



ТЕОРІЯ ПЕРЕНОСУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОНП Теплоенергетика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна, вечірня)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний
Обсяг дисципліни	6,5 кредити ЕКТС/195 год: лекційні заняття – 54 год., практичні заняття – 18 год, самостійна робота – 123 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / МКР
Розклад занять	2.0 год лекційних занять та 0,5 годин практичних занять на тиждень
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., n.sorokova@ukr.net Практичні: д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., n.sorokova@ukr.net
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4434

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Теорія переносу» відноситься до циклу дисциплін для здобуття наукових компетентностей здобувачів ступеня доктора філософії (PhD) теплоенергетичних спеціальностей.

Теорія переносу енергії, імпульсу, маси речовини і поля – один з найважливіших напрямків сучасної науки. Вивчення процесів тепломасообміну і фазових перетворень має велике значення для енергетики, машинобудування та більшості галузей промисловості.

Предметом навчальної дисципліни є фундаментальні знання про положення та розвиток теорії явищ переносу від експериментально підтверджених гіпотез Фур'є, Фіка і Ньютона, що лежать в основі класичної теорії переносу субстанції, методів феноменологічного дослідження процесів переносу Онзагера і де Грота, що названі термодинамікою необоротних процесів, та сучасної молекулярно-радіаційної теорії тепломасопереносу Нікітенко М.І., яка на відміну від феноменологічної теорії дозволяє отримати динамічні і кінетичні характеристики речовини.

Метою навчальної дисципліни є підготовка фахівців вищої кваліфікації для теплоенергетичної та суміжних галузей промисловості, здатних до самостійної науково-дослідної і науково-інноваційної діяльності та комплексного і системного аналізу проблем енергетичного машинобудування; формування у здобувачів загальнокультурних і професійних здатностей (компетентностей), таких як

- Здатність до критичного аналізу та синтезу, абстрактного мислення та генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань (ЗК 1);
- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з теплоенергетики та суміжних галузей (ФК 1);
- здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень (ФК 4);

- здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації (ФК 5);
- здатність розуміти сучасні проблеми науково-технічного розвитку енергетики, знати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження (ФК 6).

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти набудуть таких загальних програмних результатів навчання:

- мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій (ПРН 1);
- вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях (ПРН 2);
- розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних напрямів (ПРН 4);
- планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми (ПРН 5);
- розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми теплоенергетики з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів (ПРН 6);
- застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи (ПРН 1).

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

Навчальна дисципліна є вибірковою для підготовки докторів філософії і передбачає освітньо-наукову підготовку першого (бакалаврського) і другого (магістерського) рівня студентів закладу вищої освіти з таких предметів як математика, фізика, теоретична механіка, термодинаміка, гідрогазодинаміка, тепломасообмін і математичне моделювання теплообмінних процесів, підсумовуючи та узагальнюючи їх. Крім того пререквізитами даної дисципліни є предмети «Методи інтенсифікації процесів тепло- і масообміну в гетерогенних системах», «особливості термодинаміки складних систем», «новітні тенденції розвитку та технології в енергетичній галузі», «наукові дослідження у сучасних програмних середовищах та 3-D моделювання» третього рівня (доктор філософії).

Постреквізитами дисципліни є підготовка дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Розвиток феноменологічної теорії процесів переносу.

Тема 1.1. Основні положення класичної теорії переносу.

Тема 1.2. Основні положення феноменологічної теорії переносу.

РОЗДІЛ 2. Основи молекулярно-радіаційної теорії процесів переносу.

Тема 2.1. Молекулярно-радіаційна теорія теплопереносу.

Тема 2.2. Молекулярно-радіаційна теорія процесів дифузії і теплопровідності.

Тема 2.3. Молекулярно-радіаційна теорія випаровування.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література, яку треба використовувати для опанування дисципліни, опрацьовується самостійно для поглиблення уявлень про коло задач, що можуть бути вирішені на основі теорій, що викладаються, та для підготовки тем, що винесені для самостійного опрацювання. Вона представляє собою переважно оригінальні публікації вчених-авторів положень вивчаємих теорій, зокрема феноменологічної та молекулярно-радіаційної теорій переносу. Для виконання модульної контрольної роботи, підготовки

реферату, доповідей, презентацій та складання іспиту пропонується використовувати також додаткову літературу та інтернет-ресурси.

Базова література

1. Якібчук П.М., Клим М.М. Молекулярна фізика. Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2013. – 584 с. https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/yakibchuk_molek_fiz.pdf

Додаткова література:

2. Конспект лекцій з дисципліни «Термодинаміка та статистична фізика» для підготовки бакалаврів напрямку 6.040203 «Фізика» / Укладач: к.фіз.-мат.н., доц. Таран В.Г., Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2016. - 131 с. <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/28/6-32-kl17.pdf>
3. Гроот С. де, Мазур П. Неравновесная термодинамика. Перевод с английского В. Т. Хозяинова. Под редакцией Д. Н. Зубарева. — М: Мир, 1964. — 456 с.
4. L. Onsager, Reciprocal relations in irreversible processes. I Phys. Rev. **37** (1931). P. 405 – 426. <https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.37.405>
5. L. Onsager. Reciprocal relations in irreversible processes. II., Phys. Rev. **38** (1931) 2265 <https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.38.2265>
6. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н., Кольчик Ю.Н. Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена. Киев: Наукова думка, 2014. 744 с. <http://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/12/nikitenko.pdf>
7. Агеев Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: Учебное издание для студентов, аспирантов и преподавателей химических специальностей. - М.: Эдиториал УРСС, 2001.-136 с. <http://eb.arsu.kz:81/pdf/foreign/n2701201612.pdf>
8. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем, т.1. М.: МГУ, 1991. <https://studizba.com/files/show/djvu/3417-2-kvasnikov-i-a-termodynamika-i.html>
9. Гуров К.П. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов. М.: “Наука”, 1978.-128 с. [http://www.imash.ru/netcat_files/file/BIBLIO/FIZIKA/%D0%93%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%9A%D0%9F%D0%20-%D0%A4%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%D0%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%20%D0%BD%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BC%D1%8B%D1%85%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B\)%D0%20-201978.pdf](http://www.imash.ru/netcat_files/file/BIBLIO/FIZIKA/%D0%93%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%9A%D0%9F%D0%20-%D0%A4%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%D0%20%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%20%D0%BD%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BC%D1%8B%D1%85%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B)%D0%20-201978.pdf)
10. И. Дьярмати. Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы. М.: Мир, 1974. – 304 с. <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Dyarmati1974ru.pdf>
11. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ./ Общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича и Ю. В. Сачкова. — М.: Прогресс, 1986.—432 с. http://yanko.lib.ru/books/betweenall/prigogine-stengers_ru.htm
12. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. — М.: “Наука”, 1983, - 416 с.
13. Булатов Н.К., Лундин А.Б. Термодинамика необратимых физико-химических процессов. — М.: “Химия”, 1984. — 334с.
14. Сорокова Н.М. Математичне моделювання динаміки тепломасопереносу в процесах сорбції і сушіння в апаратах періодичної і безперервної дії: дис. докт. техн. Наук: 05.14.06 / Сорокова Наталія Миколаївна. – К., 2017. – 326 с. http://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/11/diser_sorocovaja.pdf

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекція 1. Предмет і задачі курсу «Теорія переносу».

Заплановано: Місце теорії переносу в сучасній науці, техніці і промисловості. Існуючі підходи при вивченні тепломасообмінних процесів: класична теорія; молекулярно-кінетичний і статистичний підходи; феноменологічний підхід (термодинаміка нерівноважних процесів); молекулярно-радіаційна теорія. Рішення задач динаміки переносу субстанції - дослідницький процес, що забезпечує працездатність і

надійність об'єктів нової техніки та ефективність промислових технологій. Існуючі методи дослідження динаміки процесів переносу: експериментальні, аналітичні, чисельні.

Тема для самостійної роботи: Другий закон термодинаміки: поняття про ентропію, статистична термодинаміка і фізичний зміст ентропії, зміна ентропії як критерій самочинного протікання процесу в ізольованій системі, абсолютне значення ентропії.

Література : 1 с. 228-231, 249 – 255, 263 – 267, 271 – 277; 2 с. 24 - 29

Лекція 2. Основні положення класичної теорії явищ переносу.

Поняття субстанції. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона. Проходження і опис нерівноважних процесів в розріджених газах. Узагальнене рівняння переносу. Закони Фур'є, Фіка, Ньютона. Фізика процесів переносу у вакуумі. Поняття потоку і джерела субстанції. Універсальний характер класичної теорії явищ переносу.

Тема для самостійної роботи: Перехресні ефекти Дюфура, Соре, Зебека, Пельє.

Література: 7с. 38-42.

Лекція 3. Основні положення феноменологічної теорії переносу субстанції.

Рівноважні і нерівноважні стани термодинамічної системи. Рівноважні і нерівноважні процеси. Принцип локальної рівноваги. Типи нерівноважних систем. Виробництво ентропії, локальні функції дисипації і швидкості виробництва ентропії, потоки субстанції що переносяться.

Тема для самостійної роботи: Дрібномасштабні і великомасштабні флуктуації. Порушення другого начала термодинаміки при розгляді нерівноважних процесів.

Література: 9. с.7-19; 11. с. 190.

Лекція 4. Теорія необоротних процесів Л. Онсагера. Теореми Онсагера.

Залучення ентропії для опису термодинамічного стану адіабатно ізольованої системи. Поняття термодинамічної рухомої сили та потоки субстанції по Онсагеру. I теорема Онсагера. Вираз для швидкості виникнення ентропії. Термодинамічні сили і пов'язані з ними потоки для різних видів субстанції. II теорема Онсагера.

Тема для самостійної роботи: Взаємні відношення в необоротних процесах. Теплопровідність і флуктуації розподілу енергії в кристалах

Література: 4. с. 413 – 419.

Лекція 5. Диференційне рівняння переносу субстанції.

Основи теорії векторного поля Отримання диференційного рівняння переносу субстанції (маси, енергії, імпульсу) Умова. Рівняння переносу маси речовини. Рівняння переносу енергії.

Тема для самостійної роботи: Диференційні рівняння переносу імпульсу.

Література: 3. с. 19-26.

Практичне заняття 1. Чисельні різницеві методи рішення рівнянь молекулярного і молекулярно-конвективного переносу субстанції.

Побудова явної і неявної схем за методом кінцевих різниць. Комбіновані різницеві схеми. Трьохшарова явна і трьохшарова явна перерахункова різницеві схеми Нікітенко М.І.

Завдання для самостійної роботи: Побудова кінцево-різничевої апроксимації рівнянь переносу маси і імпульсу.

Література: 6 с. 193-201.

Лекція 6. Диференційне рівняння переносу субстанції для систем, що деформуються.

Основи теорії взаємопов'язаних процесів тепломасопереносу та деформування твердих тіл при наявності фазових і хімічних перетворень. Отримання рівняння переносу субстанції для деформованих систем. Рівняння масопереносу для деформованих систем. Застосування рівняння переносу субстанції для деформуємих систем.

Тема для самостійної роботи: Визначення деформації плоского і циліндричного тіл.

Література: 6 с. 381-385.

Лекція 7. Рівняння стану багатокомпонентної системи при проходженні процесів тепломасопереносу і пружного деформування.

Отримання системи рівнянь, що характеризує стан ізотропної багатокомпонентної системи при проходженні процесів тепломасопереносу і пружнопластичного деформування.

Тема для самостійної роботи: Класифікація задач термоконцентраційного деформування. Пластинчасті деформації бігітокомпонентних систем.

Література 6. с. 351-356.

Лекція 8. Диференційні рівняння переносу імпульсу та енергії у відкритих системах, що деформуються.

Отримання диференційних рівнянь переносу імпульсу та енергії на базі диференційного рівняння переносу субстанції для систем, що деформуються та рівняння стану деформуємої багатокомпонентної системи. Визначення відносної об'ємної деформації пористих тіл.

Тема для самостійної роботи: Деформування анізотропних систем.

Література 6. с. 385-392.

Лекція 9. Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Молекулярно-радіаційний механізм тепломасопереносу.

Припущення нескінченно великої швидкості розповсюдження теплових збурень при отриманні рівняння теплопровідності Фур'є. Залежність між рухомими силами і потокам при високоінтенсивних процесах переносу. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео. Радіаційний механізм теплопровідності. Носії субстанцій.

Тема для самостійної роботи: Енергетичний рівень частинок тіла.

Література: 1. с. 299 – 302.

Лекція 10. Рівняння балансу енергії для частинки тіла та інтегродиференційне рівняння енергії. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок Нікітенко М.І.

Отримання рівняння балансу енергії для частинки тіла. Закон *випускання енергії частинками речовини* Нікітенко М.І. Коефіцієнт випускання енергії ϵ . Інтегро-диференціальне рівняння переносу енергії матеріальними носіями. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок

Тема для самостійної роботи: Функції розподілу часток по енергіях: Бозе–Ейнштейна, Фермі–Дірака, Максвелла–Больцмана.

Література: 1 с.120-127.

Лекція 11. Механізм взаємодії частинки речовини з полем випромінювання.

Пояснення механізму взаємодії частинки речовини з полем випромінювання. Кінетичне рівняння для функції розподілу частинок по енергіях Нікітенко М.І., що на межі переходить в закон розподілу Максвелла–Больцмана. Функція розподілу частинок по енергіях в активаційних процесах.

Тема для самостійної роботи: Функція розподілу по енергіях для систем зі змінюючимся числом частинок.

Література: 6 с.33-36.

Лекція 12. Молекулярно - радіаційна теорія дифузійних процесів

Існуючі підходи до розрахунку коефіцієнтів дифузії в конденсованих тілах. Їх недоліки. Механізми дифузійного переносу в твердих тілах. Теорія дифузії в рідких середовищах. Дифузія внаслідок активізації ступенів вільності атомів. Формула Нікітенко М.І. для коефіцієнта дифузії в конденсованих середовищах.

Тема для самостійної роботи: Дифузія внаслідок активізації атомів.

Література: 6 с. 53-56.

Практичне заняття 2. Визначення коефіцієнтів дифузії і термодифузії вуглецю в армко-залізі в залежності від температури. Узагальнення отриманих результатів та їх аналіз.

Завдання для самостійної роботи: Метод визначення коефіцієнта дифузії зв'язаної речовини в пористих системах шляхом рішення зворотної задачі дифузії.

Література: 6 с. 604-613.

Лекція 13. Молекулярно-радіаційна теорія випаровування

Недоліки існуючого феноменологічного підходу опису процесів випаровування. Інтенсивність випаровування через пласку поверхню конденсованого тіла. Максимальна відстань частинки від вільної поверхні конденсованого тіла, при якій вона може від нього відірватися. Густина потоку частинок, що випаровуються. Густина потоку частинок що конденсуються. Формули Нікітенко М.І. для: тиску насичення, рівноважної товщини шару конденсату, інтенсивності фазових перетворень.

Тема для самостійної роботи: Інтенсивність випаровування через криволінійну опуклу поверхню. Інтенсивність випаровування через криволінійну вигнуту поверхню.

Література: 6 с. 94-102.

Лекція 14. Інтенсивність фазових перетворень в пористих системах.

Механізм заповнення і звільнення гофрованих пор. Рівноважний вологовміст пористих систем. Ізотерми сорбції-десорбції. Інтенсивність фазових перетворень в об'ємі пористого тіла. Питома площа контакту рідкої і газової фаз в порах тіла.

Тема для самостійної роботи: Основні фактори, що впливають на динаміку процесів переносу в капілярно-пористих системах. Механізми масопереносу в пористих системах.

Література: 14 с. 49-74.

Практичне заняття 3. Тепломасоперенос в капілярно-пористих системах.

Недоліки математичної моделі Ликова А.В. Математична модель дифузійно-фільтраційного тепломасопереносу в капілярно-пористих матеріалах. Чисельний метод розрахунку на базі явної трьохшарової перерахункової різницевої схеми Нікітенко М.І. Математична модель дифузійного тепломасопереносу в капілярно-пористих матеріалах. Чисельний метод розрахунку на базі явної трьохшарової різницевої схеми.

Завдання для самостійної роботи: Розрахунок швидкостей фільтрації компонентів зв'язаної речовини, теплоємності і теплопровідності пористих систем.

Література: 14 с. 102-104.

Практичне заняття 4. Тепломасоперенос в колоїдних капілярно-пористих системах.

Математична модель дифузійного тепломасопереносу в колоїдних капілярно-пористих матеріалах. Чисельний метод розрахунку на базі явної трьохшарової різницевої схеми і процедури розщеплення алгоритму по фізичних факторах Математична модель дифузійно-фільтраційного тепломасопереносу в колоїдних капілярно-пористих матеріалах. Чисельний метод розрахунку на базі явної трьохшарової перерахункової різницевої схеми і процедури розщеплення алгоритму по фізичних факторах.

Завдання для самостійної роботи: Залучення математичного моделювання для оптимізації технологічних процесів і конструктивних характеристик теплообмінних поверхонь.

Література: 14 с. 203-204; с. 273-280.

Індивідуальні заняття.

Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.

Література: 2 с. 41-49.

Порядок величини часу установа локальної рівноваги. Що називають фізично нескінченно малою величиною? Порядок величини часу встановлення локального рівноваги. Область застосовності гіпотези про локальному рівновазі? Які типи нерівноважних систем вивчає термодинаміка. Поняття узагальнена координата, узагальнена сила, узагальнена робота, корисна робота.

Література: 7 с. 21-26.

Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.

Література: 3. с. 125 – 146.

Принцип Кюрі. Його роль в нерівноважній термодинаміці.

Література: 7 с. 35-38.

Приклади використання теорії Онзагера.

Література: 9 с. 63-84.

Теорія теплоємності конденсованих тіл: Основні положення теорій теплоємності Ейнштейна і Дебая. Теорія теплоємності, що базується на законі інтенсивності спектрального випромінювання Нікітенко М.І.

Література: 6 с. 56-61.

Теорія теплопровідності в конденсованих середовищах.

Фотонний механізм теплопровідності. Дифузійний механізм теплопровідності. Механізм електронної теплопровідності.

Література: 6 с. 61-76.

Інтегродиференційне рівняння теплопровідності в середовищі випромінюючих частинок.

Література: 6 с. 76 - 82.

Тепловий потік при наявності стрибка температури. Інтегродиференційне рівняння розповсюдження тепла в рухомому середовищі.

Література: 6 с. 82 - 86.

Обговорення тем, винесених на індивідуальні заняття проводиться на запланованих згідно з робочого навчального плану консультаціях.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота передбачає підготовку до лекцій та практичних занять, самоконтроль набутих знань, опрацювання джерел із списку літератури по темам, що винесені на самостійне та індивідуальне опрацювання, підготовка до модульної контрольної роботи (МКР), підготовка до екзамену.

Перелік питань для підготовки до МКР

1. Основні положення класичної теорії явищ переносу. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона.
2. Поняття субстанції. Поняття потоку і джерела субстанції.
3. Зміна ентропії як критерій самочинного протікання процесу в ізольованій системі, абсолютне значення ентропії.
4. Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.
5. Основні положення феноменологічної теорії переносу субстанції. Принцип локальної рівноваги.
6. Теорія необоротних процесів Л. Онсагера. Залучення ентропії для опису термодинамічного стану адіабатно ізольованої системи..
7. Поняття термодинамічної рухомої сили та потоку субстанції (по Онсагеру). I теорема Онсагера.
8. Вираз для швидкості виникнення ентропії. Інші вирази для швидкості виникнення ентропії, які відповідають різним визначенням потоку теплоти.
9. Термодинамічні сили і пов'язані з ними потоки для різних видів субстанції. II теорема Онсагера.
10. Перехресні явища. Ефекти Зеебека, Пельтьє, Соре, Дюфура.
11. Формалізм і прикладне значення феноменологічної теорії переносу субстанції.
12. Дрібномасштабні і великомасштабні флуктуації.
13. Порухення другого начала термодинаміки при розгляді нерівноважних процесів.
14. Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.
15. Принцип Кюрі. Його роль в нерівноважній термодинаміці?
14. Диференційне рівняння переносу субстанції Умова. Його отримання.
16. Диференційні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу.
17. Диференційне рівняння переносу субстанції для деформуваних систем.
18. Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео.
19. Рівняння дифузії Фіка і теплопровідності Фур'є. Коефіцієнти дифузії і теплопровідності в газах, рідких і твердих тілах.

Перелік питань для підготовки до екзамену.

1. Основні положення класичної теорії явищ переносу. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона.
2. Поняття субстанції. Поняття потоку і джерела субстанції.
3. Зміна ентропії як критерій самочинного протікання процесу в ізольованій системі, абсолютне значення ентропії.
4. Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.
5. Основні положення феноменологічної теорії переносу субстанції. Принцип локальної рівноваги.
6. Теорія необоротних процесів Л. Онсагера. Залучення ентропії для опису термодинамічного стану адіабатно ізольованої системи. Поняття термодинамічної рухомої сили та потоку субстанції (по Онсагеру).
7. I теорема Онсагера.
8. Вираз для швидкості виникнення ентропії. Інші вирази для швидкості виникнення ентропії, які відповідають різним визначенням потоку теплоти.
9. Термодинамічні сили і пов'язані з ними потоки для різних видів субстанції. II теорема Онсагера.
10. Перехресні явища. Ефекти Зеебека, Пельтьє, Соре, Дюфура.
11. Формалізм і прикладне значення феноменологічної теорії переносу субстанції.
12. Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.
13. Диференційне рівняння переносу субстанції Умова. Його отримання.
14. Диференційні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу.
15. Диференційне рівняння переносу субстанції для деформуваних систем.
16. Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео.
17. Рівняння дифузії Фіка і теплопровідності Фур'є. Коефіцієнти дифузії і теплопровідності в газах, рідких і твердих тілах.

18. Молекулярно-радіаційний механізм тепломасопереносу.
19. Носії субстанцій. Рівняння балансу енергії для частинки тіла.
20. Інтегродиференційне рівняння переносу енергії матеріальними носіями.
21. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок.
22. Кінетичне рівняння для розподілу частинок по енергіях. Функція розподілу частинок по енергіях в активаційних процесах.
23. Інтенсивність спектрального випромінювання абсолютно чорного тіла.
24. Дифузійний перенос і коефіцієнти дифузії в конденсованих тілах.
25. Механізми дифузійного переносу в твердих тілах.
26. Механізм дифузії в рідких середовищах.
27. Дифузія внаслідок активізації ступенів вільності атомів.
28. Дифузія внаслідок активізації атомів.
29. Теорія теплопровідності в конденсованих середовищах.
30. Фотонний механізм теплопровідності.
31. Дифузійний механізм теплопровідності.
32. Механізм електронної теплопровідності.
33. Інтегродиференційне рівняння теплопровідності в середовищі випромінюючих частинок.
34. Тепловий потік при наявності стрибка температури.
35. Інтегродиференційне рівняння розповсюдження тепла в рухомому середовищі.
36. Інтенсивність випаровування через пласку поверхню конденсованого тіла.
37. Максимальна відстань частинки від вільної поверхні конденсованого тіла, при якій вона може від нього відірватися.
38. Формули для тиску насичення та рівноважної товщини шару конденсату.
39. Формула для інтенсивності фазових перетворень на поверхні конденсованого тіла.
40. Механізм заповнення і звільнення гофрованих пор.
42. Рівноважний вологовміст пористих систем. Ізотерми сорбції-десорбції.
43. Інтенсивність випаровування в об'ємі пористого тіла. і осушення внутрішньої випаровування в пористих системах.
44. Питома площа контакту рідкої і газової фаз в порах тіла.
45. Основні фактори, що впливають на динаміку процесів переносу в капілярно-пористих системах.
46. Механізми масопереносу в пористих системах.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, поставлених перед аспірантом, складається з:

- оцінювання активності у обговоренні питань теми на аудиторних заняттях;
- виконання МКР, реферату згідно з вимогами та критеріями оцінювання.

Слід дотримуватися правил відвідування занять.

На заняттях викладається теоретичний матеріал, надаються методичні рекомендації та розвиваються навички, необхідні для виконання контрольних завдань. Тому відвідування впливає на результати аудиторної і самостійної роботи аспіранта, підготовку до контрольних заходів.

Вагома частина рейтингу аспіранта формується за рахунок самостійної роботи (виконання МКР або реферату), активної участі в роботі на семінарських заняттях.

У разі виявлення академічної недобросовісності у виконанні модульної контрольної роботи – результати контрольного заходу не враховуються.

Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Реферат проходить перевірку на ознаки плагіату.

Заохочувальні та штрафні бали

Заохочувальні бали

Написання тез, статті, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни + 5 бали

Написання проблемної доповіді за тематикою СРС + 5 балів

Штрафні бали

Невчасна підготовка конспекту індивідуальних завдань – 5 балів

Невчасне виконання МКР (на не запланованому занятті) – 5 балів

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

PCO за освітнім компонентом має **стартову (тах 50 балів)** та **екзаменаційну (тах 50 балів)** складові.

Стартова складова: експрес-опитування на лекціях (13 лекцій), участь у семінарських заняттях (4 заняття), підготовка конспекту тем індивідуальних занять та обговорення матеріалу на запланованих консультаціях.

Екзаменаційна складова: відповіді на екзамені.

Аудиторні заняття: За відповідь на аудиторному занятті можна отримати 5 балів (тах 10 балів). За участь у обговоренні теми та доповнення можна отримати 5 балів (тах 15 балів). Всього за роботу на аудиторних заняттях можна отримати тах 25 балів.

Індивідуальні заняття:

25...24 бали – теми пророблено у повному обсязі, матеріал викладено логічно з відповідними висновками, аспірант впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання;

23...19 бал – теми пророблено у повному обсязі з незначними неточностями, але в цілому матеріал викладено логічно з відповідними висновками, аспірант майже впевнено відповідає на поставлені запитання;

18...15 балів – теми пророблено у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, матеріал викладено здебільшого логічно, з нечітко сформульованими висновками, аспірант не завжди дає вичерпні відповіді на запитання;

0 балів – теми не пророблено взагалі, аспірант не може відповісти на жодне поставлене запитання.

Модульна контрольна робота (МКР)

Максимальна кількість балів за МКР 10 балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання;

8...9 балів — відповідь має несуттєві помилки;

5...7 бали — неповна відповідь;

0...4 балів — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

Умови допуску до екзамену: семестровий рейтинг не менше 25 балів.

Екзамен (тах 50 балів)

Екзаменаційний білет складається з 3-х питань, за кожне з яких можна отримати 15 балів і 5 балів додаткове питання:

15...14 балів – повна правильна відповідь на запитання або не менше 90% необхідної інформації;

13...11 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками/неточностями або не менше 75% необхідної інформації;

10...9 балів – майже повна відповідь з незначними помилками/неточностями або не менше 60% необхідної інформації;

0 балів – відповідь відсутня/неправильна або менше 60% необхідної інформації.

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)

Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі zoom).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професор, д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М.

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15 від 15.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 25.06.2020 р.)