

**Силабус**  
**по вивченню дисципліни «Термодинаміка матеріалів» для аспірантів,**  
**спеціальність 132 «Матеріалознавство»**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту надтвердих  
матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН  
України,  
академік НАН України



В.З. Туркевич  
«20» січня 2021 р.

**1. Викладачі**

***Туркевич Володимир Зіновійович, академік НАН України, д.х.н., професор.***

Контактний телефон: (044) 430-11-26; vturk@ism.kiev.ua

Наукові інтереси: Вивчення фізико-хімічних аспектів синтезу надтвердих матеріалів при високих тисках і температурах, дослідження термодинаміки та кінетики спонтанної кристалізації алмазу і кубічного нітриду бору при високих тисках і температурах, теплофізичне приладобудування.

***Логінова Ольга Борисівна, д.х.н., старший науковий співробітник.***

Контактний телефон: (044)468-86-41; Loginova@nas.gov.ua

Наукові інтереси: Дослідження процесів отримання надтвердих матеріалів при високих тисках; дослідження електрофізичних властивостей надтвердих матеріалів; вивчення структури і фазового складу надтвердих матеріалів методами рентгенівської дифрактометрії; дослідження теплофізичних процесів.

2. Назва, код дисципліни та кількість кредитів.

«Термодинаміка матеріалів» спеціальність 132 «Матеріалознавство», код: 132, кількість кредитів – 5.

3. Місце проведення навчальної дисципліни та час.

ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України; відповідно до розкладу.

Розділ дисципліни, викладач	Час проведення лекції (корп. 2, кімн. 301)	
	1 курс (модуль 1)	2 курс (модуль 2)
Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги. Туркевич В.З.		15.02.21 – 11-00
		09.02.21 – 11-00
		24.03.21 – 11-00
		10.05.21 – 11-00
		24.05.21 – 11-00

		21.06.21 – 11-00
Методи визначення термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалів Туркевич В.З.		01.03.21 – 11-00 31.03.21 – 11-00
Капілярні явища у матеріалознавстві. Логінова О.Б.		03.02.21 – 11-00 17.02.21 – 11-00 09.03.21 – 9-00 22.03.21 – 9-00 01.04.21 – 11-00 10.05.21 – 9-00 24.05.21 – 9-00 07.06.21 – 11-00

**4. Пререквізити навчальної дисципліни:** знати основні розділи фізики: молекулярна фізика, динаміка, кінематика; закони механіки: робота, потужність, одиниці вимірювання потужності, роботи, зв'язок закономірностей в різних системах; розділи математики: алгебра, елементи аналізу, геометрія, диференціальне й інтегральне числення, логарифмування; розділи загальної і неорганічної хімії: екзотермічні і ендотермічні хімічні процеси, теплові ефекти, реакції, швидкості хімічних реакцій, хімічна рівновага, дисоціація і асоціація; здатність продемонструвати розуміння ширшого міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів; здатність демонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в теплоенергетичній галузі; основи поняття термодинамічного підходу до створення металевих, керамічних, полімерних, композиційних та надтвердих матеріалів для інструментів та деталей техніки; особливості побудови діаграм стану сполук і композитів; сучасні підходи до вивчення термодинамічних показників матеріалів; знати основні етапи науково-дослідного процесу та особливостей його перебігу й організації; розуміти особливості організації та планування одноосібної та колективної наукової діяльності.

**Постреквізити:** в результаті вивчення дисципліни будуть отримані знання, що допоможуть точно сформулювати проблему, мету і завдання дослідження з урахуванням конкретних фізичних умов; правильно інтерпретувати отриману інформацію для прийняття оптимальних в даних умовах рішень; пов'язувати вирішення виникаючих на практиці завдань спеціальності з фізичною природою даних фізичних явищ і знаходити фізично правильні рішення; бути компетентним в постановці завдань і фізичної інтерпретації законів і явищ; демонструвати навички роботи в науково-дослідному колективі; аналізувати роботу теплотехнічного обладнання, при необхідності розробляти і обґрунтовувати рішення щодо його вдосконалення; застосовувати основні методи фізико-математичного аналізу для вирішення природничо-наукових завдань; правила експлуатації основних приладів і обладнання; методи обробки й інтерпретації результатів експерименту; вміння використовувати

методи математичного моделювання фізичних і хімічних процесів і явищ в науковій практиці; аналізувати і вибирати термодинамічні показники матеріалів, будувати динарами стану сполук і композитів; читати та оформляти технічну документацію; використовувати отримані знання при виконанні дослідження та захисті її результатів у вигляді дисертації на здобуття наукового ступеню доктора філософії.

### 5. Вимоги навчальної дисципліни.

Вивчення курсу «Термодинаміка матеріалів» являється обов'язковим. Об'єм навчального навантаження складає 5 кредитів із них 60 годин – лекції, 90 години – самостійна робота. Вивчення наукової дисципліни вимагає обов'язкове відвідування аудиторних занять, активну участь в обговоренні питань, якісне і своєчасне виконання завдань самостійної роботи, а також участь у всіх видах контролю.

### 6. Характеристика дисципліни.

*Завдання учбової дисципліни.* Освоїти сучасні поняття та уявлення щодо термодинамічних основ створення сучасних інструментальних та конструкційних матеріалів.

*Мета викладання дисципліни* – опанування загальними уявленнями щодо термодинаміки інструментальних та конструкційних матеріалів, новітніми знаннями щодо термодинамічних основ створення сучасних надтвердих матеріалів.

*План викладання дисципліни:*

Назва змістовних модулів і тем	Кількість годин		
	усього	у тому числі	
		аудиторні	само- стійна робота
<b>Модуль 1</b>			
<b>Змістовний модуль 1. Капілярні явища в матеріалознавстві</b>			
<b>Тема 1.</b> Коротка історія виникнення термодинаміки як феноменологічної науки. Завдання термодинаміки. Технічна і хімічна термодинаміка (Логінова О.Б.)	5	2	3
<b>Тема 2.</b> Основні відомості про поверхневі, міжфазні, контактні явища (Логінова О.Б.): – класифікація дисперсних системи; – вклад Леонардо да Вінчі, рівняння капілярності Журена; – силове визначення поверхневого натягу, рівняння Лапласа, капілярний тиск; – рівняння Юнга, адгезія та когезія; – крайовий кут змочування, змочування – універсальний метод діагностики поверхні.	5	2	3
<b>Тема 3.</b> Закони термодинаміки (Логінова О.Б.): – перший закон термодинаміки, теплота, робота, внутрішня енергія, самочинні та	5	2	3

<p>несамочинні процеси.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– другий закон термодинаміки, ентропія;</li> <li>– закон зростання ентропії в ізольованій системі.;</li> <li>– рівняння Больцмана, теорема Нернста, ентропія як міра хаосу і неупорядкованості системи;</li> <li>– межі застосування законів термодинаміки.</li> </ul>			
<p><b>Тема 4.</b> Теорія капілярності Гіббса (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– поверхня розділу і надлишкові величини;</li> <li>– поверхневий натяг і питома вільна поверхнева енергія;</li> <li>– Рівняння адсорбції Гіббса;</li> <li>– сучасні погляди на природу поверхневих явищ;</li> <li>– сили молекулярної взаємодії.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 5.</b> Термодинамічні параметри і види термодинамічних процесів (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термодинамічні функції;</li> <li>– ентальпія та ентропія;</li> <li>– закони Гесса і Кірхгофа;</li> <li>– рівняння Гіббса-Гельмгольца;</li> <li>– зміна енергія Гіббса і енергії Гельмгольца при протіканні процесу;</li> <li>– рівноважні та нерівноважні процеси;</li> <li>– рівняння Гіббса-Дюгема.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 6.</b> Термодинамічні функції в теорії розчинів (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– закони Генрі і Рауля;</li> <li>– рівняння Жуховицького та Павлова-Попеля;</li> <li>– зв'язок активності, густини розплавів з діаграмами стану;</li> <li>– поверхневий натяг і структура металевого розплаву;</li> <li>– природна термогравітаційна конвекція. Конвекційне впорядкування, комірки Бернара.</li> <li>– капілярна конвекція. Ефект Марангони.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 7.</b> Методи вимірювання змочування для низькотемпературних та високотемпературних систем (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– гістерезис змочування, порядковий гістерезис;</li> <li>– вплив деформації твердого тіла на кут змочування, вплив шорсткості поверхні на кут змочування, рівняння Венцеля-Дерягіна,</li> </ul>	5	2	3

<p>рівняння Кассі для змочування неоднорідних поверхонь, вплив пористості твердої фази на кут змочування;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– супергідрофобні поверхні, ефект «ЛОТОСА», ефект Лейденфроста;</li> <li>– капілярні явища для нанотехнологій;</li> <li>– змочування як метод діагностики поверхні на нано- та макрорівнях.</li> </ul>			
<b>Змістовний модуль 2. Методи визначення термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалів</b>			
<p><b>Тема 8.</b> Термічний аналіз (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– криві охолодження;</li> <li>– прямий термічний аналіз;</li> <li>– диференційний термічний аналіз;</li> <li>– термогравіметрія.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 9.</b> Калориметрія (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– кількісний термічний аналіз;</li> <li>– диференційна скануюча калориметрія;</li> <li>– калориметр Кальве;</li> <li>– калориметр змішування.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 10.</b> Метод електрорушійних сил. Метод вимірювання парціального тиску газової фази (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– зв'язок парціального тиску та швидкості сублимації;</li> <li>– робота переносу заряду;</li> <li>– число Фарадея;</li> <li>– схема гальванічного елементу.</li> </ul>	5	2	3
<b>Змістовний модуль 3. Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги</b>			
<p><b>Тема 11.</b> Термодинамічна рівновага (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вчення про рівновагу системах;</li> <li>– термодинамічні і хімічні потенціали та їх застосування у вченні про рівновагу в гомогенних і гетерогенних системах.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 12.</b> Властивості гомогенних систем. (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термодинамічна класифікація гомогенних рідких систем;</li> <li>– ідеальні розчини;</li> <li>– регулярні розчини;</li> <li>– ідеально-асоційовані розчини;</li> <li>– термодинамічна класифікація гомогенних твердих систем;</li> <li>– розчини заміщення та проникнення;</li> </ul>	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– термодинамічні моделі для опису різних типів розчинів;</li> <li>– загальні властивості діаграм гомогенних систем.</li> </ul>			
<p><b>Тема 13.</b> Хімічна термодинаміка гетерогенних систем (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принцип рівноваги Гіббса;</li> <li>– класифікація різних типів рівноваги;</li> <li>– умови рівноваги гетерогенних систем;</li> <li>– правило фаз Гіббса;</li> <li>– основні поняття;</li> <li>– аналіз правила фаз;</li> <li>– закон діючих мас.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 14.</b> Діаграми стану однокомпонентних систем (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– побудова діаграм стану однокомпонентних систем методом геометричної термодинаміки;</li> <li>– основні положення вчення про фазові переходи першого і другого роду; – рівноважні р-Т діаграми вуглецю і нітриду бору.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 15.</b> Діаграми стану подвійних систем (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому та твердому станах;</li> <li>– термодинамічний вивід діаграм стану;</li> <li>– вигляд діаграми при наявності поліморфізму чистих компонентів;</li> <li>– результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану подвійних систем 3-d перехідних металів під атмосферним та високим тиском.</li> </ul>	5	2	3
<b>Модуль 2</b>			
<b>Змістовний модуль 4. Капілярні явища в матеріалознавстві</b>			
<p><b>Тема 1.</b> Змочування як комплексний процес (Логінова О.Б.):</p> <p>Розтікання, моделі розтікання, інтенсивність взаємодії між рідкою і твердою фазами;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– адсорбція, ізотерми адсорбції Гіббса, Лангмюра, БЕТ;</li> <li>– моделі адсорбції, вибіркова адсорбція активного компонента металевого розплаву – умова гарного змочування в системі;</li> <li>– дифузія, закон Фіка, фактори впливу на коефіцієнт дифузії в твердих тілах;</li> </ul>	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– хімічний потенціал та його вплив на процес змочування;</li> <li>– взаємозв'язок між типом діаграми стану, структурою межі поділу фаз після затвердіння і видом ізотерми змочування.</li> </ul>			
<p><b>Тема 2.</b> Класифікації основних випадків змочування, (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– зворотні і незворотні процеси;</li> <li>– хімічна і фізична взаємодія;</li> <li>– подібність природи рідини і твердого тіла в рівноважних системах - принцип Єременка;</li> <li>– Природа хімічного зв'язку, квантові числа, принцип Паулі, правило Хунда. <i>s</i>-, <i>p</i>-, <i>d</i>- та <i>f</i>-елементи, хімічна активність металів та їх місце в таблиці Менделєєва, ентальпія утворення карбідів.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 3.</b> Фізико-хімічні фактори, що контролюють процес змочування твердих тіл металевими розплавами (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– хімічна спорідненість компонентів розплаву до речовини твердої фази;</li> <li>– гранична розчинність металу-добавки і компонентів твердої фази, а також продуктів взаємодії в основному металі;</li> <li>– ефективна концентрація металу-добавки в розплаві базового металу;</li> <li>– Гістерезисні явища, обумовлені станом поверхні твердої фази.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 4, 5.</b> Принцип подібності природи рідини і твердого тіла в рівноважних системах (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– закономірності змочування і контактної взаємодії в системах розплав-тверда фаза різної фізико-хімічної природи;</li> <li>– системи метал-метал;</li> <li>– системи метал-карбіди, бориди, нітриди металів, МАХ-фази;</li> <li>– системи метал-фази на основі вуглецю;</li> <li>– системи метал-оксиди, сульфідів, фторидів;</li> <li>– вплив сублімації продуктів реакції на процес змочування.</li> </ul>	10	4	6
<p><b>Тема 6.</b> Капілярність в системах кристал-ростове середовище (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– роль капілярних явищ в процесах плавлення, змочування твердої фази власним розплавом,</li> </ul>	5	2	3

<p>кристалізації евтектичних сплавів;  – роль капілярних явищ в процесах фазових переходів;  – теорія кристалізації, гомогенне і гетерогенне утворення зародка нової фази, число центрів кристалізації і лінійна швидкість росту;  – структура поверхні розділу, її властивості і форма росту кристаллу, критерії Джексона і Кана;  – анізотропія поверхневої енергії, правило Гіббса-Кюри-Вульфа.</p>			
<p><b>Тема 7</b> Капілярні явища і процес кристалізації алмазу. Фізико-хімічні основи кристалізації алмазу з розплаву в умовах термодинамічної стабільності (Логінова О.Б.):  – способи вирощування кристалів алмазу;  – взаємозв'язок між типом діаграми стану, видом ізотерми змочування та ступенем перетворення графіту в алмаз;  – анізотропія змочування і форма росту кристалів алмазу, структура металевого розплаву та її вплив на процес кристалізації алмазу;  – класифікація добавок в ростові середовища за їхньою дією на процес кристалізації алмазу.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 8.</b> Роль капілярних явищ в процесах спікання, зварювання і пайки неметалів з металами (Логінова О.Б.):  – взаємозв'язок між типом діаграми стану, структурою межі поділу фаз після затвердіння і видом ізотерми змочування;  – вибір ростових середовищ для вирощування кристалів алмазу, зв'язок для композиційних матеріалів, припоїв для активної пайки;  – капілярна і термомеханічна задача в процесі спікання та при отриманні паяних з'єднань;  – зварювання та пайка;  – вплив хімічного модифікування поверхні на адгезію фаз, ефект Кіркендалла, ефект Ребіндера.</p>	5	2	3
<p><b>Змістовний модуль 5. Методи визначення термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалів</b></p>			
<p><b>Тема 9.</b> Методи та апарати для створення високого тиску. Методи досліджень фазових</p>	5	2	3



перетворень під високим тиском. Термічний аналіз під високим тиском (Туркевич В.З.): – газостати; – твердо фазні апарати високого тиску; – алмазні ковадла; – дослідження перетворень під високим тиском; – вимірювання температури; – термічний аналіз.			
<b>Тема 10.</b> Використання синхротронного випромінювання для досліджень під високим тиском (Туркевич В.З.): – типи синхротронів; – енергія та тип пучків; – типи пристроїв для створення синхротронного випромінювання; – апарати високого тиску, що встановлюються на синхротронах.	5	2	3
<b>Змістовний модуль 6. Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги</b>			
<b>Тема 11.</b> Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані і обмеженою розчинністю в твердому стані (Туркевич В.З.): – термодинамічний вивід діаграми стану з евтектичною рівновагою та перитектичною рівновагою; – трикутник Таммана; – вигляд діаграми при наявності поліморфізму чистих компонентів; – нерівноважна кристалізація системи; – результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану систем Ni-C та Co-C під атмосферним та високим тиском. Система аміак-нітрид бору під високим тиском.	5	2	3
<b>Тема 12.</b> Діаграми стану подвійних систем з обмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані (Туркевич В.З.): – термодинамічний вивід кривої розшарування; – кристалізація з двох рідких фаз; – монотектична рівновага; – випадки повної відсутності розчинності як в твердому, так і в рідкому стані; – діаграми стану подвійних систем з хімічними сполуками, їх термодинамічний вивід; – конгруентна та інконгруентна кристалізація;	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– синтетична рівновага;</li> <li>– системи з утворенням сполук в області твердих розчинів;</li> <li>– дальтонідні та бертолідні фази;</li> <li>– результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану систем Fe-C, Mn-C під атмосферним та високим тиском. Система нітрид літію-нітрид бору під високим тиском.</li> </ul>			
<p><b>Тема 13–15.</b> Системи сполук (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– системи простого евтектичного типу;</li> <li>– системи з хімічними сполуками, що плавляться конгруентно та інконгруентно;</li> <li>– системи з твердими розчинами без утворення хімічних сполук;</li> <li>– результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану потрійних систем Fe-Ni-C, Fe-Co-C, Mn-Ni-C під атмосферним та високим тиском;</li> <li>– системи з обмеженою розчинністю в рідкому стані;</li> <li>– поліморфні перетворення в потрійних системах.</li> </ul>	15	6	9
<b>Разом</b>	150	60	90

### 7. Контроль знань

В основі методів контролю знань використовуються поточне індивідуальне опитування та екзаменаційна оцінка. Екзамен проводиться на другому році навчання.

Екзамен включає відповіді на шість питань: три питання з екзаменаційного білету та три додаткових питання. Оцінка відповідей на питання: – з екзаменаційного білету 25%; – додаткові 7%. Оцінка за індивідуальне опитування – до 4%.

Відповідно до розкладу дата екзамену – 25–26.05.21 р.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90–100	+A, A, -A	відмінно
82–89	+B, B, -B	добре
74–81	+C, C, -C	задовільно
64–73	+D, D, -D	
60–63	E	незадовільно з можливістю повторного складання іспиту
35–59	FX	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
0–34	F	

## 8. Список базової літератури

1. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. М. – Л.: Госхим-издат, 1953. – 611 с.
2. [Акопян А.А. Химическая термодинамика.](#) – М.: Высшая школа, 1963. – 527 с.
3. Никольский Б.П. Физическая химия. – Л.: Химия, 1987. – 880 с.
4. Герасимов Я.И. Курс физической химии/ – М.: Химия – 1970 – Том I. – 592 с.
5. Товбин М.В. Физическая химия. – Киев: Вища школа, 1975. – 458 с.
6. Яцимирський В.К. Фізична хімія. – ВТФ «Перун», 2007. – 512 с.
7. Русанов А.М. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л.: Химия, 1967. – 388 с.
8. Адам Н.К. Физика и химия поверхностей. М. – Л: Госхимиздат, 1947. – 552 с.
9. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
10. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы. М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – 522 с.
11. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 1. Равновесная термодинамика // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 4. – С. 79–85.
12. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 2. Неравновесная термодинамика // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №5. – С. 91–97.
13. Туркевич В.З. Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги в системах з вуглецем і нітридом бору. Навчальний посібник. – К.: Київський ВГЦ Університет, 2004. – 86 с.

ПОГОДЖЕНО

Завідувач кафедри

д.т.н., с.н.с.



\_\_\_ О.О. Бочечка