

**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  
2019 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.	28.01.20 – 11-00	28.01.20 – 11-00
	03.03.20 – 11-00	19.02.20 – 11-00
	25.03.20 – 11-00	10.03.20 – 11-00
	21.04.20 – 11-00	14.04.20 – 11-00
	13.05.20 – 11-00	06.05.20 – 11-00
Методи визначення	18.02.20 – 11-00	11.02.20 – 11-00

термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалів Туркевич В.З.	08.04.20 – 11-00 28.04.20 – 11-00	03.03.20 – 11-00
Капілярні явища у матеріалознавстві. Логінова О.Б.	24.01.20 – 11-00 12.02.20 – 9-00 03.03.20 – 9-00 18.03.20 – 11-00 20.04.20 – 9-00 04.05.20 – 9-00 26.05.20 – 9-00	14.01.20 – 11-00 03.02.20 – 11-00 02.03.20 – 11-00 13.03.20 – 11-00 24.03.20 – 11-00 15.04.20 – 9-00 05.05.20 – 11-00 27.05.20 – 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 несамочинні процеси. – другий закон термодинаміки, ентропія;	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– закон зростання ентропії в ізольованій системі.;</li> <li>– рівняння Больцмана, теорема Нернста, ентропія як міра хаосу і невпорядкованості 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, рівняння Кассі для змочування неоднорідних поверхонь, вплив пористості твердої фази на</li> </ul>	5	2	3

<p>кут змочування;  – супергідрофобні поверхні, ефект «ЛОТОСА», ефект Лейденфроста;  – капілярні явища для нанотехнологій;  – змочування як метод діагностики поверхні на нано- та макрорівнях.</p>			
<b>Змістовний модуль 2. Методи визначення термодинамічних і теплофізичних характеристик матеріалів</b>			
<p><b>Тема 8.</b> Термічний аналіз (Туркевич В.З.):  – криві охолодження;  – прямий термічний аналіз;  – диференційний термічний аналіз;  – термогравіметрія.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 9.</b> Калориметрія (Туркевич В.З.):  – кількісний термічний аналіз;  – диференційна скануюча калориметрія;  – калориметр Кальве;  – калориметр зміщування.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 10.</b> Метод електрорушійних сил. Метод вимірювання парціального тиску газової фази (Туркевич В.З.):  – зв'язок парціального тиску та швидкості сублімації;  – робота переносу заряду;  – число Фарадея;  – схема гальванічного елемента.</p>	5	2	3
<b>Змістовний модуль 3. Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги</b>			
<p><b>Тема 11.</b> Термодинамічна рівновага (Туркевич В.З.):  – вчення про рівновагу системах;  – термодинамічні і хімічні потенціали та їх застосування у вченні про рівновагу в гомогенних і гетерогенних системах.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 12.</b> Властивості гомогенних систем. (Туркевич В.З.):  – термодинамічна класифікація гомогенних рідких систем;  – ідеальні розчини;  – регулярні розчини;  – ідеально-асоційовані розчини;  – термодинамічна класифікація гомогенних твердих систем;  – розчини заміщення та проникнення;  – термодинамічні моделі для опису різних типів розчинів;</p>	5	2	3

– загальні властивості діаграм гомогенних систем.			
<b>Тема 13.</b> Хімічна термодинаміка гетерогенних систем (Туркевич В.З.): – принцип рівноваги Гіббса; – класифікація різних типів рівноваги; – умови рівноваги гетерогенних систем; – правило фаз Гіббса; – основні поняття; – аналіз правила фаз; – закон діючих мас.	5	2	3
<b>Тема 14.</b> Діаграми стану однокомпонентних систем (Туркевич В.З.): – побудова діаграм стану однокомпонентних систем методом геометричної термодинаміки; – основні положення вчення про фазові переходи першого і другого роду; – рівноважні p-T діаграми вуглецю і нітриду бору.	5	2	3
<b>Тема 15.</b> Діаграми стану подвійних систем (Туркевич В.З.): – діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому та твердому станах; – термодинамічний вивід діаграм стану; – вигляд діаграми при наявності поліморфізму чистих компонентів; – результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану подвійних систем 3-d перехідних металів під атмосферним та високим тиском.	5	2	3
<b>Модуль 2</b>			
<b>Змістовний модуль 4. Капілярні явища в матеріалознавстві</b>			
<b>Тема 1.</b> Змочування як комплексний процес (Логінова О.Б.): Розтікання, моделі розтікання, інтенсивність взаємодії між рідкою і твердою фазами; – адсорбція, ізотерми адсорбції Гіббса, Лангмюра, БЕТ; – моделі адсорбції, вибіркова адсорбція активного компонента металевого розплаву – умова гарного змочування в системі; – дифузія, закон Фіка, фактори впливу на коефіцієнт дифузії в твердих тілах; – хімічний потенціал та його вплив на процес змочування;	5	2	3

<p>– взаємозв'язок між типом діаграми стану, структурою межі поділу фаз після затвердіння і видом ізотерми змочування.</p>			
<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, сульфідиди, фториди;</li> <li>– вплив сублимації 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, кристалізації евтектичних сплавів;</li> <li>– роль капілярних явищ в процесах фазових</li> </ul>	5	2	3

<p>переходів;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теорія кристалізації, гомогенне і гетерогенне утворення зародка нової фази, число центрів кристалізації і лінійна швидкість росту;</li> <li>– структура поверхні розділу, її властивості і форма росту кристаллу, критерії Джексона і Кана;</li> <li>– анізотропія поверхневої енергії, правило Гіббса-Кюри-Вульфа.</li> </ul>			
<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.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способи вирощування кристалів алмазу;</li> <li>– взаємозв'язок між типом діаграми стану, видом ізотерми змочування та ступенем перетворення графіту в алмаз;</li> <li>– анізотропія змочування і форма росту кристалів алмазу, структура металевого розплаву та її вплив на процес кристалізації алмазу;</li> <li>– класифікація добавок в ростові середовища за їхньою дією на процес кристалізації алмазу.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 8.</b> Роль капілярних явищ в процесах спікання, зварювання і пайки неметалів з металами (Логінова О.Б.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– взаємозв'язок між типом діаграми стану, структурою межі поділу фаз після затвердіння і видом ізотерми змочування;</li> <li>– вибір ростових середовищ для вирощування кристалів алмазу, зв'язок для композиційних матеріалів, припоїв для активної пайки;</li> <li>– капілярна і термомеханічна задача в процесі спікання та при отриманні паяних з'єднань;</li> <li>– зварювання та пайка;</li> <li>– вплив хімічного модифікування поверхні на адгезію фаз, ефект Кіркендалла, ефект Ребіндера.</li> </ul>	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 перетворень під високим тиском. Термічний аналіз під високим тиском (Туркевич В.З.):</p>	5	2	3



<ul style="list-style-type: none"> <li>– газостати;</li> <li>– твердо фазні апарати високого тиску;</li> <li>– алмазні ковадла;</li> <li>– дослідження перетворень пів високим тиском;</li> <li>– вимірювання температури;</li> <li>– термічний аналіз.</li> </ul>			
<p><b>Тема 10.</b> Використання синхротронного випромінювання для досліджень під високим тиском (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– типи синхротронів;</li> <li>– енергія та тип пучків;</li> <li>– типи пристроїв для створення синхротронного випромінювання;</li> <li>– апарати високого тиску, що встановлюються на синхротронах.</li> </ul>	5	2	3
<b>Змістовний модуль 6. Хімічна термодинаміка та фазові рівноваги</b>			
<p><b>Тема 11.</b> Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані і обмеженою розчинністю в твердому стані (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термодинамічний вивід діаграми стану з евтектичною рівновагою та перитектичною рівновагою;</li> <li>– трикутник Таммана;</li> <li>– вигляд діаграми при наявності поліморфізму чистих компонентів;</li> <li>– нерівноважна кристалізація системи;</li> <li>– 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.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 12.</b> Діаграми стану подвійних систем з обмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані (Туркевич В.З.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термодинамічний вивід кривої розшарування;</li> <li>– кристалізація з двох рідких фаз;</li> <li>– монотектична рівновага;</li> <li>– випадки повної відсутності розчинності як в твердому, так і в рідкому стані;</li> <li>– діаграми стану подвійних систем з хімічними сполуками, їх термодинамічний вивід;</li> <li>– конгруентна та інконгруентна кристалізація;</li> <li>– синтетична рівновага;</li> <li>– системи з утворенням сполук в області</li> </ul>	5	2	3

твердих розчинів; – дальтонідні та бертолідні фази; – 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.			
<b>Тема 13–15.</b> Системи сполук (Туркевич В.З.): – системи простого евтектичного типу; – системи з хімічними сполуками, що плавляться конгруентно та інконгруентно; – системи з твердими розчинами без утворення хімічних сполук; – результати експериментальних досліджень та термодинамічних розрахунків діаграм стану потрійних систем Fe-Ni-C, Fe-Co-C, Mn-Ni-C під атмосферним та високим тиском; – системи з обмеженою розчинністю в рідкому стані; – поліморфні перетворення в потрійних системах.	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 – 26.05–05.06.

### 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