

**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**  
**«Фізика неупорядкованих систем (рідини, аморфні і наносистеми**  
**(Physics of disordered systems (liquids, amorphous and nanosystems))»**,  
**що викладається в межах ОНП «Експериментальна фізика»**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів з спеціальності 104 «Фізика та астрономія»**

**Львів 2023**

<b>Назва дисципліни</b>	Фізика неупорядкованих систем (рідини, аморфні і наносистеми) (Physics of disordered systems (liquids, amorphous and nanosystems))
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Львівський національний університет імені Івана Франка 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>Викладачі курсу</b>	Мудрий Степан Іванович, д-р ф.-м. наук, 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 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/fizyka-nevporядkovanyh-system-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-nevporядkovanyh-system-fizyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	«Фізика неупорядкованих систем (рідини, аморфні і наносистеми) (Physics of disordered systems (liquids, amorphous and nanosystems))» є нормативною дисципліною зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, і викладається в II семестрі в обсязі 3,0 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 і процесів, які є актуальними для сучасної фізики неупорядкованих систем. Тому у курсі представлені відповідні дані про структуру та фізичні властивості неупорядкованих систем різного типу, включаючи рідкі метали, двокомпонентні розплави та аморфні сплави. Також розглядаються основні теоретичні наближення, експериментальні дослідження структури та властивостей дифракційними методами та методи комп'ютерного моделювання.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою дисципліни «Фізика неупорядкованих систем (рідини, аморфні і наносистеми) (Physics of disordered systems (liquids, amorphous and nanosystems))» є формування у майбутнього спеціаліста необхідних фундаментальних теоретичних та експериментальних знань з фізики неупорядкованих систем і розуміння закономірностей утворення структури ближнього порядку та її взаємозв'язку з фізичними властивостями. Це передбачає виклад основних результатів теоретичних досліджень, експериментальних вимірювань та комп'ютерного моделювання. Завданням курсу є навчити студентів аналізувати особливості структури рідин та аморфних речовин, їх співвідношення зі структурою кристалів та знаходити методи програмованого впливу на процеси формування структури та фізичних властивостей. Завданням курсу також є вміння аналізувати основні результати вивчення неупорядкованих систем з англійської літератури.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Аморфні та нанокристалічні феромегнетики / Ю.А. Загородній та ін. Вінниця: Твори, 2019. 312с. 2. Дибков В. І. Твердофазна хімічна кінетика і реакційна дифузія. К.:2002. 311с.

	<p>3. Адаменко І. І., Булавін Л. А. Фізика рідин та рідинних систем. Полтава: АСМІ, 2006. 600с.</p> <p>4. Lei Fu, Mengqi Zeng. Liquid Metals: Properties, Mechanism and Application. Willey, 2022. 412 p.</p> <p>5. Структура неупорядкованих систем. Теорія, експериментальні методи, моделювання: монографія/ В. П. Казіміров та ін. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2009. 319 с.</p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <p>1. N. H. March, M. P. Tosi. Introduction to liquid state physics, World Scientific, Singapore, 2002. 431 p.</p> <p>2. Наноматеріали і нанотехнології / Азаренков М.О. та ін. Харків. ХНУ, 2014. 315с.</p> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <p>1. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського;</p> <p>2. Львівська національна наукова Бібліотека України імені В. Стефаника;</p> <p>3. Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка;</p> <p>4. Вікіпедія.</p>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять та 58 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення цього курсу студент буде <b>знати:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. основні явища, що відбуваються у рідинах різного типу (молекулярних рідинах, рідких металах і напівпровідниках, зріджених інертних газах);</li> <li>2. теоретичні методи опису структури й властивостей рідин та їх термодинамічні характеристики;</li> <li>3. явища та процеси, які протікають в аморфних речовинах та роль електронної структури в цих явищах;</li> <li>4. моделі електронних переходів та інших перетворень у неупорядкованих системах;</li> <li>5. моделі енергетичного спектру неупорядкованих систем;</li> </ol> <p><b>вміти:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. застосовувати фундаментальні знання з фізики неупорядкованих систем для аналізу явищ і процесів, які відбуваються в аморфних твердих тілах та рідинах;</li> <li>2. проводити розрахунки властивостей неупорядкованих систем на основі сучасних теоретичних методів з використанням потенціалів міжчастинкової взаємодії;</li> <li>3. використовувати методи комп'ютерного моделювання для оцінки фізичних характеристик неупорядкованих систем.</li> </ol> <p>В результаті успішного проходження курсу студент набуде такі <i>загальні та спеціальні (фахові) компетентності:</i></p> <p>здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях <b>(ЗК01)</b>;</p> <p>знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності <b>(ЗК02)</b>;</p> <p>здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел <b>(ЗК03)</b>;</p> <p>здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології <b>(ЗК05)</b>;</p> <p>здатність проведення досліджень на відповідному рівні <b>(ЗК07)</b>;</p>

здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ **(СК01)**;

здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії **(СК02)**;

здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії **(СК04)**;

здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опанувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях **(СК05)**;

здатність розробляти наукові та прикладні проекти, керувати ними та оцінювати їх на основі фактів **(СК06)**;

здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси **(СК08)**;

здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії методи управління наукою та ділового адміністрування **(СК09)**;

здатність використовувати знання й уміння в галузі сучасних інформаційних технологій для вирішення експериментальних і практичних завдань фізики та астрономії **(СК10)**;

здатність використовувати фізичну апаратуру та обладнання **(СК11)**;

здатність обирати відповідні методи фізичного аналізу для вузьконапрявленого вивчення конкретних об'єктів досліджень **(СК12)**;

здатність виявляти й тлумачити основні закономірності поведінки фізичних величин і процесів, ґрунтуючись на одержаних експериментальних даних **(СК13)**.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі *програмні результати навчання*:

використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем **(РН01)**;

проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень **(РН02)**;

застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень у галузі фізики та/або астрономії **(РН03)**;

обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності **(РН04)**;

обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії **(РН06)**;

оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді **(РН07)**;

презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах,

	<p>конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію (PH08);</p> <p>відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані (PH10);</p> <p>застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач (PH11);</p> <p>застосовувати спеціальну фізичну апаратуру й обладнання для вимірювання фізичних величин (PH17);</p> <p>проводити стандартні експерименти з досліджень структури та властивостей кристалічних, аморфних, рідких і наносистем (PH18);</p> <p>вміння обробити, проаналізувати та пояснити фізичну інформацію, одержану за допомогою методів x-променевої дифракції, люмінесцентної й оптичної спектроскопії, моделювання, електронної мікроскопії, термічного аналізу (PH19);</p> <p>дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці під час експлуатації лабораторного обладнання (PH20).</p>
<b>Ключові слова</b>	Ближній порядок, аморфізація, координаційне число, фазові переходи, кристалізація, поверхневі властивості, структурний фактор (Short range order, amorphization, coordination number, phase transitions, crystalization, surface properties, structure factor).
<b>Формат курсу</b>	Очний; проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1, таблиці 2
<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, фізичної кристалографії, фізики металів, хімії, статистичної фізики та квантової механіки
<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, наноматеріали, установки для вимірювання електроопору, в'язкості та поверхневого натягу, комп'ютери.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Для перевірки знань, умінь і навичок студентів при вивченні навчальної дисципліни використовуються поточний та підсумковий контроль.  Поточний контроль включає в себе оцінювання лабораторних робіт студентів. Слід виконати 4 роботи, які передбачають самопідготовку, виконання роботи в лабораторії, необхідні обчислення отриманих результатів, підготовка звіту та усний його захист. Максимальна оцінка

за кожную роботу – 25 балів.

### Шкала оцінювання лабораторної роботи

Бали	Критерії оцінювання
25-23	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Допускаються незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.
22-19	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту з певними неточностями, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено помилки, самостійно робить висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.
18-16	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.
15-13	Студент виконав експеримент частково з допомогою лаборанта/викладача відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.
12-1	Студент провів експеримент з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Здобувач не представив до захисту звіт з відповідної тематичної лабораторної роботи.

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

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.

	<p>Підсумковий контроль здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю. Підсумкова максимально можлива 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 поточному контролі. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Фізика неупорядкованих систем(рідини, аморфні і наносистеми)  
(Physics of disordered systems (liquids, amorphous and nanosystems))»

Тижні	Теми занять	Форма діяльності та обсяг годин	Літера-тура	Завдання	Термін виконання
1-2	<p><b>Тема 1. Структура неупорядкованих систем.</b> Вступ. Типи неупорядкованих систем. Близький порядок. Структурний фактор і параметри ближнього порядку [<b>Theme 1. Structure of disordered systems.</b> Introduction. Types of disordered systems Short range order. Structure factor and structure parameters].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 2-5 Д: 1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні
3-4	<p><b>Тема 2. Фізичні властивості.</b> В'язкість рідин, Електропровідність та термо-е.р.с. Поверхневі явища в рідинах. Густина та її зміна при плавленні [<b>Theme 2. Physical properties.</b> Viscosity of liquids, Electroconductivity and thermos- e.m.f. Surface properties in liquids. Density and their change at melting].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 3,4 Д: 1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні

5-6	<p><b>Тема 3. Аморфні металічні та напівпровідникові матеріали.</b>  Методи отримання аморфних матеріалів. Плівкові та об'ємні аморфні сплави. Перехід Андерсона. Край рухливості і поріг протікання. Провідники, діелектрики, напівпровідники. Напівметали і псевдощілина  <b>[Theme 3. Amorphous materials.</b>  Methods of amorphous materials obtaining. Ribbons and amorphous volume alloys obtaining. Anderson transition and flow threshold. Conductors, dielectrics and semiconductors. Semimetals and pseudogaps].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 1,2 Д:2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні
7-8	<p><b>Тема 4: Фазові переходи у неупорядкованих системах.</b>  Структура та термодинамічні величини та їх зміна при кристалізації. Метастабільні стани у аморфних речовинах. Кристалізація аморфних сплавів та нанокристалізація  <b>[Theme 4. Phase transitions in disordered systems.</b>  Structure and thermodynamic data, their change at crystallization. Metastable states in amorphous materials. Crystallization of amorphous alloys and nanocrystallization].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 1,2,5 Д:2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні
9-10	<p><b>Тема 5. Розсіювання електронів неупорядкованими системами.</b>  Вступ. Розсіювання електронів хаотично розміщеними центрами: вироджені напівпровідники. Опір рідких металів; теорія Займана  <b>[Theme 5. Scattering of electrons in disordered systems.</b>  Introduction. Scattering of electrons by random centers. Degenerate semiconductors. Electroresistivity of liquid metals. Zaiman theory].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 1,2,4,5 Д:1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні
11-12	<p><b>Тема 6. Модельні методи у фізиці неупорядкованих систем.</b>  Метод молекулярної динаміки. Метод Монте Карло. Обернений метод Монте Карло  <b>[Theme 6. Model methods in physics of disordered systems.</b>  Method of molecular dynamics. Monte-Carlo method. Reverse Monte Carlo method].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 1,2,4,5 Д:1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні
13-14	<p><b>Тема 7. Метод корелятивних функцій.</b>  Розрахунок парних функцій атомного розподілу зі структурних факторів. Потенціал парної взаємодії та методи його оцінки зі структурних даних. Розрахунок фізичних властивостей  <b>[Theme 7. Method of correlation functions.</b>  Calculation of pair correlation functions from structure factors. структурних факторів. Pair</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 3,5 Д:1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні



	potential and methods of its evaluation from structure data. Physical properties calculations].				
15-16	<p><b>Тема 8. Практичне застосування неупорядкованих систем.</b> Магнітні рідини. Охолодження атомних реакторів рідкими металами. Низькотемпературні припої. Елементи гнучкої електроніки. Аморфні магнітні сплави</p> <p>[<b>Theme 8. Practical application of disordered systems.</b> Magnetic liquids. Cooling of atomic power stations by liquid metals. Low temperature solders. Elements of flexible electronics. Amorphous magnetic alloys].</p>	Лекції – 2 год. самостійна робота – 5 год	Б: 2,4 Д:2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	2 тижні

Таблиця 2

## Теми лабораторних робіт

Тижні	Теми лабораторних занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1-2	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки й охорони праці [Introductory lesson. Instruction on safety and labor protection].	лабор. – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Базова: 2, 3, 4; Допоміжна: 1	2 тижні
3-4	Вимірювання електропровідності розплавів та її розрахунок [Measuring the conductivity of melts and its calculation].	лабор. – 2 год., самостійна робота – 2 год.	Базова:4 Допоміжна: 1	2 тижні
5-8	Дослідження структури аморфних сплавів методом X-променевої дифракції [The investigation of amorphous alloys structure by means of X-ray diffraction method].	лабор. – 4 год., самостійна робота – 5 год.	Базова; 1, 3,4,5 Допоміжна 1	4 тижні
9-12	Вимірювання в'язкості розплавів [Measuring the viscosity of melts].	лабор. – 4 год., самостійна робота – 5 год.	Базова: 3,4 Допоміжна 1	4 тижні
13-16	Дослідження структури розплавів [The investigation of the structure of melts].	лабор. – 4 год., самостійна робота – 4 год.	Базова:3-5 Допоміжна 1.	4 тижні