

**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 26.06.2023 р.)

Завідувач кафедри



проф. Мудрий С. І

**Силабус**

**з навчальної дисципліни «Кінетичні процеси в багатокомпонентних системах»,  
що викладається в межах ОПП «Прикладна фізика та наноматеріали»  
другого (магістерського) рівня вищої освіти  
для здобувачів зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали**

**Львів 2023**

<b>Назва дисципліни</b>	Кінетичні процеси в багатокомпонентних системах
<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 - 105 Прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладачі курсу</b>	професор кафедри фізики металів Мудрий Степан Іванович, д.ф.-м.н.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:stepan.mudryy@lnu.edu.ua">stepan.mudryy@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/mudryj-stepan-ivanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/mudryj-stepan-ivanovych</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через MS Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача або дзвонити
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/kinetychni-protsezy-v-bahatokomponentnykh-systemakh-105-prykladna-fyzyka-ta-nanomaterialy-opp-prykladna-fyzyka-ta-nanomaterialy">https://physics.lnu.edu.ua/course/kinetychni-protsezy-v-bahatokomponentnykh-systemakh-105-prykladna-fyzyka-ta-nanomaterialy-opp-prykladna-fyzyka-ta-nanomaterialy</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Кінетичні процеси в багатокомпонентних системах» є вибірковою дисципліною з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для другого (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 4,0 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Курс передбачає надати учасникам основні фундаментальні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для розуміння фізичних явищ та процесів, які є актуальними для сучасної фізики багатокомпонентних систем. Тому у курсі представлені відповідні дані про структуру та фізичні властивості матеріалів різного типу, включаючи нанорозмірні та інтелектуальні матеріали. Також розглядається питання про перспективні напрямки теоретичних та експериментальних досліджень та їх зв'язок з можливостями практичного застосування.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою дисципліни «Кінетичні процеси в багатокомпонентних системах» є формування необхідних фундаментальних теоретичних та експериментальних знань у майбутнього спеціаліста системи знань з фізики систем у склад яких входить значна кількість елементів та фаз і розуміння закономірностей утворення їх структури та її взаємозв'язку з фізичними властивостями. Це передбачає виклад основних розділів фізики конденсованого стану, які виявляють тісний зв'язок з іншими розділами і відображають найбільший інтерес як з точки хору теоретичних досліджень так і в плані практичного застосування. Завданням курсу є навчити студентів аналізувати отримані ними знання зі загальних курсів та спеціальних дисциплін і на основі цього аналізу формувати знання про складні багатокомпонентні сплави, зокрема про високоентропійні сплави та об'ємні аморфні матеріали.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Кшнякин, В.С. Основи фізичного матеріалознавства [Електронний ресурс] / В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра. - Електронне вид.

	<p>каф.: Електроніки і комп'ютерної техніки; ПМіТКМ. - Суми: СумДУ, 2015. – 466 с.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. F.Owens, C.Poole. The Physics and Chemistry of Nanosolids. Willey-Interscience, 2008. – 539 p.</li> <li>3. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. – 236 с.</li> <li>4. Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство , Ч. 3. Провідники та магнетики. /Ю. М. Поплавко, С. О. Воронов, Ю. І. Якименко. Навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 372 с.</li> <li>5. .А. Булавін, Ю.О. Плевачук, В.М. Склярчук. Критичні явища розшарування в рідинах на Землі та в космосі. – Київ.: Наукова думка, 2011. –278 с.</li> <li>6. Гриценко М.І. Фізика рідких кристалів. Навчальний посібник. Київ : Академія, 2012 . – 271 с.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подопрігора Н.В. М.І. Садовий, О.М. Трифонова. Фізика твердого тіла / Н. В. Подопрігора, М.І. Садовий, О.М. Трифонова: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів, – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.</li> <li>2. B.S. Murty, Jien-Wei Yeh, S. Ranganathan, P. P. Bhattacharjee. High-Entropy Alloys, 2nd Edition. Elsevier, 2019. <a href="https://www.elsevier.com/books/high-entropy-alloys/murty/978-0-12-816067-1">https://www.elsevier.com/books/high-entropy-alloys/murty/978-0-12-816067-1</a></li> <li>3. М.В. Карпець, О.С. Макаренко, О.М. Мисливченко, В.Ф. Горбань. ВПЛИВ NI на фазовий склад, мікроструктуру та механічні властивості системи високоентропійних сплавів AlCrCoCuFeNi<sub>x</sub> (x = 0; 0,5; 1; 2; 3). Наукові вісті НТУУ “КПІ”, Матеріалознавство та машинобудування. - 2014, т. 2. – с. 46–52.</li> </ol> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="http://www.nbuv.gov.ua/">http://www.nbuv.gov.ua/</a> – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського.</li> <li>2. <a href="http://www.lsl.lviv.ua/">http://www.lsl.lviv.ua/</a> - Львівська національна наукова Бібліотека України імені В. Стефаника</li> <li>3. <a href="https://lnulibrary.lviv.ua/">https://lnulibrary.lviv.ua/</a> - Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка</li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	120 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 88 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення цього курсу студент буде знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основні явища, що відбуваються у багатокомпонентних термодинамічних системах при умовах далеких від рівноважних, а також процеси самоорганізації, деградації та еволюції;</li> <li>• закономірності формування фаз та їх стабільність у багатокомпонентних</li> </ul>

	<p>термодинамічних системах;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретичні наближення опису структури та властивостей рідин та їх термодинамічні характеристики;</li> <li>• явища та процеси, які протікають у високоентропійних сплавах та об'ємнихаморфних сплавах аморфних;</li> <li>• моделі фазових переходів та інших перетворень у багатокомпонентних системах, їх теоретичний опис та методи експериментального дослідження ;</li> <li>• методику вибору потенціалу міжчастинкової взаємодії для теоретичного розрахунку та модельного прогнозування структури та термодинамічних характеристик складних конденсованих речовин.</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• застосовувати фундаментальні знання з фізики багатокомпонентних систем для пояснення основних явищ та процесів, які відбуваються при різних термодинамічних умовах;</li> <li>• проводити розрахунки кінетичних параметрів багатокомпонентних систем на різного типу основі сучасних термодинамічних методів;</li> <li>• використовувати методи комп'ютерного моделювання для розрахунку кінетичних параметрів багатокомпонентних систем (теплопровідність, дифузія, в'язкість, електропровідність тощо).</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Багатокомпонентні системи, ентальпія змішування, фазові переходи, високоентропійні сплави, нерівноважна термодинаміка.
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації 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 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 кінетичних явищ у багатокомпонентних системах.
<b>Навчальні методи та техніки, я кі будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	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 кінетики механізму формування фаз у багатокомпонентних системах, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок щодо аналізу та інтерпретації результатів досліджень.

<p><b>Необхідне обладнання</b></p>	<p>Диференціальний сканувальний калориметр, дилатометр, X-променевий дифрактометр, електронний мікроскоп, малокутовий дифрактометр, технологічне обладнання для синтезу, установка для вимірювання кінетичних властивостей.</p>
<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні заняття: 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 80 (лабораторні № 1 і № 4 – 10 балів, № 2, 3 і 5 – 20 балів)</li> <li>• контрольна робота 20% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 20 (1 контрольна робота – 20 балів).</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> 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.</p> <p><b>Відвідання занять</b> 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.</p> <p><b>Література.</b> 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><b>Політика виставлення балів.</b> 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; несвочасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання на контрольні роботи</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Термодинамічні системи та їх характеристики.</li> <li>2. Закриті та відкриті термодинамічні системи .</li> <li>3. Термодинамічний опис багатокомпонентних систем</li> <li>4. Ентальпія та ентропія змішування та їх фізичний зміст</li> <li>5. Розчини та їх термодинамічні функції. Моделі розчинів.</li> <li>6. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах.</li> <li>7. Правило фаз Гібса та термодинамічна рівновага</li> <li>8. Діаграми фазової рівноваги</li> <li>9. Дифузія та дифузійні процеси у багатокомпонентних системах</li> <li>10. Термоелектричні та закономірності їх зміни</li> <li>11. Електропровідність. Механізм електропровідності у багатокомпонентних металічних системах.</li> <li>12. Вязкість багатокомпонентних металічних розплавів.</li> <li>13. Електропровідність аморфних металічних сплавів.</li> </ol>

	<p>14. Теплопровідність багатоконпонентних сплавів. Зростання ентропії при теплообміні.</p> <p>15. Термо-е.р.с.і вплив домішок на термоелектричні параметри.</p> <p>16. Ефект Хола у багатоконпонентних системах. Квантовий ефект Хола.</p> <p>17. Високоентропійні сплави.</p> <p>18. Кінетичні властивості високоентропійних сплавів.</p> <p>19. Дифузійні та бездифузійні кінетичні процеси</p> <p>20. Моделювання кінетичних процесів.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Кінетичні процеси в багатокомпонентних системах»

Тижні	Теми занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1-2	<b>Тема 1. Термодинамічні системи.</b> Типи термодинамічних систем. Відкриті та закриті термодинамічні системи. Рівноважні та нерівноважні процеси.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 3, 4; Допоміжна: 1	2 тижні
3-4	<b>Тема 2. Загальна характеристика відкритих систем</b> Кінетичні процеси та термодинамічні сили Сприйнятливості систем до термодинамічних сил. Зміна ентропії у відкритих термодинамічних системах.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 3, 4; Допоміжна: 1. 2	2 тижні
5-6	<b>Тема 3. Основні поняття термодинаміки нерівноважних систем</b> Рівняння Смолуховського. Принцип детальної рівноваги Рівняння Фокера-Планка. Броунівський рух.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 3, 4; Допоміжна: 1	2 тижні
7-8	<b>Тема 4. Ентропія і кінетичні процеси.</b> Кінетичне рівняння Больцмана. Закони збереження і закон зростання ентропії. Локальний розподіл Максвелла-Больцмана.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 4, 6; Допоміжна: 2, 3	2 тижні
9-10	<b>Тема 5. Аномальний броунівський рух</b> Броунівський рух з нестоксовим коефіцієнтом. Задача Стокса при змінній швидкості броунівської частинки.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 2, 3; Допоміжна: 3	2 тижні
11-12	<b>Тема 6. Температурні залежності при фазових переходах.</b> Теплоємність нерівноважних станів. Кінетичне рівняння для сегнетоелектриків. Швидкі і повільні флуктуації. Теплоємність полідоменних сегнетоелектриків.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 3, 5, 6; Допоміжна: 2, 3	2 тижні
13-14	<b>Тема 7. Еволюція впорядкованості при нерівноважних фазових переходах.</b> Кінетичний опис дворівневих систем. Стаціонарний режим генерації в лазері Флуктуаційні	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	Базова: 1, 2, 5; Допоміжна: 2, 3	2 тижні

	процеси в лазерах. Спектр випромінювання квантового генератора. Флуктуації амплітуди і фази.			
15-16	<p><b>Тема 8. Еволюція структури при турбулентному русі.</b></p> <p>Характерні риси турбулентного руху. Турбулентний рух нестисливої рідини. Гідродинамічна нестійкість і виникнення турбулентності. Зменшення ентропії при переході від ламінарної течії до турбулентної. Кінетичний опис турбулентного руху.</p>	<p>Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год</p>	<p>Базова: 3, 4, 5; Допоміжна: 2</p>	<p>2 тижні</p>