

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
“ *Вересень* ” _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ 11.1 «Фізика тепломасообміну»

Рівень вищої освіти	перший (освітньо-професійний)
Галузь знань	10 - Природничі науки
Спеціальність	104 – Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія

ОНУ
Одеса
2022

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 3 годин – 90 змістовних модулів - 2	Галузь знань 10. Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: Перший (освітньо-професійний)	Обов'язкова дисципліна
		Рік підготовки:
		4-й
		Семестр
		7-й
		Лекції
		20 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
		24 год.
		Самостійна робота
		46 год.
Форма підсумкового контролю: залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою дисципліни є оволодіння студентами знаннями з теорій теплопровідності, конвективного тепломасообміну, теплообміну випромінюванням, теплопередачі, тепломасообміну при фазових і хімічних перетвореннях; формування у студентів практичних навичок і умінь проведення теплофізичного експерименту.

Задачі дисципліни:

- опанування теплофізичною термінологією, основними положеннями теорій переносу тепла теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням;
- оволодіння методами розрахунків температурних полів в тілах різної геометричної форми при стаціонарній і нестаціонарній теплопровідності, теплопередачі;
- отримання знань щодо протікання процесів тепло масообміну при фазових переходах та хімічних перетвореннях;
- оволодіння методами визначення теплофізичних властивостей речовин та коефіцієнтів тепло- масопереносу;
- формування умінь та навичок проведення теплофізичного експерименту, а саме планування експериментальних робіт, виконання вимірів та розрахунків, проведення аналізу отриманих результатів, формулювання обґрунтованих висновків.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- основи теорій теплопровідності, конвективного теплообміну, теплообміну випромінюванням, теплопередачі між тілами та оточуючим середовищем;
- методи визначення коефіцієнтів теплопровідності, тепловіддачі, теплопередачі, температуропровідності, пірометричних температур;
- основи теорії тепло –і масообміну при фазових та хімічних перетвореннях;
- взаємозв'язок теплообміну та масообміну при описанні теплофізичних явищ.

вміти:

- користуватися теоретичними положеннями при вирішенні задач теплопровідності в тілах різної геометричної форми та теплообміну тіл з навколишнім середовищем;
- застосовувати експериментальні методи для визначення коефіцієнтів теплопровідності, тепловіддачі, температуропровідності, дифузії, кінетичних констант фазових переходів.
- користуватися приладами для вимірювання теплофізичних властивостей речовин, температур та температурних полів;
- планувати і виконувати теплофізичні вимірювання, обробляти результати досліджень, розрахувати похибки вимірювань, робити обґрунтовані висновки.

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

<http://onu.edu.ua/uk/geninfo/official-documents>

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

K08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Спеціальні (фахові) компетентності:

K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

K18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

K19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

K20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

K23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

K25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати (**результати навчання**):

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.

ПР07. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПР12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.

ПР14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Теплопровідність та теплопередача в тілах різної геометричної форми

Тема 1. Диференціальне рівняння теплопровідності. Умови однозначності.

1.1. Температурне поле. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності, фізичний зміст. Коефіцієнт теплопровідності газів, рідин, твердих тіл, будівельних та ізоляційних матеріалів. Коефіцієнт теплопровідності та закон Фур'є для анізотропних середовищ.

1.2. Диференціальне рівняння теплопровідності. Коефіцієнт температуропровідності. Фізичний зміст, одиниці вимірювання.

1.3. Диференціальне рівняння теплопровідності для анізотропних середовищ.

1.4. Диференціальне рівняння теплопровідності для швидкоплинних процесів (рівняння гіперболічного типу). Час релаксації теплового процесу.

1.5. Умови однозначності. Початкові та граничні умови (крайові умови) I-IV роду. Рівняння Ньютона-Ріхмана, коефіцієнт тепловіддачі, фізичний зміст, одиниці вимірювання.

Тема 2. Стаціонарна теплопровідність в тілах різної геометричної форми. Теплопередача. Вплив внутрішніх джерел тепла

2.1. Теплопровідність і теплопередача в плоскій стінці при стаціонарному режимі без внутрішніх джерел тепла. Граничні умови 1-го і 3-го роду. Термічний опір. Теплопровідність багатошарової плоскої та циліндричної стінки. Коефіцієнти тепловіддачі і теплопередачі, фізичний зміст. Вплив температурної залежності коефіцієнта теплопровідності на розподіл температури в плоскій стінці.

2.2. Теплопровідність і теплопередача в циліндричній стінці при стаціонарному режимі і без внутрішніх джерел тепла, граничні умови 1-го і 3-го роду. Лінійна густина теплового потоку, термічний опір теплопровідності і теплопередачі. Перехід до багатошарової циліндричної стінки, визначення температур на поверхнях стінок.

2.3. Критичний діаметр циліндричної стінки. Теплова ізоляція циліндричних елементів. Умови оптимального вибору теплової ізоляції труб (матеріал для ізоляції, діаметр ізоляційного покриття).

2.4. Стаціонарна теплопровідність сферичної стінки, граничні умови 1 і 3 роду

2.5. Теплопровідність при наявності внутрішніх джерел тепла. Теплопровідність однорідної пластини та циліндричної стінки з внутрішніми джерелами тепла. Розподіл температури в плоскій та циліндричній стінках при наявності внутрішніх джерел тепла

2.6. Стаціонарна теплопровідність в стрижні, граничні умови 1 та 3 роду.

Тема 3. Нестационарна теплопровідність. Регулярний режим нагрівання і охолодження тіл.

3.1. Особливості нестационарного режиму теплопровідності. Нестационарна теплопровідність в наполовину нескінченному масиві, граничні умови 1 і 2 роду.

3.2. Нестационарні процеси теплопровідності в тонкій пластині, циліндрі та сфері (нагрівання і охолодження). Граничні умови 1-го і 2-го роду.

3.3. Регулярний тепловий режим. Темп нагрівання (охолодження). Теорема Бусінека, Кондратьєва. Визначення коефіцієнту температуропровідності тіла методом регулярного режиму .

3.4. Нестационарні методи дослідження теплофізичних властивостей речовин. Метод суперпозиції як основа для розв'язку складних задач теплопровідності.

Змістовний модуль 2. Теплообмін конвекцією та випромінюванням.

Тепломасообмін при протіканні фазових і хімічних перетворень.

Тема 4. Конвективний тепломасообмін

4.1. Основи теорії конвективного переносу тепла. Природна та вимушена конвекції. Диференційні рівняння конвективного тепломасообміну.

4.2. Температурний та гідродинамічний приграничні шарі. Розподіл швидкостей і температур у приграничному шарі на поверхні тіл, що обтікаються потоком рідини (газу).

4.3. Подоба і моделювання конвективного теплообміну. Критерії та числа подоби.

Тема 5. Теплообмін випромінюванням. Пірометрія.

5.1. Природа теплового випромінювання. Променевий потік. Густина променевого потоку. Інтенсивність випромінювання. Поглинальна, відбивальна, та пропускна властивості тіл.

5.2. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла: Стефана – Больцмана, Планка, Віна. Сіре тіло. Степень чорноти. Закони Кірхгофа, Ламберта.

5.3. Пірометрія. Умовні температури (радіаційна, яскравісна, кольорова) та їх зв'язок з термодинамічною температурою. Способи вимірювання.

Тема 6. Тепломасообмін при протіканні фазових і хімічних перетворень.

6.1. Масообмін, закони Фіка, коефіцієнт дифузії. Рівняння дифузії і нерозривності. Коефіцієнт масовіддачі. Аналогія процесів переносу маси, тепла, кількості руху.

6.2. Масообмін при випаровуванні крапель. Формула Максвелла, закон Срезневського. Теплообмін крапель при випаровуванні. Рівноважна температура випаровування.

6.3. Тепломасообмін при плавленні твердої фази в нагрітому середовищі. Визначення часу прогрівання та плавлення частинок (на прикладі магнію, парафіну).

6.4. Тепломасообмін при хімічних реакціях на поверхні твердої фази, що протікають за лінійним та параболічним законами (на прикладах частинок вуглецю, вольфраму, заліза).

4. Структура навчальної дисципліни

Назва тем	Кількість годин				
	Очна денна форма				
	Усього	у тому числі			
Лек.		Пр.	Лаб.	СР	
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1. Теплопровідність та теплопередача в тілах різної геометричної форми					
Тема 1. Диференційне рівняння теплопровідності. Умови одно	10	2		2	6

значності.					
Тема 2. Стаціонарна теплопровідність в тілах різної геометричної форми (пластина, циліндр, сфера). Теплопередача. Вплив внутрішніх джерел тепла.	18	4		4	10
Тема 3. Нестационарна теплопровідність. Регулярний режим нагрівання і охолодження тіл.	16	4		4	8
Разом за змістовим модулем 1	44	10		10	24
Змістовий модуль 2. Теплообмін конвекцією та випромінюванням. Тепломасообмін при протіканні фазових і хімічних перетворень..					
Тема 4. Конвективний тепломасообмін.	16	4		4	8
Тема 5. Теплообмін випромінюванням. Пірометрія.	14	4		4	6
Тема 6. Тепломасообмін при фазових та хімічних перетвореннях.	16	2		6	8
Разом за змістовим модулем 2	46	10		14	22
Разом, годин	90	20		24	46

5. Темі семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Темі практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Темі лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення коефіцієнту теплопровідності тіл методом плоского шару	2
2	Визначення коефіцієнту теплопровідності тіл методом Бората-Вінера	4
3	Визначення коефіцієнта теплопровідності і коефіцієнта Відемана-Франца тонких металевих дротиків	2
4	Вивчення природної конвекції та визначення коефіцієнту тепловіддачі циліндра.	4
5	Визначення коефіцієнта температуропровідності речовин методом регулярного режиму 1 роду.	2
5.	Визначення температури нагрітих тіл за допомогою яскравісного пірометра та електротермографічним методом.	4
6	Визначення швидкості випаровування крапель рідин та коефіцієнту дифузії пари	2
7	Вимірювання часу та швидкості плавлення частинок	2
8.	Вивчення високотемпературного тепломасообміну при горінні крапель	2

	рідкого палива та окисленні частинок вуглецю	
	Всього годин	24

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Коефіцієнт теплопровідності та закон Фур'є для анізотропних середовищ.	4
2	Диференціальне рівняння теплопровідності для швидкоплинних процесів Час релаксації теплового процесу..	2
3.	Стаціонарна теплопровідність стрижня з внутрішніми джерелами тепла	2
4.	Стаціонарна теплопровідність в плоскій та циліндричній стінці при врахуванні температурної залежності коефіцієнту теплопровідності	4
5.	Стаціонарна теплопровідність в сферичній стінці	2
6.	Теплопровідність при наявності внутрішніх джерел тепла	2
7.	Охолодження (нагрівання) нескінченної пластини, циліндра і кулі.	2
8.	Нестаціонарні методи дослідження теплофізичних властивостей речовин.	4
9.	Нестаціонарна теплопровідність в напівобмеженому масиві.	2
10.	Конвективний теплообмін, сили в'язкого тертя, коефіцієнти в'язкості, стиснення, температурного розширення	2
11	Рівняння енергії, руху і нерозривності	2
12.	Ламінарний та турбулентний режими течії, рівняння Рейнольдса	2
13.	Тепловіддача при вільній конвекції біля вертикальної та горизонтальної пластин	2
14.	Закони теплового випромінювання	2
15.	Теплообмін випромінюванням між тілами	2
16.	Вимірювання оптичних температур за допомогою пірометрів	2
17.	Масообмін і теплообмін краплі при випаровуванні, визначення рівноважної температури краплі	4
18.	Тепломасообмін при протіканні фазових і хімічних перетворень.	4
	Всього годин	46

9. Методи навчання

Під час викладання дисципліни використовуються методи:

- *словесні*: лекції, пояснення, бесіди, дискусії;
- *наочні*: мультимедійні презентації; ілюстрування; візуалізація, демонстрація відео-експериментів;
- *практичні*: лабораторні досліди, самостійні спостереження, робота з довідковою літературою.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання: частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується

дискусійний метод.

Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод. Самостійна робота передбачає роботу з літературними джерелами (підручниками, навчальними посібниками, методичними вказівками, електронними джерелами), а також консультації з викладачем.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Контроль здійснюється з дотриманням вимог об'єктивності, індивідуального підходу, систематичності і системності та всебічності.

Оцінювання знань за формами контролю:

- поточний контроль – усне опитування на лекціях, опитування на лабораторному занятті; оцінювання якості виконання та теоретичного осмислення лабораторних робіт (захист протоколів лабораторних робіт); оцінювання результатів самостійної роботи;
- періодичний контроль – контрольні роботи і тестування за змістовими модулями;
- підсумковий контроль: *іспит*.

1. Поточний контроль. Виконані лабораторні роботи оформляються здобувачами освіти у вигляді звітів, які включають отримані експериментальні дані, розрахунки, графічне представлення результатів (за необхідності), оцінка похибок вимірювань, аналіз результатів та висновки. Захист лабораторних робіт відбувається під час лабораторних занять у вигляді бесіди з викладачем по отриманим результатам та теоретичному матеріалу, що є основою теми лабораторної роботи.

1.Періодичний контроль здійснюється за результатами виконання 2 модульних контрольних робіт студентів та тестування.

3. Підсумковий семестровий контроль : іспит.

Фінальна оцінка визначається як середньоарифметичне значення від оцінок поточного, періодичного і підсумкового контролю.

11. Критерії оцінювання результатів навчання

Оцінка за національною шкалою	Кількість балів	Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти на лабораторних заняттях
Відмінно	90-100	Здобувач освіти у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно й аргументовано його викладає, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, вільно послуговується науковою термінологією. Здійснює експеримент за планом з урахуванням техніки безпеки та правил роботи з обладнанням; правильно, без помилок оформлює результати дослідження (складає таблиці, будує графіки тощо), здійснює розрахунки; науково грамотно, логічно описує результати спостереження; вміє аналізувати та узагальнювати результати експериментальної роботи, робить обґрунтовані та логічні

		висновки.
Дуже добре	80-89	Здобувач освіти достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає, в основному розкриває зміст теоретичних запитань та практичних завдань, послуговується науковою термінологією. Але при висвітленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неточності та незначні помилки. Здійснює експеримент за планом з урахуванням техніки безпеки та правил роботи з обладнанням; оформлює результати дослідження (складає таблиці, будує графіки тощо), здійснює розрахунки; науково грамотно, логічно описує результати спостереження; вміє аналізувати та узагальнювати результати експериментальної роботи, робить обґрунтовані та логічні висновки, але припускається неточностей.
Добре	75-79	Здобувач певною мірою володіє навчальним матеріалом, висвітлює його основний зміст, записує основні формули, закони. Експериментальну частину лабораторної роботи виконує згідно інструкції, але при розрахунках та аналізі результатів допускається деяких помилок.
Задовільно	66-74	Здобувач відтворює значну частину навчального матеріалу, висвітлює його основний зміст, виявляє елементарні знання окремих положень, записує деякі формули, закони. Однак не здатний до глибокого, всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допускає істотні неточності та помилки. При виконанні лабораторних робіт здобувач виконує роботу за зразком (інструкцією), але з помилками; робить висновки, проте не розуміє достатньою мірою мету роботи, допускається помилок у розрахунках та оформленні звіту.
Опосередковано	60- 65	Здобувач освіти не достатньо володіє навчальним матеріалом, фрагментарно, поверхово (без аргументації й обґрунтування) викладає окремі питання, не розкриває зміст теоретичних питань і практичних завдань. При виконанні лабораторних робіт здобувач вміє користуватися окремими приладами, але не може самостійно виконати роботу і зробити висновки, допускається значної кількості грубих помилок у ході експерименту, в оформленні роботи.
Незадовільно	0- 59	Здобувач не в змозі викласти зміст більшості питань теми, володіє навчальним матеріалом на рівні розпізнавання явищ, допускає істотні помилки, відповідає на запитання, що потребують однослівної відповіді. Найнижчий бал ставиться, коли робота не виконана або досліди, виміри, обчислення, спостереження проводилися неправильно.

При виставленні підсумкової оцінки за лабораторний практикум береться середнє арифметичне значення від суми балів за всіма лабораторними роботами.

Оцінка за національною шкалою	Кількість балів	Критерії оцінювання на іспиті
Відмінно	90-100	Здобувач освіти правильно, точно і повно (не менше 90%)

		виконав всі завдання екзаменаційного білету, чітко і логічно відповів на поставлені екзаменаторами запитання. Ґрунтовно і всебічно знає зміст теоретичних питань, вільно володіє термінологією. Логічно мислить і будує відповідь, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичних завдань, робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки.
Дуже добре	85-89	Здобувач освіти достатньо повно (не менше 80%) виконав всі завдання екзаменаційного білету, чітко і логічно відповів на поставлені екзаменаторами запитання, знає зміст теоретичних питань, володіє термінологією. Логічно мислить і будує відповідь, використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичних завдань, робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки. Але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускає несуттєві помилки, які усуваються самим здобувачем, коли на них вказує екзаменатор.
Добре	75-84	Здобувач добре володіє навчальним матеріалом, висвітлює його основний зміст (не менше 75%), записує основні формули, закони, пояснює фізичні механізми. Але допускається деяких помилок, порушується послідовність доведення основних положень, формул.
Задовільно	65-74	Здобувач освіти володіє основним обсягом (не менше 60%) теоретичних знань, у неповному обсязі виконав всі завдання екзаменаційного білету, відповіді можуть містити суперечності. Не може довести основні рівняння та закони..
Опосередковано	60-64	Здобувач погано володіє теоретичним матеріалом, фізичними термінами, відповідь носить розпливчатий, нечіткий характер. Відчуває значні труднощі при побудові самостійної логічної відповіді. У відповідях мають місце суттєві помилки.
Незадовільно	0-59	Здобувач освіти не виконав завдання екзаменаційного білету, не дав відповіді на додаткові та навідні запитання екзаменатора. Не опанував основний обсяг теоретичних знань. Відповіді на питання є фрагментарними, непослідовними, нелогічними. У відповідях має місце значна кількість грубих помилок. Найнижчі бали - здобувач зовсім не володіє матеріалом.

Періодичний (модульний) контроль здійснюється за допомогою письмової модульної контрольної роботи та тесту, які оцінюються максимально в 100 балів кожний компонент (таблиця 13).

Модульна контрольна робота складається з 2 питань, кожне з яких оцінюється за 50 бальною шкалою.

Критерії оцінювання кожного питання з контрольної роботи:

45-50 балів – здобувач правильно і точно відповів на питання, обґрунтовано і логічно виклав матеріал, володіє термінами, робить висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки;

36-44 бали – здобувач достатньо повно відповів на питання, знає матеріал, володіє термінологією, оцінює причинно-наслідкові зв'язки, але при викладанні не вистачає певної глибини та аргументації, допускає незначні помилки;

26-35 балів – здобувач не в повному обсязі відповів на запитання, відповідь розпливчата, нечітка, допускає помилки;

0-25 балів – здобувач, виявив низький рівень володіння матеріалом, практично не відповів на питання, допустився грубих помилок. Самий низький бал ставиться за відсутність відповіді.

Тест за змістовим модулем може здійснюватись як у формі комп'ютерного тестування, так і письмово в аудиторії. Тест містить 20 тестових завдань з однією правильною відповіддю. Кожна правильна відповідь на 1 тестове завдання оцінюється в 5 балів, неправильна відповідь – 0 балів.

12. Питання для поточного і підсумкового контролю

1. Температурне поле, градієнт температури, гіпотеза та закон Фур'є.

2. Коефіцієнт теплопровідності, фізичний зміст, одиниці вимірювання. Коефіцієнт теплопровідності газів, рідин, твердих тіл, будівельних та ізоляційних матеріалів. Приклади.

3. Коефіцієнт теплопровідності та закон Фур'є для анізотропних середовищ.

4. Диференціальне рівняння теплопровідності (отримання рівняння в декартовій системі координат та з використанням формули Остроградського-Гауса).

5. Коефіцієнт температуропровідності. Фізичний зміст, одиниці вимірювання.

6. Рівняння стаціонарної теплопровідності в декартових, циліндричних та сферичних координатах.

7. Диференційне рівняння теплопровідності для анізотропних середовищ.

8. Диференційне рівняння теплопровідності для швидкоплинних процесів (рівняння гіперболічного типу). Час релаксації теплового процесу.

9. Умови однозначності задач про теплопровідність тіл. Початкові та граничні умови (крайові умови) 1-4 роду. Рівняння Ньютона-Ріхмана, коефіцієнт тепловіддачі, фізичний зміст, одиниці вимірювання.

10. Теплопровідність і теплопередача в плоскій стінці при стаціонарному режимі без внутрішніх джерел тепла. Граничні умови 1-го і 3-го роду. Термічний опір. Теплопровідність багатошарової плоскої та циліндричної стінки. Коефіцієнти та термічні опори тепловіддачі і теплопередачі, фізичний зміст, одиниці вимірювання.

11. Вплив температурної залежності коефіцієнта теплопровідності на розподіл температури в плоскій стінці.

12. Теплопровідність і теплопередача в циліндричній стінці при стаціонарному режимі і без внутрішніх джерел тепла, граничні умови 1-го і 3-го роду. Лінійна густина теплового потоку, термічний коефіцієнт та опір теплопровідності і теплопередачі. Перехід до багатошарової циліндричної стінки, визначення температур на поверхнях стінок.

13. Критичний діаметр циліндричної стінки. Теплова ізоляція циліндричних елементів. Умови оптимального вибору теплової ізоляції труб (матеріал для ізоляції, діаметр ізоляційного покриття).

14. Стаціонарна теплопровідність сферичної стінки, граничні умови 1 і 3 роду

15. Теплопровідність при наявності внутрішніх джерел тепла. Теплопровідність однорідної пластини та циліндричної стінки з внутрішніми джерелами тепла. Розподіл температури в плоскій та циліндричній стінках при наявності внутрішніх джерел тепла

16. Стаціонарна теплопровідність в стрижні, граничні умови 1 та 3 роду.

17. Нестационарна теплопровідність в напівнескінченному масиві, отримання рішення для розподілу температур та густини теплового потоку в масиві при граничних умовах 1 і 2 роду

18. Нестационарні процеси теплопровідності в тонкій пластині. Граничні умови 1-го і 2-го роду. Охолодження (нагрівання) нескінченної пластини. Числа Біо, Фур'є.

19. Регулярний тепловий режим, ознаки, визначення, математичний запис. Темп нагрівання (охолодження) тіла, властивості. Теорема Кондратьєва (доведення). Коефіцієнти форми для тіл, знаходження коефіцієнту форми для пластини. Визначення коефіцієнту температуропровідності речовин методом регулярного режиму.

20. Конвективний теплообмін. Природна та вимушена конвекції. Масові та поверхневі сили. Густина теплового потоку при конвективному теплообміні. Тепловіддача, закон Ньютона-Ріхмана для визначення коефіцієнту тепловіддачі.

21. Фізичні властивості рідкого або газоподібного середовища: в'язке тертя, коефіцієнти динамічної та кінематичної в'язкості, коефіцієнти ізотермічної стисненості та об'ємного розширення газів. Приклади.

22. Диференційні рівняння конвективного теплообміну: енергії, руху, нерозривності (доведення).

23. Температурний та гідродинамічний приграничні шарі. Розподіл швидкостей і температур у приграничному шарі на поверхні тіл, що обтікаються потоком рідини (газу).

24. Подоба і моделювання конвективного теплообміну. Критерії та числа подоби.

25. Природа теплового випромінювання. Променевий потік. Густина променевого потоку. Інтенсивність випромінювання. Поглинальна, відбивальна, та пропускна властивості тіл. Закон Кірхгофа. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла: Стефана – Больцмана, Віна, Релея-Джинса. Формула Планка, отримання законів теплового випромінювання з формули Планка. Сіре тіло. Степінь чорноти.

26. Пірометрія. Умовні температури (радіаційна, яскравісна, кольорова) та їх зв'язок з термодинамічною температурою. Способи вимірювання. Пірометр яскравості, принцип роботи.

27. Масообмін, закони Фіка, коефіцієнт дифузії. Рівняння дифузії і нерозривності. Коефіцієнт масовіддачі. Аналогія процесів переносу маси, тепла, кількості руху.

28. Масообмін при випаровуванні крапель. Формула Максвела, закон Срезневського. Теплообмін крапель при випаровуванні. Рівноважна температура випаровування.

29. Тепломасообмін при плавленні твердої фази в нагрітому середовищі. Визначення часу прогрівання та плавлення частинок .

30. Тепломасообмін при хімічних реакціях на поверхні твердої фази, що протікають за лінійним та параболічним законами.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний та періодичний контроль					Підсумковий контроль (іспит)	Фінальна оцінка
Змістовий модуль №1 Теми 1-3		Змістовий модуль № 2 Теми 4-6		Лабораторні роботи		
Контрольна робота	Тестування	Контрольна робота	Тестування			
100	100	100	100	100	100	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		

70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

14. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус; конспекти лекцій; презентації; питання на поточний контроль і іспит, навчальний посібник, методичні вказівки, статті:

1. Калінчак В.В., Орловська С.Г., Черненко О.С. Фізика теплопровідності та експериментальні методи визначення коефіцієнту теплопровідності речовин: навчальний посібник. Одеса: ОНУ ім. Мечникова, 2012. 52 с.
2. Калінчак В.В., Орловська С.Г., Копійка О.К., Черненко О.С. Фізика теплообміну: методичні вказівки до спеціального фізичного практикуму. Одеса: ОНУ ім. Мечникова, 2014. 64 с.
3. Орловська С.Г. Високотемпературний тепломасообмін металевих частинок з урахуванням стефанівського потоку // Фізика і хімія твердого тіла. 2013. Т. 14, № 4. С.869-875.
4. Орловська С.Г. Вплив електричного поля на характеристики плавлення та горіння парафіну // Фізика і хімія твердого тіла. 2015. Т. 16, №4. С. 747-750.
5. Орловська С.Г. Дослідження закономірностей горіння газозависів вуглецевих частинок // Фізика і хімія твердого тіла. 2015. Т. 16, № 1. С. 210-216.
6. Орловська С.Г. Експериментальні дослідження випаровування крапель парафінів // Фізика аеродисперсних систем. 2022, Вип.60. С.187-193

15. Рекомендована література

1. Константінов С.М. Теплообмін: підручник.- К.: ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. 304 с.
2. Лабай В.Й. Тепломасообмін: підручник для ВНЗ. Львів: Тріада Плюс, 2004. 260 с.
3. Теплопередача з елементами масообміну (теорія і практика процесу)/ за редакцією проф. В.Р. Кулінченка. К.: Фенікс, 2014. 900 с.
4. Малишев В.В., Кретов В.В., Гладка Т.М. Технічна термодинаміка та теплопередача. К.: Університет «Україна», 2015. 258 с.
5. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну / О.С. Миронов, М.Р. Брижа, В.Б. Бойко, О.В. Золотовська. Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2001. 424 с.
6. Лабай В.Й. Тепломасообмінні процеси в системах ТГВ. Львів: Львівська політехніка, 2021. 340 с.

Додаткова

7. Арестов, О. П. Теплотехнічні виміри: навчальний посібник. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. 176 с.
8. Драганов Б.Х. Теплотехніка: підручник. К.: Фірма «Інкос», 2005. 400 с.
9. Луцик Р.В. Теплообмін. К.: КНУТД, 2004. 126 с.