

Розробники²: Цареградська Тетяна Леонідівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____

_____ (Боровий М.О.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від 21 травня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол №33 від 11 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії _____ (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематизованих знань з теорії фазоутворення в аморфних та нанокристалічних системах, що включає засвоєння основних законів гомогенної та гетерогенної кристалізації однокомпонентних, бінарних та багатокомпонентних сплавів, вміння розраховувати основні характеристики процесу кристалізації для конкретних бінарних систем.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати закони термодинаміки, метод термодинамічних потенціалів, загальні умови термодинамічної рівноваги, умови рівноваги в гомогенних та гетерогенних системах, парціальні та інтегральні термодинамічні функції, термодинамічні функції ідеальних та реальних розчинів, квазіхімічну теорію розчинів.
2. Вміти застосовувати на практиці метод термодинамічних потенціалів Гіббса, аналізувати основні типи діаграм стану двокомпонентних систем за допомогою ізобаро-ізотермічного потенціалу, розраховувати криві рівноваги та будувати діаграми стану.
3. Володіти елементарними навичками графічно визначати парціальні та відносні парціальні термодинамічні функції за відомими інтегральними для бінарних систем, розраховувати парціальні та відносні парціальні функції для одного з компонентів за відомими парціальними функціями другого компонента.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Процеси фазоутворення в аморфних та нанокристалічних системах» розглядаються як класичні, так і сучасні досягнення в області теорії кристалізації та аморфізації металевих систем; теорія нуклеації бінарних та багатокомпонентних систем. Метою вивчення дисципліни є засвоєння основних законів теорії гомогенної та гетерогенної нуклеації у застосуванні до аморфних металевих систем. Навчальна задача курсу полягає в оволодінні методами розрахунку та експериментальних вимірювань основних параметрів процесу кристалізації для конкретних аморфних систем. Результати навчання полягають в умінні застосовувати закони теорії гомогенної та гетерогенної нуклеації бінарних та багатокомпонентних систем для розв'язання практичних задач. Методи викладання: лекції, консультації, лабораторні роботи. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, оцінювання лабораторних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – ознайомлення студентів з законами теорії гомогенної та гетерогенної кристалізації для однокомпонентних та багатокомпонентних систем, а також процесів аморфізації металевих систем, навчання методам розрахунку основних характеристик процесу кристалізації для конкретних бінарних систем, навчання методам вимірювання параметрів процесу кристалізації аморфних сплавів.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальних:

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

Фахових:

СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК12. Здатність застосовувати теорії опису фізичних властивостей наносистем різних типів.

5. Результати навчання за дисципліною:

(описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	Отримання знань з теорії гомогенної та гетерогенної кристалізації металів та сплавів.	<i>Лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	20
1.2	Отримання знань, щодо процесів кристалізації та аморфізації металевих систем.	<i>Лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	20
2.1	Опанування експериментальних методик досліджень властивостей аморфних сплавів. Вміння визначати параметри термостабільності аморфних сплавів.	<i>Лабораторні роботи</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	10
2.2	Вміння розраховувати основні характеристики процесу кристалізації для конкретних бінарних систем.	<i>Лабораторні роботи</i>	<i>Захист лабораторних робіт</i>	10

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	2.1	2.2
Програмні результати навчання				
РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики для розв'язання складних задач і практичних проблем.	+	+		
РН02. Проводити експериментальні та 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.			+	+
РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних явищ, об'єктів і процесів.	+	+		
РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.				+
РН18. Знати методи отримання, особливості структури та властивостей аморфно-нанокристалічних сплавів.			+	
РН25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.	+	+	+	+

7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Теорія гомогенної та гетерогенної кристалізації металів та сплавів», який включає в себе 8 лекцій та 3 лабораторні роботи та «Кристалізація та аморфізація металевих систем», який складається з 7 лекцій та 3-х лабораторних робіт.

8. Схема формування оцінки:

8.1 Форми оцінювання студентів: (азначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (12 балів-20 балів). Захист лабораторних робіт(6 балів-10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі екзамену

Підсумкове оцінювання у формі екзамену³: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	екзамен	Підсумкова оцінка
--	------------------------------	------------------------------	---------	-------------------

³ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (100 балів - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: 60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен).

Мінімум	<u>18</u>	<u>18</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.⁴

(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

8.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Теорія гомогенної та гетерогенної кристалізації металів та сплавів				
1	Тема 1. Вступ. Загальна характеристика аморфних сплавів. Структура та властивості аморфних сплавів. Методи отримання аморфних сплавів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Механічні властивості сплавів в аморфному стані.	2		8
2	Тема 2. Методи дослідження аморфних сплавів. Метод ДСК, дилатометрична методика, дослідження електроопору, дослідження механічних властивостей, рентгенографічні дослідження, електронномікроскопічні дослідження. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Хімічні властивості АМС, корозія АМС.	2		8
3	Тема 3. Загальна характеристика процесу фазоутворення в металах та сплавах. Основні характеристики та класифікація процесу кристалізації. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Класифікація фазових переходів за Еренфестом. Фазові переходи I та II роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса та рівняння Еренфеста. Змішані фазові переходи. (повторення матеріалу). Лабораторна робота 1 (Вступ до лабораторних	2	4	8

⁴ У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – 20 балів, а рекомендований мінімум не менше 36 балів, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше 24 балів (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони не додаються до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

	<i>робіт). Ознайомлення з правилами техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт та правилами оформлення звітів з лабораторних робіт. Ознайомлення з методами обробки результатів, отриманих в ході виконання лабораторних робіт. Підготовка зразка аморфного сплаву до вимірювання.</i>			
4	Тема 4. Гомогенна кристалізація однокомпонентних систем. Характеристики процесу кристалізації при гомогенному механізмі нуклеації. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Магнітні властивості АМС; вплив неупорядкованого розташування атомів на феромагнітні властивості.	2		8
5	Тема 5. Гетерогенна кристалізація однокомпонентних систем. Модель куполовидного зародка. Характеристики процесу кристалізації при гетерогенному механізмі нуклеації. Лабораторна робота 2. Ознайомлення з дилатометричною методикою. Отримання експериментальних даних для побудови температурної залежності відносної зміни об'єма в процесі нагрівання та охолодження аморфного сплаву з постійною швидкістю. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Обробка експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторної роботи. Універсальні критерії аморфізації (вплив швидкості охолодження, залежність від діаграми стану)..	2	6	8
6	Тема 6. Кінетика нестационарного зародкоутворення. Ефективний поверхневий натяг. «Гарячі» центри кристалізації. Ударний режим кристалізації. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Геометричні та хімічні критерії аморфізації.	2		8
7	Тема 7. Теорія гомогенної кристалізації бінарних сплавів. Врахування роботи, що обумовлена флуктуацією концентрації. Робота утворення зародка в бінарній системі при гомогенному зародкоутворенні. Радіус критичного зародка, робота утворення зародка критичного зародка для бінарних сплавів при гомогенному зародкоутворенні. Лабораторна робота 3. Розрахунок та побудова температурної залежності відносної зміни об'єма в процесі нагрівання та охолодження аморфного сплаву. Визначення параметрів термостабільності аморфного сплаву: температури початку інтенсивної кристалізації, температури повної кристалізації, інтервалу кристалізації. Розрахунок коефіцієнту лінійного розширення сплаву в аморфному та кристалічному станах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Обробка експериментальних результатів, отриманих при виконанні лабораторної роботи. Структурні критерії аморфізації.	2	4	8
8	Тема 8. Теорія гетерогенної кристалізації бінарних сплавів. Робота утворення зародка в бінарній системі при гетерогенному зародкоутворенні. Радіус критичного зародка, робота утворення зародка критичного зародка для бінарних сплавів при гетерогенному зародкоутворенні. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи. Електронні критерії аморфізації.	2		8

	Контрольна робота 1 Захист лабораторних робіт		2 2	
Частина 2. Кристалізація та аморфізація металевих систем				
9	Тема 9. Система рівнянь для розрахунку основних характеристик процесу кристалізації бінарних сплавів. Узагальнення для випадку багатокомпонентних систем. Лабораторна робота 4. Розрахунок об'ємної частки кристалічної фази в аморфному сплаві за даними експериментальних дилатометричних досліджень (при неперервному нагріванні та після низькотемпературного ізотермічного відпалу). с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Кінетика аморфізації. ТТТ-діаграми	2	4	8
10	Тема 10. Особливості процесу кристалізації для модельних бінарних сплавів з різним типом діаграм стану. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Аналіз можливості аморфізації для модельних бінарних сплавів з різним типом діаграм стану: евтектичного типу та типу «сигара».	2		8
11	Тема 11. Кінетика нуклеації аморфних металевих сплавів на прикладі системи системи Fe-B. Лабораторна робота 5. Розрахунок радіуса критичного зародка та роботи утворення критичного зародка в аморфному сплаві заданого складу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Вплив опромінення на структуру та властивості АМС.	2	4	8
12	Тема 12. Структурні моделі аморфного стану. Квазірідкі моделі, псевдокристалічні модель. Нанокристали та нанокластери. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до виконання лабораторної роботи. Аморфні надпровідники.	2		8
13	Тема 13. Структурна релаксація в аморфних металевих сплавах. Параметри впорядкування аморфного стану. Низькотемпературна релаксація. Кінетика процесів релаксації. Лабораторна робота 6. Розрахунок частоти зародкоутворення та лінійної швидкості росту кристалів в бінарному аморфному сплаві при заданих параметрах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Спінове скло.	2	4	8
14	Тема 14. Схильність сплавів до аморфізації, напівемпіричні критерії, вплив легування. Температурно-часова стабільність аморфних сплавів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Старіння аморфних сплавів.	2		8
15	Тема 15. Методи вирощування монокристалів. Механізми росту монокристалів. Евтектичні колонії. Двофазна кристалізація бінарних сплавів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Отримання композиційних матеріалів при спрямованій кристалізації. Зонна плавка, зонна очистка. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.	2		8
	Підсумкова модульна контрольна робота Захист лабораторних робіт		2 4	
	ВСЬОГО	30	30	120

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 180 год.⁵, в тому числі:

Лекцій – **30** год.

Семінари – **0** год.

Практичні заняття - **0** год.

Лабораторні заняття - **30** год.

Тренінги - **0** год.

Консультації - **---** год.

Самостійна робота - **120** год.

⁵ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁶:

Основна: (Базова)

1. А.П. Шпак, В.І. Лисов, Ю.А. Куницький, Т.Л. Цареградська. Кристалізація і аморфізація металевих систем. Київ: Академперіодика, 2002 – 208 с.
2. Аморфные металлические сплавы / Под ред.Ф.Е. Любарского. М., 1987. 582 с.
3. В.А. Лихачев, В.Е. Шудегов. Принципы организации аморфных структур. Издательство С.-Петербургского унив-та, 1999. – 228 с.
4. Металлические стекла. Вып. 1: Ионная структура, электронный перенос и кристаллизация / Под ред. Г. Гюнтеродта, Г. Бека. М., 1983. 376 с.
5. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М., 1987. 328 с.
6. Л.А. Булавін, В.І. Лисов, С.Л. Рево, В.І. Оглобля, Т.Л. Цареградська. Фізика іонно-електронних рідин. Монографія. Київ, Вид.-поліграфічний центр „Київський університет”, 2008, 384 с.
7. М. Фольмер. Кинетика образования новой фазы. М.; Наука, 1986
8. В.Л. Скрипов, В.Л. Коверда. Спонтанная кристаллизация переохлажденных жидкостей. М.; Наука, 1984
9. И.В. Салли. Кристаллизация сплавов. Киев. Наукова думка. 1974
10. <http://www.twirpx.com/file/506476/>

Додаткова:

1. А.П. Шпак, В.І. Лисов, Ю.А. Куницький. Кластерные и наноструктурные материалы, т.2, Київ: Академперіодика, 2002 – 539с.
2. Фельц А. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М., 1986. 558 с.
3. Дембовский С. А. Чечеткина Е. А. Стеклообразование. М., 1990. 279 с.
4. Абросимова Г.Е. Эволюция структуры аморфных сплавов. Успехи физических наук. Том 181, № 12, 2011, с.1265.
5. А.М. Глезер, Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы. Рос. хим. ж., 2002, т. XLVI, №5, с.57-63.
6. <http://gen.phys.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2013/02/thermodynamic.pdf>
7. https://docs.google.com/file/d/1DkSrmiB98ng7ALS9SsKugThO3bgtzyxzmzSNk4AXFl_V2Vwp_y_XW3TC6gT5-/edit
8. <http://www.twirpx.com/file/142514/>
9. <http://www.twirpx.com/file/33385/>
10. <http://www.twirpx.com/file/360775/>

⁶ В тому числі Інтернет ресурси