні основних термодинамічних параметрів;</p> <ul style="list-style-type: none"> • моделі фазових переходів та їх опис у конденсованих системах; • методику вибору потенціалу міжатомної взаємодії для розрахунку структури та термодинамічних характеристик конденсованих речовин. <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> • встановлювати закономірності структурно-фазових перетворень із застосуванням законів термодинаміки та фізичної кінетики; • проводити розрахунки властивостей рідин та твердих розчинів на основі сучасних теоретичних методів з використанням потенціалів міжчастинкової взаємодії; • використовувати методи комп'ютерного моделювання для оцінки фізичних характеристик конденсованих речовин.
Ключові слова	Конденсовані речовини, самоорганізація, фазові переходи, кристалізація поверхневі властивості, нерівноважна термодинаміка.
Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці I-го семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти повинні знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, термодинаміки, статистичної фізики, квантової механіки та фізики твердого тіла; вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів загальної фізики, рівноважної та нерівноважної термодинаміки, статистичної фізики, квантової механіки, фізики твердого тіла, фізики неупорядкованих систем фізики кластерних та наноструктурних систем, а також математичних дисциплін для їх практичного застосування; володіти навиками пошуку та аналізу нових літературних даних щодо актуальних проблем фізики конденсованого стану.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, графіками та конкретними наноматеріалами; в) <i>практичні</i> – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для повнішого та глибшого засвоєння нових знань, перевірки закономірностей та механізму формування наноструктур, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок щодо аналізу та інтерпретації результатів досліджень нанооб'єктів різного типу.
Необхідне обладнання	X-променевий дифрактометр, електронний мікроскоп, малокутовий дифрактометр, технологічне обладнання для синтезу, установка для вимірювання електроопору, комп'ютери та наноматеріали.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • лабораторні заняття: 90% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 90. 90-70 — активна участь у 13–16 заняттях; 69-50 — активна участь у 9–12 заняттях; 49-30 — активна участь у 5–8 заняттях; 29-1 — активна участь у 1–4 заняттях;

0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях;
• контрольна робота: 10% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 10.

Оцінювання письмової модульної контрольної роботи (0–10 балів) враховує рівень сформованості знань та вмінь на кінцевому етапі вивчення навчальної дисципліни. Відповідно 10 балів здобувач отримує за 100–96% правильних відповідей, 9 балів – 95–91% прав. відпов., 8 балів – 90–86% прав. відпов., 7 балів – 85–81% прав. відпов., 6 балів – 80–76% прав. відпов., 5 балів – 75–71% прав. відпов., 4 бали – 70–66% прав. відпов., 3 бали – 65–61% прав. відпов., 2 бали – 60–56% прав. відпов., 1 бал – 55–51% прав. відпов., 0 балів – 50% і менше правильних відповідей.

Шкала оцінювання модульної контрольної роботи

Кількість балів	% правильних відповідей
10	100-96
9	95-91
8	90-86
7	85-81
6	80-76
5	75-71
4	70-66
3	65-61
2	60-56
1	55-51
0	50 і менше

Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. Також до 10 додаткових балів включно можна отримати через наукову роботу здобувача, куди входить написання тез, статей, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять чи контрольної роботи з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу чи контрольну роботу. Незадовільну оцінку студент має право перескласти. Додатковий термін перездачі призначає викладач.

Підсумковий контроль здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю. Підсумкова максимальна кількість балів 100.

Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У

	<p>будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних роботах та контрольній роботі. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
Питання на контрольні роботи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Конденсовані речовини, їх характеристики та класифікація. 2. Структурні особливості рідин. Близький порядок. 3. Термодинамічний опис конденсованих речовин. 4. Загальна характеристика відкритих систем. 5. Еволюція та деградація у закритих та відкритих системах. 6. Хаос та порядок. Явище самоорганізації. 7. Інформація та ентропія у відкритих системах. 8. Квантовий ефект Холла. 9. Дробовий квантовий ефект Холла. 10. Магнітокалоричний ефект. 11. Термоелектричні властивості кристалів. 12. Вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах. 13. Вплив лазерного опромінення на структуру аморфних сплавів. 14. Нанокристалізація. 15. Фазові перетворення в аморфних сплавах. 16. Трьохчастинковий потенціал. 17. Дифузійні процеси при самоорганізації. 18. Поверхневі властивості рідин. 19. Поняття про квазікристали, їх структура та властивості. 20. Вибухова кристалізація та її характеристики. 21. Фізичні основи термоелектрики. 22. Електронні кінетичні явища в металах.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану»

Тиждні	Теми занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	<p>Тема 1. Конденсований стан речовини. Класифікація конденсованих речовин. Перехід від газоподібного стану в рідкий і твердий. Перехід аморфний–кристалічний.</p> <p>Література: Б:1,2,6,7; Д:1-3.</p>	Лекції – 2 год., лабораторна – 4 год., самостійна робота – 11 год	2 тижні
3-4	<p>Тема 2. Нерезонансна взаємодія лазерного випромінювання з конденсованими середовищами.</p> <p>Процеси поглинання лазерного випромінювання в металах, напівпровідниках та діелектриках. Механізм нагріву, плавлення та випаровування матеріалів.</p> <p>Література: Б:2,3,5; Д:1.</p>	Лекції – 2 год., лабор. – 4 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні

5-6	Тема 3. Парний потенціал та структура. Кореляційні функції та потенціал. Інтегро-диференційні рівняння та їх розв'язок. Суперпозиційне наближення Кірквуда. Метод молекулярної динаміки та метод Монте-Карло. Література: Б:1-3,7-9.	Лекції – 2 год. лабораторна – 4 год., самостійна робота – 11 год	2 тижні
7-8	Тема 4. Термодинаміка та кінетика кристалізації. Гетерогенна і гомогенна кристалізація. Нерівноважна кристалізація і кристалізація в умовах невагомості. Моделювання процесу кристалізації. Кристалізація аморфних сплавів. Література: Б:6,7-9; Д:2,3.	Лекції – 2 год., лабораторна – 4 год., самостійна робота – 11 год	2 тижні
9-10	Тема 5. Магнітокалоричний ефект. Магнітне впорядкування. Адіабатне перемагнічування. Магнітні характеристики сплавів на основі гадолінію. Гігантський магнітокалоричний ефект. Література: Б:4,6,7.	Лекції – 2 год., лабор. – 4 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
11-12	Тема 6. Аморфні сплави. Структурна релаксація в аморфних сплавах. Вплив лазерного опромінення на структуру та властивості аморфних сплавів. Фазові перетворення і основні теоретичні наближення. Експериментальні дослідження структурних перетворень в аморфних сплавах. Література: Б:4,6,7,10.	Лекції – 2 год., лабораторна – 4 год., самостійна робота – 11 год	2 тижні
13-14	Тема 7. Магнетизм. Магнітні властивості кристалічних матеріалів. Фізична природа магнетизму. Порівняння магнітних властивостей кристалічних та аморфних матеріалів. Перспективи створення нових магнітних матеріалів. Література: Б:1,2,4,6,7; Д:1.	Лекції – 2 год., лабораторна – 4 год., самостійна робота – 11 год	2 тижні
15-16	Тема 8. Дифузія. Основні рівняння дифузії та кінетика дифузії. Методи дослідження явищ дифузії. Роль дифузійних процесів у фазових перетвореннях. Література: Б:1,2, 6-9; Д:1.	Лекції – 2 год., лабораторна – 3 год., контрольна робота – 1 год., самостійна робота – 10 год	2 тижні