ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

Спеціальні розділи термодинаміки

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	***Третій (освітньо-науковий)***
Галузь знань	*14 Електрична інженерія*[1]
Спеціальність	*144 Тепло енергетика*
Освітня програма	*Назва*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*очна(денна)/дистанційна/змішана*
Рік підготовки, семестр	*1 курс, осінній, весняний*
Обсяг дисципліни	*180 годин* *лекційні заняття :32 години* *семінарські заняття: 28 годин* *самостійна робота аспіранта: 120 годин*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*2 заліки* *1 іспит*
Розклад занять	
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: [2]*д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, Фіалко Наталія Михайлівна, nmfailko@ ukr.net* Семінарські: *д.т.н. ,професор, член-кореспондент НАН України, Фіалко Наталія Михайлівна, nmfailko@ ukr.net*
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Курс «Спеціальні розділи термодинаміки» є елементом професійної підготовки фізики-енергетичного циклу. Основною метою навчальної дисципліни є отримання аспірантами професійних знань за різними розділами термодинаміки. Прослухавши курс, аспіранти повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності в сфері теплоенергетики на основі використання термодинамічних методів аналізу. А також застосовувати основні положення різних розділів термодинаміки, здійснювати розрахунки, пов'язані з основними фізичними явищами, що вивчаються в межах даної дисципліни.

Відповідність формування у аспірантів компетентностей:

---

[1] В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:
Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

[2] Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

ЗДАТНІСТЬ:
− Самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі в галузі теплоенергетики на основі методів термодинамічного аналізу;
− Самостійно робити розрахунки, пов'язані з термодинамічними аспектами фізичних явищ, що мають місце в теплоенергетичному устаткуванні та теплотехнологіях;
− ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
− ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
− ФК 1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів;
− ФК 2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів;
− ФК 5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері теплоенергетики, інженерії та комп'ютерних технологій.
Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:
ЗНАННЯ:
− основних принципів та теорем термодинаміки простих та складних систем, методу характеристичних функцій та співвідношень між ними;
− основних положень термодинаміки фазових переходів та поверхневих явищ.
УМІННЯ:
− застосовувати основні положення термодинаміки, проводити експериментальні роботи за матеріалом курсу, здійснювати розрахунки, пов'язані з основними фізичними явищами, що вивчаються в межах даної дисципліни.
− ПРН 9 Вміння застосовувати математичні та комп'ютерні моделі для дослідження ефективності теплоенергетичного устаткування на основі термодинамічних підходів.
− ПРН 11 Вміння знаходити науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;
− ПРН 12 Вміння класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі теплофізики та теплоенергетики.
− ПРН 13 Вміння організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди.

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

Вивчення курсу «Спеціальні розділи термодинаміки» базується на таких курсах: «Загальна фізика», «Вища математика», «Математичний аналіз», «Технічна термодинаміка». Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні розділи термодинаміки» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 Концептуально-методичний базис термодинаміки

Тема 1. Базові поняття і положення.

Розділ 2 Основні принципи термодинаміки

Тема 2. Перший принцип термодинаміки.

Тема 3. Другий принцип термодинаміки.

Тема 4. Ентропія. Третій принцип термодинаміки.

Розділ 3 Складні термодинамічні системи

Тема 5. Базові поняття та положення термодинаміки складних систем.

Розділ 4 Характеристичні функції

Тема 6. Особливості характеристичних функцій та засади побудови методу характеристичних функцій.

Тема 7. Рівняння Максвелла. Характеристичні функції як критерій рівноваги та стійкості систем.

Розділ 5 Фазові переходи і критичні явища

Тема 8. Фазові переходи.

Тема 9. Критичні явища.

Розділ 6 Поверхневі явища

Тема 10. Поверхневий натяг і тиск.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. – 320 с.
2. Константінов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001 – 368 с.
3. Мороз І.О. Основи термодинаміки. Навчальний посібник для студентів ВНЗ України. – Суми: СумДПУ ім А.С. Макаренка, 2009. – 180 с.
4. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.
5. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.
6. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.
7. В'яла А., Благовістна В., Мєняйлов С. Фізика. Модуль «Молекулярна фізика й термодинаміка». – Київ: НАУ, 2010. – 192 с.
8. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
9. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с.
10. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
11. Малишев В., Крєтов В., Гладка Т. Технічна термодинаміка та теплопередача. – Київ: Ун-т»Україна», 2015. - 258 с.
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.
13. Сборник задач по общему курсу физики. В 5 кн. Кн.II. Термодинамика и молекулярная физика. /Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д.В., Яковлев И.А. Под ред. Сивухина Д.В. – 5-е изд., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 176 с. https://drive.google.com/file/d/17QgkrvPn2srp1nLV-zhq8LMMFLtF7pf8/view
14. Задачи по термодинамике и статистической физике / Под ред. П. Ландсберга. М.: Мир, 1074. – 640 с.

Допоміжна

1. Беляев Н.М. Термодинамика. Киев: Вища школа, 1987. – 344 с.
2. Хейвуд Р. Термодинамика неравновесных процессов. – М.: Мир, 1983. – 492 с.
3. Сычев В.В. Дифференциальные уравнения термодинамики. – Изд-е 2-е, перераб. – М.: Высшая школа, 1991. – 224 с.
4. Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970. – 304 с.
5. Ферми Э. Термодинамика. – М.: Мир книг, 1973. – 164 с.
6. Шамбадаль П. Развитик и приложения понятия энтропии. – Пер. с франц. – М.: Наука, 1967. – 280 с.
7. Беккер Р. Теория теплоты. – Пер. с немецк. – М. Энергия, 1974. – 504 с.
8. Куліш В.В., Соловйов А.М., Кузнецова О.Я., Кулішенко В.М. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система. Навч. посібник. – у 2 ч. – Ч. 1. – К.: НАУ, 2004. – 456 с.
9. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. – навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. – 250 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	***Назва теми лекції та перелік основних питань*** *(перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)*
1.	***Базові поняття і положення 1.*** *Історична довідка розвитку термодинаміки. Основні поняття термодинаміки (термодинамічна система; параметри стану і параметри процесу; інтенсивні та екстенсивні термодинамічні параметри, зовнішні і внутрішні параметри; внутрішня енергія; робота та теплота). Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу.* *Література* 1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. – 320 с. 2. Константінов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001 – 368 с. 3. Малишев В., Крєтов В., Гладка Т. Технічна термодинаміка та теплопередача. – Київ: Ун-т»Україна», 2015. - 258 с. 4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 5. Мороз І.О. Основи термодинаміки. Навчальний посібник для студентів ВНЗ України. – Суми: СумДПУ ім А.С. Макаренка, 2009. – 180 с. *Завдання СРА* *Основні характеристики термодинаміки*
2.	***Базові поняття і положення 2.*** *Термодинамічна рівновага. Умова виникнення процесів в термодинамічній системі (Загальний принцип термодинаміки, нульовий принцип термодинаміки) Поняття температури. Термометрія. Ідеально-газова шкала температур. Квазістатичні процеси. Термодинамічне співвідношення для квазістатичних процесів.*

	Література 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 2. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* *Взаємозв'язок між коефіцієнтом теплового розширення, термічним коефіцієнтом тиску і модулем всебічного стиснення*
3.	***Перший принцип термодинаміки.*** *Дві форми запису першого принципу термодинаміки. Закон Гесса. Зворотні та незворотні процеси.* *Література* 1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. – 320 с. 2. Константінов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001 – 368 с. 3. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с. *Завдання СРА* *Шляхи відкриття першого принципу термодинаміки*
4.	***Другий принцип термодинаміки 1.*** *Різні підходи до обґрунтування другого принципу термодинаміки (вихідні фізичні та аналітичні формулювання). Поняття теплової машини. Вихідні фізичні формулювання другого принципу (постулати Кельвіна та Клаузіуса). Еквівалентність постулатів Кельвіна та Клаузіуса.* *Література* 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. *Завдання СРА* *Принципи адіабатної недосяжності*.
5	***Другий принцип термодинаміки 2.*** *Цикл Карно. Перша теорема Карно. Термодинамічна шкала температур. Абсолютний нуль температур. Від'ємні температури. Тотожність ідеально-газової та термодинамічної шкали температур.* *Література* 1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. 2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. 3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. *Завдання СРА* *Умови роботи ідеальної машини Карно*

6.	***Другий принцип термодинаміки 3.*** *Рівність Клаузіуса. Ентропія. Ентропія як повний диференціал. Аналітичний вираз другого принципу термодинаміки для оборотних процесів. Ентропія ідеального газу.* *Література* 1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. 2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. 3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. *Завдання СРА* Закон зростання ентропії.
7.	***Другий принцип термодинаміки 4.*** *Друга теорема Карно. Нерівність Клаузіуса. Аналітичний вираз другого принципу термодинаміки для необоротних процесів. Межі застосування. Теорія теплової смерті всесвіту. Другий принцип і різні аспекти асиметрії природи* *Література* 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 2. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с. 3. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. *Завдання СРА* Узагальнення поняття ентропії на нерівноважні стани.
8.	***Ентропія. Третій принцип термодинаміки*** *Ентропія за Больцманим. Парадокс Гіббса. Третій принцип термодинаміки* *Література* 1. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. 2. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с. 3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. *Завдання СРА* Основні наслідки третього принципу термодинаміки.
9.	***Базові поняття та положення термодинаміки складних систем 1*** *Термодинамічний ступінь свободи. Кількість дії. Узагальнені координати стану системи. Узагальнені потенціали. Рівняння стану. Умови стійкості рівноважного стану.* *Література* 1. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.

	2. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* Критерії наявності взаємодії системи з навколишнім середовищем
10.	***Базові поняття та положення термодинаміки складних систем 2*** *Узагальнення поняття роботи. Кількісна міра впливів. Рівняння першого принципу термодинаміки для складних систем. Рівноважні і нерівноважні взаємодії.* *Література* 1. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с. 2. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* Основні особливості нерівноважної взаємодії.
11.	***Особливості характеристичних функцій та засади побудови методу характеристичних функцій***. *Основні особливості характеристичних функції. Умови спряження термодинамічної системи з навколишнім середовищем і характеристичні функції. Засади побудови методу характеристичних функцій. Методична база методу (основне рівняння термодинаміки та перетворення Лежандра). Основні процедури реалізації методу (на прикладах внутрішньої енергії, ентальпії, вільної енергії та енергії Гіббса).* *Література* 1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с. 2. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* Рівняння Гіббса-Гельмгольдса.
12.	***Рівняння Максвелла. Характеристичні функції як критерій рівноваги та стійкості систем.*** *Диференціальні співвідношення термодинаміки (рівняння Максвелла). Характеристичні функції та термодинамічні потенціали. Умови рівноваги та стійкості термодинамічних систем. Характеристичні функції як критерій рівноваги та стійкості систем.* *Література* 1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с. 2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. 3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. 4. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* Термодинамічні потенціали складних систем.
13.	***Фазові переходи***

	Термодинамічні фази. Умови фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Класифікація фазових переходів. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Фазові діаграми та їх характерні точки. *Література* 1. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с. 2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. 3. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с. *Завдання СРА* Особливості фазових переходів І роду на прикладі процесу кипіння.
14.	***Критичні явища.*** *Властивості речовини в критичному стані. Визначення критичних параметрів. Неперервність газоподібного і рідкого стану речовини. Закон відповідних станів.* *Література* 1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с. 2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 3. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с. *Завдання СРА* Закон відповідних станів
15.	***Поверхневий натяг і тиск.*** *Поверхневий натяг рідини. Коефіцієнт поверхневого натягу. Формула Лапласа. Температурна залежність коефіцієнта поверхневого натягу.* *Література* 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. 3. В'яла А., Благовістна В., Мєняйлов С. Фізика. Модуль «Молекулярна фізика й термодинаміка». – Київ: НАУ, 2010. – 192 с. *Завдання СРА* Поверхневий натяг і утворення нових фаз.
16.	***Капілярні явища.*** *Явища змочування. Кут змочування. Формула Жюрена (капілярні явища). Тиск насиченої пари над викривленою поверхнею. Формула Вільяма Томпсона.* *Література* 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с. 2. В'яла А., Благовістна В., Мєняйлов С. Фізика. Модуль «Молекулярна фізика й термодинаміка». – Київ: НАУ, 2010. – 192 с.

	Завдання СРА Механізм утворення дощу.

Назва теми практичних занять (Теми семінарів)

Основні завдання циклу практичних занять направлені на закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях і прищеплюють навички їх використання при вирішенні практичних завдань.

№ з/п	*Назва теми заняття*
1.	*Концептуально-методичний базис термодинаміки*
2.	*Основні принципи термодинаміки*
3.	*Складні термодинамічні системи*
4.	*Метод характеристичних функцій.*
5.	*Термодинамічні потенціали*
6.	*Фазові переходи і критичні явища*
7.	*Поверхневі явища*

6. Самостійна робота аспіранта

Завданням самостійної роботи аспірантів є навчити аспірантів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його.
На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:
• обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
• робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
• підготовка до складання екзамену.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:
●відвідування лекцій та семінарських занять
●активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота
●дотримання стандартів академічної доброчесності.
●Відвідування лекцій та семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять (як лекцій, так і семінарів);
● Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач тощо).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:
Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття
Семестровий контроль: екзамен
Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.

Поточний контроль: опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів – 20.
Контроль на семінарських заняттях. Максимальна кількість балів – 40.
Семестровий контроль.: Екзамен – 40 балів.
Умови допуску до екзамену - більше 30 балів.
Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*
- *інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

Професор, доктор технічних наук **Н.М. Фіалко**

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України_____ (протокол № 12 від 22.07.22)