

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА»  
Фізико-технічний факультет  
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

## **СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Термодинаміка нерівноважних процесів**

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Галузь знань	10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “30” серпня 2021 р.

м. Івано-Франківськ – 2021

<b>1. Загальна інформація</b>	
Назва дисципліни	Термодинаміка нерівноважних процесів
Викладач (-і)	професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, доктор фізико-математичних наук, старший дослідник Рачій Богдан Іванович контакти: ауд. 02 (ц.к.)
Контактний телефон викладача	(0342) 59-61-43
E-mail викладача	bogdan.rachiy@pnu.edu.ua
Формат дисципліни	очний
Обсяг дисципліни	3 кредити ЄКТС, 90 год.
Посилання на сайт дистанційного навчання	<a href="https://d-learn.pnu.edu.ua/">https://d-learn.pnu.edu.ua/</a>
Консультації	щотижня
<b>2. Анотація до навчальної дисципліни</b>	
<p>Дисципліна «Термодинаміка нерівноважних процесів» є вибіркоvim компонентом для спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для третього (доктор філософії) освітньо-наукового рівня вищої освіти. Курс дозволяє здобувачам вищої освіти ознайомитися із сучасним уявленням про термодинаміку нерівноважних необоротних процесів та сформуванню на його основі науковий та творчий підхід до вирішення практичних завдань, пов'язаних з нестационарними, нерівноважними потоками речовини, енергії та заряду в відкритих фізико-хімічних системах. Здобувачі освіти поглиблюють знання про сучасні методологічні наукові підходи, що реалізуються в нерівноважній термодинаміці та застосовуються до опису великої кількості фізико-хімічних процесів та явищ у природі, техніці та промисловості, вивчать основні закони та рівняння нерівноважної термодинаміки, їх обґрунтування та методи використання при вирішенні фундаментальних та прикладних фізичних завдань. Здобувачі освіти ознайомляться із сучасними досягненнями природничих наук, тісно пов'язаних із нерівноважною термодинамікою: методологіями нелінійної динаміки, детермінованого хаосу, теорії самоорганізації, прикладної синергетики. Для успішного засвоєння даного курсу необхідними є знання з курсів загальної фізики, термодинаміки, статистичної фізики, що дасть змогу поєднати теоретичні та експериментальні дані та побачити перспективи подальших наукових досліджень у цій галузі.</p>	
<b>3. Мета та цілі навчальної дисципліни</b>	
<p>Метою вивчення навчальної дисципліни є ознайомлення здобувачів освіти з сучасним уявленням про термодинаміку нерівноважних процесів та формування на його основі наукового підходу до вирішення практичних завдань, пов'язаних з нестационарними та нерівноважними потоками речовини, енергії і заряду у відкритих фізико-хімічних системах. Основні цілі, що вирішуються в процесі викладання дисципліни, є: отримання знань про сучасні методологічні наукові підходи, що реалізуються в нерівноважній термодинаміці та застосовуються до опису великої кількості фізико-хімічних процесів та явищ у природі, техніці та промисловості; вивчення основних законів та рівнянь нерівноважної термодинаміки та обґрунтування їх використання при вирішенні фундаментальних та прикладних фізичних завдань; формування умінь застосування основних співвідношень термодинаміки незворотних процесів у теорії нерівноважних фазових перетворень та нерівноважного структуроутворення металевих сплавів; набуття навичок щодо використання отриманих знань для встановлення однозначного зв'язку між потоками фізичних величин (маси, енергії, заряду тощо) та зовнішніми силами, що діють на систему, та застосування цих навичок для вирішення прикладних завдань матеріалознавства та технології матеріалів; ознайомлення здобувачів освіти із сучасними досягненнями природничих наук, тісно пов'язаних із нерівноважною термодинамікою: методологіями нелінійної динаміки,</p>	

детермінованого хаосу, теорії самоорганізації, прикладної синергетики.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач освіти повинен:

**знати:** балансові рівняння, що характеризують процеси перенесення маси, імпульсу, енергії, заряду, ентропії тощо; принцип локальної термодинамічної рівноваги, її обґрунтування; закон зростання ентропії внаслідок незворотних процесів, його обґрунтування; основні закони, отримані у межах лінійної термодинаміки незворотних процесів (теорема Кюрі, співвідношення взаємності Онзагера); узагальнені закони процесів перенесення, отримані у межах лінійної теорії; критерії еволюції та стійкості відкритих нерівноважних термодинамічних систем; умови виникнення та існування дисипативних структур;

**уміти:** записувати систему рівнянь, що описує стан нерівноважного суцільного середовища; визначати потоки та сили, що існують у нерівноважних системах, поділяти їх на скалярні, векторні та тензорні; встановлювати зв'язки між потоками та силами; обчислювати виробництво ентропії та дисипації енергії у відкритих системах, аналізувати їх еволюцію; наводити приклади дисипативних структур з областей фізики, хімії, біології, матеріалознавства. Термінологією в області термодинаміки нерівноважних процесів;

**володіти:** навичками дискусії з професійної тематики з використанням понять та законів термодинаміки нерівноважних процесів; навичками з самостійного вивчення та розуміння спеціальної, наукової, довідкової та методичної літератури, пов'язаної з проблемами нерівноважної термодинаміки.

#### 4. Загальні і фахові компетентності

ЗК.1. Розуміння концептуальних та методологічних засад у галузі науково-дослідної та/або професійної діяльності.

ЗК.2. Здатність розв'язувати значущі наукові проблеми, переосмислення наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику.

ЗК.7. Здатність безперервно саморозвиватися і самовдосконалюватися, застосовувати технології професійної самоорганізації та самоменеджменту як складових професійного розвитку.

ЗК.9. Здатність до роботи у команді, використання адекватних методів ефективної взаємодії із різних (професійних, соціальних та культурних груп).

ЗК.10 Здатність формувати дослідницьке поле власного наукового дослідження відповідно до сучасної парадигми наукового знання.

ФК.1. Здатність реалізувати самостійну науково-дослідницьку та науково-педагогічну діяльність у галузі прикладної фізики та нанотехнологій з використанням новітніх наукових знань.

ФК.2. Здатність формулювати основні атрибути прикладної фізичної задачі, будувати її модель, визначати завдання фізичного дослідження.

ФК.3. Здатність аналізувати і узагальнювати результати сучасних досліджень у галузі, адаптувати їх для вирішення наукових і прикладних проблем у галузі прикладної фізики.

ФК.4. Здатність здійснювати теоретичні та експериментальні наукові дослідження, застосувати їх методи, трактувати отримані результати, виявляти властивості та характеристики об'єктів дослідження у галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК.5. Здатність створювати та аналізувати різні моделі фізичних систем, оцінювати адекватність їх щодо фізичних явищ і процесів, для пояснення для яких ці моделі створювалися.

ФК.7 Володіти сучасними експериментальними методами дослідження матеріалів, в тому числі наноструктурованих, методами опрацювання результатів експерименту за допомогою уніфікованих та специфічних програмних середовищ, сучасними способами представлення результатів дослідження.

ФК.8. Здатність працювати з науково-технічною документацією, оформляти результати наукових досліджень, зокрема власних.

ФК.11. Викладацькі здатності. Компетентність правильно використовувати набуті знання і навички у викладацькій діяльності та при роботі у науково-дослідних лабораторіях.

### **5. Програмні результати навчання**

ПРН.1. У результаті навчання здобувачі повинні набути знання і вміння, які дозволяють застосовувати сучасні концептуальні поняття у галузі фізики, прикладної фізики, суміжних галузей знань, зокрема, методології та принципів побудови наукових досліджень, для здійснення професійної діяльності.

ПРН.2. Знання – фундаментальних праць провідних вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі прикладної фізики і суміжних наук.

ПРН.3. Знання поглибленого рівня у сфері фізики, технології речовин і матеріалів, сучасних методів дослідження їх властивостей.

ПРН.6. Прогнозувати результати виконання наукового проекту, новизну практичну цінність ініціювати та проводити комплексні дослідження у галузі, які проводять до отримання нових знань.

ПРН.7. Використовувати інформаційно-комунікаційні технології у науковій та викладацькій діяльності, володіти навичками етичної поведінки в інформаційно-комунікаційному середовищі.

ПРН.11. Оцінювати кращі європейські практики, сучасні цифрові ресурси та інструменти на предмет їх застосування для освітньо-наукових цілей.

ПРН.12. Проводити математичне, аналітичне та комп'ютерне моделювання здійснювати статистичні обчислення або чисельні розрахунки, порівнювати їх результати із експериментами даними для більш повного опису досліджуваних систем.

ПРН.14. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми правової сфери державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН.16. Робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, онлайн-ресурси.

ПРН.17. Ясно та ефективно описувати інтенсивні, глибокі й деталізовані результати наукової роботи державною та іноземною мовами. Вести спеціалізовані наукові семінари та публікувати наукові статті в провідних наукових журналах.

ПРН.20. Здатність правильно вибрати стратегію синтезу та дослідження наноматеріалів з точки зору їх практичного застосування в заданих умовах з повним уявленням про загальні підходи створення і отримання нових ультрадисперсних матеріалів із заданими властивостями.

ПРН.21. Здатність правильно використовувати набуті знання і навички у викладацькій діяльності та при роботі у науково-дослідних лабораторіях.

### **6. Організація навчання**

#### Обсяг навчальної дисципліни

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	20
семінарські	10
самостійна робота	60

#### Ознаки навчальної дисципліни

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
3	Прикладна фізика та наноматеріали	2	вибірковий

#### Тематика навчальної дисципліни

Тема	кількість годин		
	лекції	семінарські	сам. роб.
Тема 1. Термодинамічний метод дослідження Вихідні поняття та визначення	2	1	6
Тема 2. Термодинамічний стан Основні постулати та початки термодинаміки	2	1	6
Тема 3. Умови термодинамічної рівноваги	2	1	6
Тема 4. Необоротні термодинамічні процеси	2	1	6
Тема 5. Термодинамічні потоки та сили	2	1	6
Тема 6. Постулати (принципи) лінійної нерівноважної термодинаміки	2	1	6
Тема 7. Термодинамічні процеси у відкритих нерівноважних системах	2	1	6
Тема 8. Теоретичні основи нелінійної термодинаміки Дисипативні структури у суттєво нерівноважних системах	2	1	6
Тема 9. Розвиток та перспективи теорії нелінійної термодинаміки	2	1	6
Тема 10. Аналіз явищ самоорганізації в галузі матеріалознавства та технології матеріалів. Самоорганізація у фізиці, хімії, біології	2	1	6
Загально	20	10	60
<b>7. Система оцінювання навчальної дисципліни</b>			
Загальна система оцінювання навчальної дисципліни	На семінарських заняттях здобувач освіти може максимально набрати 50 балів, включаючи результати самостійної роботи. За залік – максимально 50 балів. Таким чином, підсумкова оцінка – максимум 100 балів.		
Вимоги до письмових робіт	Підсумкова робота, яка проводиться у письмовій формі, повинна містити конкретні і чіткі відповіді на поставлені питання, здобувач повинен використовувати сучасні наукові літературні джерела, нормативно-правове забезпечення щодо організації освітнього процесу в ЗВО, професійної етики та академічної доброчесності. Тестові завдання передбачають вибір правильного варіанту відповіді.		
Семінарські заняття	Максимальна оцінка – 50 балів.		
Умови допуску до підсумкового контролю	Виконання 90 % практичних завдань. Обов'язковим є виконання індивідуального творчого завдання з використанням цифрових інструментів і ресурсів.		
Підсумковий контроль	Залік (тест) Форма здачі: письмово.		
<b>8. Політика навчальної дисципліни</b>			
1. Інформація щодо результатів тестування, виконання індивідуальних / групових робіт, презентації результатів самостійної роботи, загальна оцінка змістового модуля в цілому надається кожному аспіранту як індивідуально. Неприпустимими є плагіат та списування.			
2. Інформація щодо оцінки виконання індивідуального завдання надається здобувачеві після представлення (у т.ч. публічного) результатів виконання роботи. Результати самостійної роботи аспірантів перевіряються на 3 та 7 тижнях навчання. Сумарна оцінка за кожним змістовим модулем в цілому надається на 5 та 9 тижнях навчання. Результати виконання аспірантом індивідуального творчого завдання надаються згідно розкладу практичних занять.			
3. Присутність аспірантів на практичних заняттях, заліку є обов'язковою. Лекційні курси, а також додаткові ресурси для засвоєння змісту курсу є доступними на сайті дистанційної			

освіти (за поданим вище посиланням). Якщо здобувач пропустив заняття, необхідно виконати всі практичні завдання, які вивчалися на цьому занятті та отримати відповідну оцінку.

4. Якщо аспірант не отримав підсумкової оцінки за результатами виконання практичних завдань (на практичних заняттях), а також не виконав самостійної роботи, то він не допускається до залікового заняття.