

**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**  
**«Досягнення та перспективні дослідження конденсованих речовин»,**  
**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**

<b>Назва дисципліни</b>	Досягнення та перспективні дослідження конденсованих речовин
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра фізики металів
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
<b>Викладач дисципліни</b>	Мудрий Степан Іванович, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри фізики металів
<b>Контактна інформація викладачів</b>	stepan.mudryy@lnu.edu.ua <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/mudryj-stepan-ivanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/mudryj-stepan-ivanovych</a>
<b>Консультації з дисципліни відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/dosiahnennia-ta-perspektyvni-doslidzhennia-kondensovanykh-rechovyn-fizyka-ta-astronomiia">https://physics.lnu.edu.ua/course/dosiahnennia-ta-perspektyvni-doslidzhennia-kondensovanykh-rechovyn-fizyka-ta-astronomiia</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	«Досягнення та перспективні дослідження конденсованих речовин» є дисципліною вільного вибору зі 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).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Досягнення та перспективні дослідження конденсованих речовин» належить до дисциплін, які підсумовують основні профільюючі курси і є логічним їхнім завершенням. У ній містяться розділи, присвячені найголовнішим питанням фізики конденсованого стану. Розглядаються рідини, тверді тіла, а також ефекти, які спостерігаються в цих речовинах. Причому класичні знання поєднуються з викладом найновіших теоретичних та експериментальних даних, опублікованих у періодичних наукових виданнях та монографіях.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою дисципліни є формування у майбутнього спеціаліста системи знань з фізики конденсованого стану та методів перспективних досліджень конденсованої речовини, розуміння закономірностей утворення структури та її взаємозв'язку з фізичними властивостями. Це передбачає виклад основних розділів фізики конденсованого стану, з яких можна отримати решту навчального матеріалу. Головна увага звертається на розуміння ролі міжатомної взаємодії при формуванні конденсованих систем. Завданням є навчити студентів аналізувати різні явища та процеси, що відбуваються в конденсованих речовинах та знаходити взаємозв'язок між атомною і електронною структурою з одного боку та фізичними властивостями з іншого.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики: Навчальний посібник у 3-х т. Київ: Техніка, 2006. 2. 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. ( <a href="http://www.ndumka.kiev.ua/books/library-fund">http://www.ndumka.kiev.ua/books/library-fund</a> ). 3. Булавін Л. А. Властивості рідин у критичній області : Навч. посіб. / Л. А. Булавін; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2002. - 207 с.

	<p>4. Мудрий С. І. Вплив лазерного опромінення на структуру аморфних металевих сплавів: монографія/ С. І. Мудрий, Ю.С. Никируй.- Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 118 с.</p> <p>5. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник/ Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Береснев В.М., Воеводін В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболев О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. – 316 с.</p> <p>6. Сперкач С. О., Трачевський В. В., Трачевський О. В., Загородній Ю. О., Попович К. О. Наноматеріали спеціального призначення: формування, застосування. Вінниця. «Твори», 2021. - 444 с.</p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <p>1. Гриценко М. І. Фізика рідких кристалів. Навчальний посібник. Київ : Академія, 2012 . – 271 с.</p> <p>2. Metallic glasses. <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/metallic-glass">https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/metallic-glass</a></p> <p>3. Кшнякин В. С. Основи фізичного матеріалознавства [Електронний ресурс] / В. С. Кшнякин, А. С. Опанасюк, К. О. Дядюра. - Електронне вид. каф.: Електроніки і комп'ютерної техніки; ПМіТКМ. - Суми: СумДУ, 2015. - 466 с.</p> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <p>1. Національна бібліотека України імені Володимира Вернадського</p> <p>2. Львівська національна наукова Бібліотека України імені Василя Стефаника</p> <p>3. Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка</p> <p>4. Вікіпедія</p>
<b>Тривалість дисципліни</b>	Один семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	135 годин, з яких 48 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних занять та 87 годин самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення даного курсу студенти повинні знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• як формування структури у конденсованих речовинах (рідинах, аморфних речовинах і кристалічних матеріалах) в порівнянні з газами відображається на їхніх фізичних властивостях;</li> <li>• основні теоретичні наближення та моделі, які описують явища та процеси, що відбуваються у конденсованих речовинах і пояснюють спостережувані на експерименті закономірності та особливості;</li> <li>• явища та процеси, які протікають не лише у рівноважних фазових перетвореннях, а й при умовах далеких від рівноважних і пов'язані з самоорганізацією та деградацією структури;</li> <li>• моделі фазових переходів та прогнозування проміжних та кінцевих структурно- фазових станів;</li> <li>• критерії вибору того чи іншого потенціалу для розрахунку структури та термодинамічних характеристик конденсованих речовин</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• застосовувати фундаментальні знання з фізики конденсованого</li> </ul>

	<p>стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах та рідинах;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводити розрахунки властивостей рідин та кристалічних тіл на основі сучасних теоретичних методів з використанням потенціалів парної взаємодії;</li> <li>• використовувати методи комп'ютерного моделювання для оцінки фізичних характеристик конденсованих речовин.</li> </ul>												
<b>Ключові слова</b>	Молекулярні пучки, лазерна абляція, газова епітаксія, поруваті матеріали, рідкофазна епітаксія, процес спікання, високоентропійні сплави, адитивні технології, магнітні матеріали												
<b>Формат дисципліни</b>	Очний												
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультацій для кращого розуміння тем												
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1												
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці семестру												
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення даної дисципліни необхідні знання з вищої математики, загальної фізики, термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики кластерних і наноструктурних систем, хімії, статистичної фізики та квантової механіки.												
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Лекції, презентації, робота за комп'ютером												
<b>Необхідне обладнання</b>	X-променевий дифрактометр, електронний мікроскоп, малокутовий дифрактометр, технологічне обладнання для синтезу, установка для вимірювання електроопору, комп'ютери.												
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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;</li> <li>• контрольна робота: 10% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 10.</li> </ul> <p>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.</p> <p style="text-align: center;"><b>Шкала оцінювання модульної контрольної роботи</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Кількість балів</th> <th>% правильних відповідей</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>100-96</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>95-91</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>90-86</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>85-81</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>80-76</td> </tr> </tbody> </table>	Кількість балів	% правильних відповідей	10	100-96	9	95-91	8	90-86	7	85-81	6	80-76
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 будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

**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.

**Політика виставлення балів.** Враховуються бали, набрані на практичних та поточному тестуванні. 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.

Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.

**Питання на контрольні роботи**

1. Відмінність структур кристалічних і аморфних твердих тіл.
2. Описати кінетику кристалізації аморфних сплавів.
3. Швидка кристалізація і утворення аморфної структури.
4. Аналітичний опис температурної залежності коефіцієнта

	<p>поверхневого натягу.</p> <p>5. Зв'язок між коефіцієнтом поверхневого натягу і структурою ближнього порядку.</p> <p>6. Моделі розчинів.</p> <p>7. Дати визначення «вибухової» кристалізації.</p> <p>8. Яка відмінність кристалізації від агрегації?</p> <p>9. Дати визначення критичної точки розшарування в подвійних розплавах.</p> <p>10. Температурна залежність в'язкості в околі критичної точки розшарування.</p> <p>11. Яка відмінність високоентропійних сплавів від традиційних сплавів.</p> <p>12. Залежність ентропії сплаву від кількості компонент в ньому.</p> <p>13. Методи отримання фулеренів.</p> <p>14. Якими можуть бути матриці в нанокompозитних системах.</p> <p>15. Які елементи використовують для зменшення дифузії під час кристалізації аморфних сплавів?</p> <p>16. Дати визначення адитивних технологій.</p> <p>17. Які особливості 3D друк аморфних сплавів.</p> <p>18. Описати механізм лазерного спікання в адитивних технологіях.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Досягнення та перспективні дослідження конденсованих речовин»

Тижні	Теми занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	<p><b>Тема 1. Конденсований стан речовини.</b></p> <p>Класифікація конденсованих речовин. Перехід від газоподібного стану в рідкий і твердий. Перехід від аморфного до кристалічного стану. Основи термодинаміки конденсованих систем. Правило фаз Гіббса. Ознайомлення з CALPHAD та ThermoCalc.</p> <p><b>Література:</b> Б:1,3; Д:1,3.</p>	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 10 год.	2 тижні
3-4	<p><b>Тема 2. Поверхневі властивості рідин.</b></p> <p>Основні теорії поверхневих явищ. Температурна залежність коефіцієнта поверхневого натягу в рідинах різного типу. Вплив домішок на поверхневий натяг. Співставлення теоретичних та експериментальних даних. Основи теорії капілярності.</p> <p><b>Література:</b> Б:1,2,3; Д:3.</p>	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні
5-6	<p><b>Тема 3. Розчини. Кристалізація.</b></p> <p>Класифікація розчинів. Основні теорії розчинів. Регулярні і субрегулярні розчини. Модель асоційованого розчину. Розчини електролітів. Гетерогенна і гомогенна кристалізація. Нерівноважна кристалізація і кристалізація в умовах невагомості. Моделювання процесу кристалізації. Кристалізація аморфних сплавів.</p> <p><b>Література:</b> Б:1,2,3; Д:3.</p>	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні
7-8	<p><b>Тема 4. Критичні явища.</b></p> <p>Критичний стан речовини. Класична теорія критичних явищ. Флуктуаційна теорія критичного стану. Критичні явища в однокомпонентних рідинах. Критичні явища в подвійних системах. Розшарування. Методи дослідження критичних явищ. Визначення положення кривих та</p>	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні

	поверхонь розшарування на фазових діаграмах. Розрахунок критичних параметрів. Специфіка дослідження критичних явищ в умовах мікрогравітації. <b>Література:</b> Б:1,2,3; Д:3.		
9-10	<b>Тема 5. Структура і властивості високоентропійних сплавів.</b> Термодинаміка і умови утворення високоентропійних сплавів. Структура високоентропійних сплавів. Методи отримання високоентропійних сплавів. Експериментальні методи досліджень. Перспективи застосування високоентропійних сплавів. <b>Література:</b> Б:2,3; Д:3.	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні
11-12	<b>Тема 6. Наноструктурні системи.</b> Метали в об'ємних і нанорозмірних формах. Керамічні нанорозмірні матеріали. Наносистеми на основі вуглецевих нанотрубок. Вплив керамічних нанорозмірних домішок на властивості нанокомпозитів. Вплив металів в об'ємних і нанорозмірних формах на властивості нанокомпозитних систем. Нові матеріали для безсвинцевих припоїв. <b>Література:</b> Б:1,5,6; Д:3.	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні
13-14	<b>Тема 7. Аморфні сплави. Нові магнітні матеріали.</b> 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. Магнітні властивості кристалічних матеріалів. Фізична природа магнетизму. Порівняння магнітних властивостей кристалічних та аморфних матеріалів. Перспективи створення нових магнітних матеріалів. <b>Література:</b> Б:1,4-6; Д:2,3.	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні
15-16	<b>Тема 8. Фізичні основи адитивних технологій.</b> Адитивні технології. Комп'ютерне проектування виробів складної форми. Полімери і металічні порошки. Лазерне оплавлення і спікання. 3D друк аморфних сплавів. <b>Література:</b> Б:4-6; Д:2,3.	Лекції – 2 год. лабораторні- 4 год самостійна робота – 11 год.	2 тижні