

**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 № 9 від 29.08.2022 р.)

Завідувач кафедри



проф. Мудрий С. І.

**Силабус**  
**з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану»,**  
**що викладається в межах**  
**ОНП «Прикладна фізика та наноматеріали»**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали**

Львів 2022

<b>Назва дисципліни</b>	Актуальні проблеми фізики конденсованого стану
<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>	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 по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/aktualni-problemy-fizyky-kondensovanoho-stanu-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy">https://physics.lnu.edu.ua/course/aktualni-problemy-fizyky-kondensovanoho-stanu-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану» є вибірковою дисципліною з спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» для другого (магістерського) 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 конденсованого стану. 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 «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану» є формування необхідних фундаментальних теоретичних та експериментальних знань у майбутнього спеціаліста системи знань з фізики конденсованого стану і розуміння закономірностей утворення 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 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 і електронною структурою з одного боку та фізичними властивостями з іншого.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. 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. 2. Ткач М. Квазічастинки у наногетеросистемах. Чернівці, 2003, 311с. 3. Шпак А.П. Захаренко М.І. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем, Київ, Академперіодика. 2003. 211с. 4. F.Owens, C.Poole. The physics and Chemistry of Nanosolids. Willey-Interscience, 2008, 539p.

	<p>5. 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.</p> <p>6. Подопрігора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М.. 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. Д</p> <p>7. 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>).</p> <p>8. Булавін Л. А. Властивості рідин у критичній області : Навч. посіб. / Л. А. Булавін; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. - К., 2002. - 207 с. - Бібліогр.: 122 назв. - укр.</p> <p>9. Гриценко М.І. Фізика рідких кристалів. Навчальний посібник. Київ : Академія, 2012 . – 271 с.</p> <p>10.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><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Michael C. Gao, Jien-Wei Yeh, Peter K. Liaw, Yong Zhang. High-Entropy Alloys. Fundamentals and Applications. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. <a href="https://www.springer.com/gp/book/9783319270111">https://www.springer.com/gp/book/9783319270111</a>.</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 відкритих термодинамічних системах при умовах далеких від рівноважних, а також процеси самоорганізації, деградації та еволюції;</li> <li>• теоретичні наближення опису структури та властивостей рідин та їх термодинамічні характеристики;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• явища та процеси, які протікають у твердих кристалічних та аморфних речовинах та роль міжатомної взаємодії в цих явищах;</li> <li>• моделі фазових переходів та інших перетворень у конденсованих системах, їх теоретичний опис та методи експериментального дослідження ;</li> <li>• методика вибору потенціалу міжчастинкової взаємодії для теоретичного розрахунку та модельного прогнозування 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 стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах та рідинах;</li> <li>• проводити розрахунки структури та властивостей рідин та твердих сплавів різного типу на основі сучасних теоретичних методів з використанням потенціалів міжчастинкової взаємодії;</li> <li>• використовувати методи комп'ютерного моделювання для оцінки фізичних характеристик конденсованих речовин.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Конденсовані речовини, самоорганізація, фазові переходи, кристалізація поверхневі властивості, 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 актуальних проблем фізики конденсованого стану.
<b>Навчальні методи та техніки, які 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 механізму формування наноструктур, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок щодо аналізу та інтерпретації результатів досліджень нанооб'єктів різного типу.
<b>Необхідне обладнання</b>	X-променевий дифрактометр, електронний мікроскоп, малокутовий дифрактометр, технологічне обладнання для синтезу, установка для вимірювання електроопору, комп'ютери та наноматеріали.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • лабораторні заняття: 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 80

	<p>• контрольна робота 20% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 20. 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.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання на контрольні роботи</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теорія парних потенціалів. взаємодії, між електронейтральними молекулами.</li> <li>2. Парний потенціал Ленарда- Джонса.</li> <li>3. Парний потенціал Марча в рідких мпеталах.</li> <li>4. Статистична теорія будови рідини.</li> <li>5. Функція радіального розподілу атомів і молекул в рідинах.</li> <li>6. Вивести формулу внутрішньої енергії рідин.</li> <li>7. Фізична суть віріалу, довести теорему віріалу і показати, що вона визначає.</li> <li>8. Грунтуючись на теоремі віріала вивести рівняння стану рідин.</li> <li>9. Структурно-зонна класифікація твердих тіл.</li> <li>10. Енергія зв'язку в іонних та іонно-ковалентних кристалах. Стала Маделунга.</li> <li>11. Дисипативні структури.</li> <li>12. Принцип мінімуму виробництва ентропії в процесах самоорганізації.</li> <li>13. Інформація та ентропія у відкритих системах.</li> <li>14. Термоелектричні властивості кристалів.</li> <li>15. Вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах.</li> <li>16. Вплив лазерного опромінення на структуру аморфних сплавів.</li> <li>17. Нанокристалізація.</li> <li>18. Фазові перетворення в аморфних сплавах.</li> <li>19. Трьохчастинковий потенціал.</li> <li>20. Дифузійні процеси при самоорганізації.</li> </ol>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Таблиця 1

## Схема курсу «Актуальні проблеми фізики конденсованого стану»

Тижні	Теми занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	<b>Тема 1. Конденсований стан речовини.</b> Класифікація конденсованих речовин. Перехід від газоподібного стану в рідкий і твердий. Перехід аморфний–кристалічний.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
3-4	<b>Тема 2. Нерезонансна взаємодія лазерного випромінювання з конденсованими середовищами.</b> Процеси поглинання лазерного випромінювання в металах, напівпровідниках та діелектриках. Механізм нагріву, плавлення та випаровування матеріалів.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
5-6	<b>Тема 3. Фізичні процеси формування конденсованих середовищ з допомогою лазера.</b> Процеси формування тонких плівок з допомогою лазера. Лазерний синтез нанопорошкових матеріалів. Лазерний відпал і кристалізація твердотільних матеріалів.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
7-8	<b>Тема 4. Кристалізація.</b> Гетерогенна і гомогенна кристалізація Нерівноважна кристалізація і кристалізація в умовах невагомості. Моделювання процесу кристалізації. Кристалізація аморфних сплавів.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
9-10	<b>Тема 5. Квантовий ефект Хола.</b> Ефект Хола у 3d-матеріалах. Двовимірні структури. Рівні Ландау і провідність металічних плівок. Одиниця електроопору 1 кнтіцінг. Дробовий квантовий ефект Хола.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
11-12	<b>Тема 6. Аморфні сплави.</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.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
13-14	<b>Тема 7. Магнетизм.</b> Магнітні властивості кристалічних матеріалів. Фізична природа магнетизму. Порівняння магнітних властивостей кристалічних та аморфних матеріалів. Магнетизм наноструктур. Перспективи створення нових магнітних матеріалів для гнучкої електроніки..	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні
15-16	<b>Тема 8. Дифузія.</b> Основні рівняння дифузії та кінетика дифузії. Методи дослідження явищ дифузії. Роль дифузійних процесів у фазових перетвореннях.	Лекції – 2 год. лабор. – 2 год. самостійна робота – 11 год	2 тижні

Таблиця 2

## Теми лабораторних робіт

Тижні	Теми лабораторних занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	Вивчення теплової кристалізації аморфних сплавів на основі заліза.	лабор. – 2 год.	2 тижні
3-4	Дослідження процесу формування поверхневих лазерно-індукованих структур.	лабор. – 4 год.	4 тижні
5-6			
7-8	Дослідження структурних змін феромагнетика в околі температури Кюрі.	лабор. – 4 год.	4 тижні
9-10			
11-12	Розрахунок конфігураційної ентропії змішування для подвійних металічних розплавів.	лабор. – 2 год.	2 тижні
13-14	Х-променеве дослідження фрактальної структури.	лабор. – 4 год.	4 тижні
15-16			