



# НЕРІВНОВАЖНА ТЕРМОДИНАМІКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика і астрономія</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-професійна програма «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів»</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити (120 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен усний</i>
Розклад занять	<i>Перший тиждень:</i> <ul style="list-style-type: none"><li><i>Вівторок 3-тя пара, 12:20-13:55, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li><li><i>Вівторок 4-та пара, 14:15-15:45, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li></ul> <i>Другий тиждень:</i> <ul style="list-style-type: none"><li><i>Вівторок 3-тя пара, 12:20-13:55, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li></ul>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, e-mail: <a href="mailto:Gorobets.oksana@gmail.com">Gorobets.oksana@gmail.com</a></i> Викладач практичних занять: <i>доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, e-mail: <a href="mailto:Gorobets.oksana@gmail.com">Gorobets.oksana@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<ul style="list-style-type: none"><li><i><a href="http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVVKI2EnZTqi554UrA">http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVVKI2EnZTqi554UrA</a> у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»</i></li><li><i><a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a></i></li></ul>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей.*

#### **Загальні компетентності:**

*ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.*

*ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.*

*ЗК3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.*

*ЗК4. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

*ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.*

*ЗК7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.*

### **Фахові компетентності спеціальності:**

ФК1 Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

ФК5. Здатність сприймати ново здобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними.

ФК9. Здатність самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

#### *Основні завдання кредитного модуля:*

*Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати наступні **результати навчання**:*

ПРН01 Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

ПРН02 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.

ПРН05 Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

ПРН09 Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.

ПРН10 Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела.

ПРН11 Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

ПРН13 Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.

ПРН15 Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.

ПРН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень в області фізики та астрономії.

ПРН18. Вміти використовувати набуті знання для розв'язання різних задач з фізики та астрономії.

ПРН19. Вміти моделювати фізичні і не тільки процеси та явища, що виникають в навколишньому світі.

ПРН20. Вміти створювати та досліджувати різні фізичні теорії за допомогою моделювання фізичних та астрономічних процесів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Кредитний модуль «Нерівноважна термодинаміка» відноситься до дисципліни «Нерівноважна термодинаміка», яка належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, і вивчається студентами в 2-му семестрі навчання за напрямом «фізика». Цей кредитний модуль спрямований на формування у студентів базових понять, вмінь та навичок

стосовно курсу Нерівноважної термодинаміки. Вивчення даного кредитного модуля базується на курсах «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика та магнетизм», «Класична механіка», «Математичний аналіз» та ін. Знання, отримані студентами з курсу електродинаміки, використовуються в курсах «Вступ до фізики твердого тіла», «Основи квантової теорії поля» та ін.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів, тем	Розподіл за семестрами та видами занять			
	Всього	Лекції	Практичні заняття	СРС
<b>Семестр 2</b>				
<b>Розділ 1. Вихідні положення нерівноважної термодинаміки. Явища переносу.</b>				
Тема 1.1. Локальна рівновага і основне рівняння термодинаміки нерівноважних процесів.	3	1	0,5	1
Тема 1.2. Функція розподілу нерівноважного макростану. Властивості функцій дисипації.	3	1	0,5	1
Тема 1.3. Способи обчислення термодинамічних сил.	3	1	0,5	1
Тема 1.4. Рівноважні співвідношення під час відсутності і при наявності зовнішніх полів, отримані з виразу для термодинамічних сил.	3	1	0,5	1
Тема 1.5. Рівняння балансу і закони збереження різних величин.	3	1	0,5	1
Тема 1.6. Закон збереження маси. Загальне рівняння дифузії. Внесок наявності хімічних реакцій в рівняння дифузії.	3	1	0,5	1
Тема 1.7. Закон збереження імпульсу.	3	1	0,5	1
Тема 1.8. Рівняння балансу для механічної енергії. Закон збереження енергії.	3	1	0,5	1
Тема 1.9. Загальне рівняння теплопровідності.	3	1	0,5	1
Тема 1.10. Поняття, визначення і основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів.	3	1	0,5	1
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Розділ 2. Виробництво ентропії в нерівноважних системах.</b>				
Тема 2.1. Ентропія у відкритих системах.	3	1	0,5	1
Тема 2.2. Узагальнення другого початку термодинаміки на відкриті системи. Диференціальні характеристики ентропії. Рівняння балансу для ентропії.	3	1	0,5	1

Тема 2.3. Поняття локальної рівноваги. Локальне виробництво ентропії.	3	1	0,5	1
Тема 2.4. Формула Гіббса для ентропії. Локальне виробництво ентропії при протіканні хімічної реакції.	3	1	0,5	1
Тема 2.5. Густина виробництва ентропії в системах із локальною рівновагою.	3	1	0,5	1
Тема 2.6. Принцип мінімуму виробництва ентропії в процесах самоорганізації.	3	1	0,5	1
Тема 2.7. Стаціонарні стани й термодинамічна гілка.	3	1	0,5	1
Тема 2.8. Надлишкове виробництво ентропії при перетворенні однієї пари речовин в іншу пару речовин.	3	1	0,5	1
Тема 2.9. Надлишкове виробництво ентропії для реакції автокаталітичного типу.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 3	27	9	4,5	9
Розділ 3. Лінійна нерівноважна термодинаміка.				
Тема 3.1. Виробництво ентропії при малих відхиленнях від термодинамічної рівноваги.	3	1	0,5	1
Тема 3.2. Нерівноважні стаціонарні стани. Теорема Пригожина.	3	1	0,5	1
Тема 3.3. Співвідношення взаємності Онзагера і принцип Кюрі.	3	1	0,5	1
Тема 3.4. Варіаційні принципи термодинаміки незворотних процесів.	3	1	0,5	1
Тема 3.5. Стійкість стаціонарних станів, принцип Ле Шательє і неможливість упорядкування в області лінійних необоротних процесів.	3	1	0,5	1
Тема 3.6. Термоелектричні явища. Рівняння для термоелектричних явищ. Ефекти Зеєбека, Пельтьє, Томсона. Термопара. Термомеханічний і механокалоричний ефекти.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 3	18	6	3	6
Тестування виконання СРС з розділів 1-3	9			9
Розділ 4. Нелінійна термодинаміка.				
Тема 4.1. Універсальний критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина. Просторові дисипативні структури. Комірки Бенара.	3	1	0,5	1
Тема 4.2. Часові і просторово-часові структури. Реакція Білоусова-Жаботинського.	3	1	0,5	1
Тема 4.3. Самоорганізація та еволюція термодинамічно нерівноважних систем.	3	1	0,5	1
Тема 4.4. Стійкість стаціонарних станів систем, далеких від термодинамічної рівноваги.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 4	12	4	2	8
Розділ 5. Фізична кінетика.				
Тема 5.1. Броунівський рух.	3	2	1	2
Тема 5.2. Рівняння Фокера-Планка.	3	1	0,5	1

Тема 5.3. Кінетичні рівняння.	3	2	1	2
Тема 5.4. Гідродинамічна стадія еволюції нерівноважної системи.	3	1	0,5	2
Тема 5.5. Чисельні методи в статистичній фізиці.	3	1	0,5	12
Разом за розділом 5	15	7	3,5	19
Тестування виконання СРС з розділів 4-5. Підготовка до екзамену	9			9
Разом	120	36	18	66

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10]

[1–10]

1. Анісімов, І. О. Синергетика: Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2013. 283с.
2. Булавін, Л. А., Гаврюшенко, Д. А., Сисоєв, В. М. Нерівноважна термодинаміка: Київ: Київський університет імені Тараса Шевченка, 2014. 31с.
3. Волчанський, О. В., Гур'євська, О. М., Подопрігора, Н. В. Термодинаміка і статистична фізика: навчальний посібник: [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.]: Кіровоград: ТОВ «Сабоніт», 2012. 431с.
4. Мороз, І. О., Завражна, О. М. Основи статистичної термодинаміки та елементи нанотермодинаміки: Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 240с.
5. Demirel, Y. Nonequilibrium thermodynamics: Transport and rate processes in physical, chemical and biological systems: *Nonequilibrium Thermodynamics: Transport and Rate Processes in Physical, Chemical and Biological Systems: Third Edition*. 2014.
6. Bellac, M. Le, Mortessagne, F., Batrouni, G. G. Equilibrium and Non-Equilibrium Statistical Thermodynamics: *Equilibrium and Non-Equilibrium Statistical Thermodynamics*. 2004.
7. Kurzynski, M. Thermodynamic Machinery of Life. Thermodynamic Machinery of Life. 2006.
8. Базаров, И. П., Геворкян, Э. В., Николаев, П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика: Москва: МГУ, 1989. 240с.
9. Климонтович, Ю. Л. Введение в физику открытых систем: Москва: Янус-К, 2002. 284с.
10. Дьярмати, И. Неравновесная термодинамика: Москва: Мир, 1974. 301с.

Базова [1–5]

Додаткова: [6–10]

#### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

##### Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Лекція 1. Розділ 1. Вихідні положення нерівноважної термодинаміки. Явища переносу. Тема 1.1. Локальна рівновага і основне рівняння термодинаміки нерівноважних процесів. [1–5]
2.	Лекція 2.

	<p>Тема 1.2. Функція розподілу нерівноважного макростану. Властивості функцій дисипації. Тема 1.3. Способи обчислення термодинамічних сил.</p> <p>[1–5]</p>
3.	<p>Лекція 3.</p> <p>Тема 1.4. Рівноважні співвідношення під час відсутності і при наявності зовнішніх полів, отримані з виразу для термодинамічних сил. Тема 1.5. Рівняння балансу і закони збереження різних величин.</p> <p>[1–5]</p>
4.	<p>Лекція 4.</p> <p>Тема 1.6. Закон збереження маси. Загальне рівняння дифузії. Внесок наявності хімічних реакцій в рівняння дифузії. Тема 1.7. Закон збереження імпульсу.</p> <p>[1–5]</p>
5.	<p>Лекція 5.</p> <p>Тема 1.8. Рівняння балансу для механічної енергії. Закон збереження енергії. Тема 1.9. Загальне рівняння теплопровідності.</p> <p>[1–5]</p>
6.	<p>Лекція 6.</p> <p>Тема 1.10. Поняття, визначення і основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів. Розділ 2. Виробництво ентропії в нерівноважних системах. Тема 2.1. Ентропія у відкритих системах.</p> <p>[1–5]</p>
7.	<p>Лекція 7.</p> <p>Тема 2.2. Узагальнення другого початку термодинаміки на відкриті системи. Диференціальні характеристики ентропії. Рівняння балансу для ентропії. Тема 2.3. Поняття локальної рівноваги. Локальне виробництво ентропії.</p> <p>[1–5]</p>
8.	<p>Лекція 8.</p> <p>Тема 2.4. Формула Гіббса для ентропії. Локальне виробництво ентропії при протіканні хімічної реакції. Тема 2.5. Густина виробництва ентропії в системах із локальною рівновагою.</p> <p>[1–5]</p>
9.	<p>Лекція 9.</p> <p>Тема 2.6. Принцип мінімуму виробництва ентропії в процесах самоорганізації. Тема 2.7. Стаціонарні стани й термодинамічна гілка.</p> <p>[1–5]</p>
10.	<p>Лекція 10.</p> <p>Тема 2.8. Надлишкове виробництво ентропії при перетворенні однієї пари речовин в іншу пару речовин. Тема 2.9. Надлишкове виробництво ентропії для реакції автокаталітичного типу.</p> <p>[1–5]</p>
11.	<p>Лекція 11.</p> <p>Розділ 3. Лінійна нерівноважна термодинаміка. Тема 3.1. Виробництво ентропії при малих відхиленнях від термодинамічної рівноваги. Тема 3.2. Нерівноважні стаціонарні стани. Теорема Пригожина.</p> <p>[1–5]</p>
12.	<p>Лекція 12.</p> <p>Тема 3.3. Співвідношення взаємності Онзагера і принцип Кюрі. Тема 3.4. Варіаційні принципи термодинаміки незворотних процесів.</p> <p>[1–5]</p>



13.	<p><i>Лекція 13.</i></p> <p><i>Тема 3.5. Стійкість стаціонарних станів, принцип Ле Шательє і неможливість упорядкування в області лінійних необоротних процесів.</i></p> <p><i>Тема 3.6. Термоелектричні явища. Рівняння для термоелектричних явищ. Ефекти Зеєбека, Пельтьє, Томсона. Термопара. Термомеханічний і механокалоричний ефекти.</i></p> <p>[1–5]</p>
14.	<p><i>Лекція 14.</i></p> <p><i>Розділ 4. Нелінійна термодинаміка. Тема 4.1. Універсальний критерій еволюції Гленсдорфа- Пригожина. Просторові дисипативні структури. Осередки Бенара.</i></p> <p><i>Тема 4.2. Часові і просторово-часові структури. Реакція Білоусова-Жаботинського.</i></p> <p>[1–5]</p>
15.	<p><i>Лекція 15.</i></p> <p><i>Тема 4.3. Самоорганізація та еволюція термодинамічно нерівноважних систем.</i></p> <p><i>Тема 4.4. Стійкість стаціонарних станів систем, далеких від термодинамічної рівноваги.</i></p> <p>[1–5]</p>
16.	<p><i>Лекція 16.</i></p> <p><i>Розділ 5. Фізична кінетика. Тема 5.1. Броунівський рух.</i></p> <p>[1–5]</p>
17.	<p><i>Лекція 17. Тема 5.1. Броунівський рух. Тема 5.2. Рівняння Фокера-Планка.</i></p> <p>[1–5]</p>
18.	<p><i>Лекція 18.</i></p> <p><i>Тема 5.3. Кінетичні рівняння. Тема 5.4. Гідродинамічна стадія еволюції нерівноважної системи. Тема 5.5. Чисельні методи в статистичній фізиці.</i></p> <p>[1–5]</p>

## 6. Практичні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	<p><i>Практичне заняття 1.</i></p> <p><i>Розділ 1. Вихідні положення нерівноважної термодинаміки. Явища переносу. Тема 1.1. Локальна рівновага і основне рівняння термодинаміки нерівноважних процесів. Тема 1.2. Функція розподілу нерівноважного макростану. Властивості функцій дисипації. Тема 1.3. Способи обчислення термодинамічних сил.</i></p> <p>[1–10]</p>
2.	<p><i>Практичне заняття 2.</i></p> <p><i>Тема 1.4. Рівноважні співвідношення під час відсутності і при наявності зовнішніх полів, отримані з виразу для термодинамічних сил. Тема 1.5. Рівняння балансу і закони збереження різних величин. Тема 1.6. Закон збереження маси. Загальне рівняння дифузії. Внесок наявності хімічних реакцій в рівняння дифузії. Тема 1.7. Закон збереження імпульсу.</i></p> <p>[1–10]</p>
3.	<p><i>Практичне заняття 3.</i></p> <p><i>Тема 1.8. Рівняння балансу для механічної енергії. Закон збереження енергії. Тема 1.9. Загальне рівняння теплопровідності. Тема 1.10. Поняття, визначення і основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів. Розділ 2. Виробництво ентропії в нерівноважних системах. Тема 2.1.</i></p>

	<i>Ентропія у відкритих системах.</i> [1–10]
4	<i>Практичне заняття 4.</i> <i>Тема 2.2. Узагальнення другого початку термодинаміки на відкриті системи. Диференціальні характеристики ентропії. Рівняння балансу для ентропії.</i> <i>Тема 2.3. Поняття локальної рівноваги. Локальне виробництво ентропії. Тема 2.4. Формула Гіббса для ентропії. Локальне виробництво ентропії при протіканні хімічної реакції. Тема 2.5. Густина виробництва ентропії в системах із локальною рівновагою.</i> [1–10]
5.	<i>Практичне заняття 5.</i> <i>Тема 2.6. Принцип мінімуму виробництва ентропії в процесах самоорганізації.</i> <i>Тема 2.7. Стаціонарні стани й термодинамічна гілка. Тема 2.8. Надлишкове виробництво ентропії при перетворенні однієї пари речовин в іншу пару речовин. Тема 2.9. Надлишкове виробництво ентропії для реакції автокаталітичного типу.</i> [1–10]
6.	<i>Практичне заняття 6.</i> <i>Розділ 3. Лінійна нерівноважна термодинаміка. Тема 3.1. Виробництво ентропії при малих відхиленнях від термодинамічної рівноваги. Тема 3.2. Нерівноважні стаціонарні стани. Теорема Пригожина.</i> [1–10] <i>Тема 3.3. Співвідношення взаємності Онзагера і принцип Кюрі. Тема 3.4. Варіаційні принципи термодинаміки незворотних процесів.</i> [1–10]
7.	<i>Практичне заняття 7.</i> <i>Тема 3.5. Стійкість стаціонарних станів, принцип Ле Шательє і неможливість упорядкування в області лінійних необоротних процесів.</i> <i>Тема 3.6. Термоелектричні явища. Рівняння для термоелектричних явищ. Ефекти Зеебека, Пельтьє, Томсона. Термопара. Термомеханічний і механокалоричний ефекти. Розділ 4. Нелінійна термодинаміка. Тема 4.1. Універсальний критерій еволюції Гленсдорфа- Пригожина. Просторові дисипативні структури. Осередки Бенара. Тема 4.2. Часові і просторово-часові структури. Реакція Білоусова-Жаботинського.</i> [1–10]
8.	<i>Практичне заняття 8.</i> <i>Тема 4.3. Самоорганізація та еволюція термодинамічно нерівноважних систем.</i> <i>Тема 4.4. Стійкість стаціонарних станів систем, далеких від термодинамічної рівноваги. Розділ 5. Фізична кінетика. Тема 5.1. Броунівський рух.</i> [1–10]
9.	<i>Практичне заняття 9.</i> <i>Тема 5.1. Броунівський рух. Тема 5.2. Рівняння Фокера-Планка. Тема 5.3. Кінетичні рівняння. Тема 5.4. Гідродинамічна стадія еволюції нерівноважної системи. Тема 5.5. Чисельні методи в статистичній фізиці.</i> [1–10]

## 7. Самостійна робота студента

	<i>Тема СРС</i>
1.	<i>Розділ 1. Вихідні положення нерівноважної термодинаміки. Явища переносу.</i> [1–10]



2.	<i>Тема 1.1. Локальна рівновага і основне рівняння термодинаміки нерівноважних процесів. [1–10]</i>
3.	<i>Тема 1.2. Функція розподілу нерівноважного макростану. Властивості функцій дисипації. [1–10]</i>
4.	<i>Тема 1.3. Способи обчислення термодинамічних сил. [1–10]</i>
5.	<i>Тема 1.4. Рівноважні співвідношення під час відсутності і при наявності зовнішніх полів, отримані з виразу для термодинамічних сил. [1–10]</i>
6.	<i>Тема 1.5. Рівняння балансу і закони збереження різних величин. [1–10]</i>
7.	<i>Тема 1.6. Закон збереження маси. Загальне рівняння дифузії. Внесок наявності хімічних реакцій в рівняння дифузії. [1–10]</i>
8.	<i>Тема 1.7. Закон збереження імпульсу. [1–10]</i>
9.	<i>Тема 1.8. Рівняння балансу для механічної енергії. Закон збереження енергії. [1–10]</i>
10.	<i>Тема 1.9. Загальне рівняння теплопровідності. [1–10]</i>
11.	<i>Тема 1.10. Поняття, визначення і основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів. [1–10]</i>
12.	<i>Розділ 2. Виробництво ентропії в нерівноважних системах. [1–10]</i>
13.	<i>Тема 2.1. Ентропія у відкритих системах. [1–10]</i>
14.	<i>Тема 2.2. Узагальнення другого початку термодинаміки на відкриті системи. Диференціальні характеристики ентропії. Рівняння балансу для ентропії. [1–10]</i>
15.	<i>Тема 2.3. Поняття локальної рівноваги. Локальне виробництво ентропії. [1–10]</i>
16.	<i>Тема 2.4. Формула Гіббса для ентропії. Локальне виробництво ентропії при протіканні хімічної реакції. [1–10]</i>
17.	<i>Тема 2.5. Густина виробництва ентропії в системах із локальною рівновагою. [1–10]</i>
18.	<i>Тема 2.6. Принцип мінімуму виробництва ентропії в процесах самоорганізації. [1–10]</i>
19.	<i>Тема 2.7. Стаціонарні стани й термодинамічна гілка. [1–10]</i>
20.	<i>Тема 2.8. Надлишкове виробництво ентропії при перетворенні однієї пари речовин в іншу пару речовин. [1–10]</i>
21.	<i>Тема 2.9. Надлишкове виробництво ентропії для реакції автокаталітичного типу. [1–10]</i>
22.	<i>Розділ 3. Лінійна нерівноважна термодинаміка. [1–10]</i>

23.	<i>Тема 3.1. Виробництво ентропії при малих відхиленнях від термодинамічної рівноваги.</i> [1–10]
24.	<i>Тема 3.2. Нерівноважні стаціонарні стани. Теорема Пригожина.</i> [1–10]
25.	<i>Тема 3.3. Співвідношення взаємності Онзагера і принцип Кюрі.</i> [1–10]
26.	<i>Тема 3.4. Варіаційні принципи термодинаміки незворотних процесів.</i> [1–10]
27.	<i>Тема 3.5. Стійкість стаціонарних станів, принцип Ле Шательє і неможливість упорядкування в області лінійних необоротних процесів.</i> [1–10]
28.	<i>Тема 3.6. Термоелектричні явища. Рівняння для термоелектричних явищ. Ефекти Зеєбека, Пельтьє, Томсона. Термопара. Термомеханічний і механокалоричний ефекти.</i> [1–10]
29.	<i>Тестування виконання СРС з розділів 1-3</i> [1–10]
30.	<i>Розділ 4. Нелінійна термодинаміка.</i> [1–10]
31.	<i>Тема 4.1. Універсальний критерій еволюції Гленсдорфа- Пригожина. Просторові дисипативні структури. Осередки Бенара.</i> [1–10]
32.	<i>Тема 4.2. Часові і просторово-часові структури. Реакція Білоусова-Жаботинського.</i> [1–10]
33.	<i>Тема 4.3. Самоорганізація та еволюція термодинамічно нерівноважних систем.</i> [1–10]
34.	<i>Тема 4.4. Стійкість стаціонарних станів систем, далеких від термодинамічної рівноваги.</i> [1–10]
35.	<i>Розділ 5. Фізична кінетика.</i> [1–10]
36.	<i>Тема 5.1. Броунівський рух.</i> [1–10]
37.	<i>Тема 5.2. Рівняння Фокера-Планка.</i> [1–10]
38.	<i>Тема 5.3. Кінетичні рівняння.</i> [1–10]
39.	<i>Тема 5.4. Гідродинамічна стадія еволюції нерівноважної системи.</i> [1–10]
40.	<i>Тема 5.5. Чисельні методи в статистичній фізиці.</i> [1–10]
41.	<i>Тестування виконання СРС з розділів 4-5. Підготовка до екзамену</i> [1–10]

## Політика та контроль

### 8. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-університетського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила захисту індивідуальних завдань (тестування <http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA> у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю.»);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-університетського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-університетського розпорядку);

## 9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

*Поточний контроль: тести*

*Календарний контроль: контроль виконання самостійної роботи проводиться двічі на семестр у формі тестів як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

*Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і університетська шкала.*

*Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.*

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи
	Кредити	Акад. год.	Лекції	Практичні заняття	СРС	
2	4	120	36	18	66	Семестр атест. Екзамен

*Рейтинг студентів 2 курсу магістратури ФМФ з «Нерівноважної термодинаміки» складається з балів, які вони отримують за:*

- 1) СРС
- 2) відповіді на екзамені.

*Система рейтингових балів та критерії оцінювання.*

*Студентам, які успішно виконують СРС (самостійна робота студентів), можуть нараховуватися за семестр максимум 60 балів. СРС полягає у самостійній роботі із вивчення лекційного матеріалу. Перевірка виконання СРС здійснюватиметься оцінюванням результатів тестування в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю.*

*Необхідною умовою допуску до екзамену з «Нерівноважної термодинаміки» є задовільне виконання СРС (не менше 24 балів).*

*Екзаменаційна робота з «Нерівноважної термодинаміки» складається з 2 питань (2 теоретичних питання), кожне теоретичне питання максимально оцінюється в 20 балів. Всього 40 балів.*

*Критерії оцінювання (до екзамену):*

- Студент демонструє фрагментарні знання навчального матеріалу, не достатньо розуміючи зв'язок між окремими розділами програми, робить не достатньо обґрунтовані висновки (0-10 балів).
- Студент правильно відтворює навчальний матеріал, знає основоположні теорії і факти, вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок (10-20 балів)

- Студент добре володіє вивченим матеріалом, застосовує знання в стандартних ситуаціях, вміє аналізувати і систематизувати інформацію, використовує загальновідомі докази із самостійною і правильною аргументацією (21-30 балів)
- Студент має гнучкі знання в межах вимог навчальної програми, аргументовано використовує їх в різних ситуаціях, вміє знаходити інформацію та аналізувати її, ставити і розв'язувати проблеми (31-40 балів)

Сума вагових балів контрольних заходів з «Нерівноважної термодинаміки» протягом семестру складає:

**$R_C = 60$  балів.**

Екзаменаційна складова шкали  **$R_E = 40$  балів.**

Рейтингова шкала з Нерівноважної термодинаміки складає  **$R_D = R_C + R_E = 100$  балів.**

Для виставлення оцінок до залікової книжки рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Студенти, які набрали протягом семестру стартовий рейтинг з дисципліни ( $r_C$ ) менше 0,4  $R_C = 24$  балів, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з Нерівноважної термодинаміки і мають академічну заборгованість.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно
60-64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані інші умови допуску до екзамену	Не допущено

## 10. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в тестах в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2En\\_ZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2En_ZTqi554UrA) у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»;
- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою не передбачена.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри загальної фізики та фізики твердого тіла, д.ф.-м.н., професором Горобець О.Ю.

Ухвалено кафедрою загальної фізики та фізики твердого тіла (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

Погоджено Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.