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

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
"____" _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇДИСЦИПЛІНИ

ВБ 13.2 «Фізика горіння»

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

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика горіння». – Одеса: ОНУ, 2022. – 12с.

Розробники: Шевчук Володимир Гаврилович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії
Черненко Олександр Сергійович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія» _____Юрій НІЦУК

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___від «___» _____20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 3	Галузь знань	Обов'язкова дисципліна
годин – 90	10 – Природничі науки	**Рік підготовки**:
змістовних модулів - 2	Спеціальність:	4-й
	104 – Фізика та астрономія	**Семестр**
	Рівень вищої освіти:	8-й
	Перший (освітньо-професійний)	**Лекції**
		14 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
		30 год.
		Самостійна робота
		46 год.
		Форма підсумкового контролю: залік

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є підготовка спеціалістів, що мають необхідний мінімум попередніх відомостей з особлисвостей горіння газофазних рідких і твердих пальних для різних напрямів сучасної фізики.

Завдання дисципліни:

- Ознайомитися з основами хімічної кінетики та термодинаміки, що необхідні для опису горіння дисперсних систем (гази, рідини, пил);
- Вивчити основні положення теорії теплового вибуху;
- Розібратися в особливостях опису займання та горіння систем різного типу.
- Вивчити особливості опису горіння складних систем (хмар, пилу, конгломератів).

В результаті освоєння даної дисципліни повинні формуватися в певній частині наступні компетенції:

Інтегральна компетентність (ІК) - 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:

http://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/edu-programm/fmfit/OPP_104_fizyka_astronomy_bakalavr_2022_new.pdf

К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
К02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
К03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
К04. Здатність бути критичним і самокритичним.
К05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
К07. Навички здійснення безпечної діяльності.
К08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
К10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.

Спеціальні (фахові):

К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
К17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.
К18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.
К19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

К20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.
К21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.
К23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.
К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

Очікувані результати навчання.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

***знати*:**

- Опис швидкості гомогенної та гетерогенної реакції та вплив на неї різних чинників.
- Розуміти поняття кінетичного та дифузійного режимів протікання гетерогенної реакції та визначати вплив масо переносу окисника чи горючого компоненту.
- Основні положення теорії теплового вибуху. Характерні величини та комплекси для умов самозаймання. Період індукції.
- Відмінності лінійного та параболічного законів окислення, а також критичних умов займання систем.
- Основні експериментальні методи дослідження горіння та займання систем різного типу.
- Актуальні напрями наукових досліджень з фізики і астрономії та аналізувати історію розвитку фізики та астрономії в порівнянні з сучасною проблематикою науки;

***Уміти*:**

- Визначати швидкість хімічних реакцій при обернених, послідовних та паралельних хімічних реакціях.
- Визначати тепловий ефект та напрям протікання хімічної реакції.
- Експериментально визначати характеристики спалаху, займання та самозаймання рідин, а також швидкість горіння рідин.
- Експериментально оцінювати температуру самозаймання пилу в залежності від концентрації пилу.
- Володіти різноманітними навичками оцінки горючості матеріалів і оцінки пожежовибухонебезпеки при роботі з горючими речовинами.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

ПР01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних

фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.

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.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати 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.

ПР10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.

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.

ПР16. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль1. Хімічна кінетика та масообмін

Тема 1. **Хімічна кінетика при гомогенних реакціях.** Рівняння кінетичних хімічних реакцій. Рівняння дифузії і теплопередачі в реагуючих середовищах. Роль і види граничних умов. Швидкість реакції. Закон діючих мас. Закон Арреніуса.

Кінетика реакцій першого, другого та третього порядку. Кінетика обернених, послідовних та паралельних реакцій.

Тема 2. **Хімічна кінетика при гетерогенних реакціях.** Особливості протікання гетерогенних реакцій. Гетерогенно-каталітичні реакції. Вплив масообміну на швидкість реакції. Дифузійний і кінетичний режим. Стефанівська течія. Приведена плівка. Вплив конвекції.

Аналіз граничних режимів, виходячи із співвідношень характерного часу

реакції і теплопередачі. Загальна характеристика об'ємних (вибухових), дифузійних і авто хвильових процесів.

Тема 3. **Хімічна термодинаміка**. Тепловий ефект реакції. Закон Гесса. Визначення теплового ефекту реакцій. Адіабатична температура. Температура і тиск вибуху. Визначення напряму хімічної реакції. Константа рівноваги реакції. Закон діючих мас.

Змістовний модуль 2. Фізика горіння

Тема 4. **Теорія теплового вибуху.** Загальна постановка задачі про тепловий вибух. Нестаціонарний тепловий вибух. Аналіз критичних умов спалахування виходячи із діаграми Семенова (самозаймання, погасання, вимушеного займання), точки перегину, стійкості стаціонарних режимів. Період індукції. Залежність від розміру реагуючої системи. Самозаймання та горіння горючих сумішей.

Тема 5. **Горіння твердого палива.** Горіння вуглецевих частинок. Вплив паралельних реакцій на критичні умови займання. Газовий склад продуктів згорання в залежності від розміру та діаметру частинок, тиску газового середовища. Вплив золи та летючих газів.

Займання та горіння металевих частинок. Закони окислення металів. Критерій Піллінга-Бедворса. Критичні умови займання частинок металів. Горіння магнію, алюмінію та заліза.

Тема 6. **Горіння рідкого палива**. Випаровування крапель при низьких та високих температурах. Теорія займання крапель. Теорія горіння крапель. Визначення швидкості горіння крапель: метод підвішеної краплі, метод стаціонарної краплі, метод падаючої краплі, метод поруватої сфери. Горіння емульсій. Вплив плазмового розряду.

Тема 7. **Горіння хмар, пилу, конгломератів**. Колективний ефект. Двотемпературне наближення в теорії теплового вибуху. Вплив концентрації частинок. Особливості горіння хмар, пилу, конгломератів.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	Всього	у тому числі			
		лек	пр	лаб..	ср
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. Хімічна кінетика та масообмін					
Тема 1. Хімічна кінетика при гомогенних реакціях.		2			6
Тема 2. Хімічна кінетика при гетерогенних реакціях.		2			4
Тема 3. Хімічна термодинаміка.		2		4	6
Змістовний модуль 2. Фізика горіння					
Тема 4. Теорія теплового вибуху.		2			8
Тема 5. Горіння твердого палива.		2		10	8
Тема 6. Горіння рідкого палива		2		12	8

Тема 7. Горіння хмар, пилу, конгломератів.		2		4	6
Усього годин	90	12		30	46

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Теми лабораторних робіт

№	Назва теми (в методичних вказівках)	Кількість годин
1.	Визначення теплових ефектів реакцій горіння за допомогою бомби Бертло	4
2.	Дослідження горіння вугільної частинки	4
3.	Експериментальне визначення часу горіння частинок магнію.	2
4.	Експериментальне визначення критичних умов спалахування алюмінієвих дротинок	2
5.	Визначення температури та часу затримки самозаймання крапель рідкого палива	4
6	Експериментальне визначення констант горіння рідкого пального (Метод підвішеної краплі)	4
7	Вивчення горіння крапель рідкого палива (метод стаціонарної сфери)	2
8	Вивчення горіння рідкого палива (метод поруватої сфери)	2
9	Експериментальне визначення критичних умов теплового вибуху пилу.	4
10	Вивчення горіння факелу рідкого палива	2

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Виведення рівнянь дифузії і теплопровідності інтегральному і диференціальному вигляді, виходячи із законів збереження.	2
2.	Кінетика реакцій першого, другого та третього порядку	2
3.	Кінетика обернених, послідовних та паралельних реакцій.	2
4.	Дифузійний і кінетичний режим. Стефанівська течія. Приведена плівка. Вплив конвекції.	2
5	Особливості протікання гетерогенно-каталітичних реакції.	2
6	Оцінка теплових ефектів реакції	2
7	Визначення напряму хімічної реакції. Константа рівноваги реакції.	2
8	Задача про стаціонарний тепловий вибух. Види, роль і застосування граничних умов. Розрахунки практичних умов спалахування для заданих теплофізичних і кінетичних констант.	2

9	Вимірювання температур згорання різних пальних за табличними даними	2
10	Знаходження критеріїв теплового вибуху, виходячи із підходу аналізу на стійкість стаціонарного розв'язку рівнянь дифузійної кінетики.	2
11	Розрахунок критичних умов спалахування поодиноких частинок	2
12	Вплив золи та летючих на займання та горіння вугільних частинок	2
13	Розрахунок періоду індукції самозаймання частинок	2
14	Розрахунок критичних умов спалахування частинок магнію і алюмінію.	2
15	Визначення критичних умов спалахування алюмінієвих дротиків	2
16	Отримати числові значення критичних температур спалахування поодинокої частинки магнію, магнієвого пилу, алюмінієвої дротинки.	2
17	Розрахунок констант горіння крапель рідкого палива	2
18	Фізичні властивості емульсій. Аналіз існуючих плазмових технологій спалювання. Екологічні норми при спалахуванні вуглеводневих сполук і методи їх вивчення	6
19	Горіння аерозолів	2
20	Горіння пилу	2
21	Горіння конгломератів	2

9. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод, інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий 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 (студент опановує літературу за вказаною темою).

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль та самостійна робота студентів по теоретичній частині курсу здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт за змістовними модулями (перша на 10 балів, друга на 20 балів) у вигляді тестового завдання у GoogleForm.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків (на які виділяються окремо години самостійної роботи) та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 4 бали за кожну роботу в залежності від складності роботи. За виконання роботи нараховується 2 бали. За розрахунки додаються ще 1-2 бали.

Максимальна кількість балів за лабораторну роботу становить 4 бали. При виставленні підсумкової оцінки сумуються бали за кожну лабораторну роботу. Максимальна кількість балів за лабораторні завдання – 40 балів.

Критерії оцінювання самостійної роботи.

Перелік тем на самостійну роботу є розширеним матеріалом, який виноситься на лекційні заняття. Перевірка результатів самостійної роботи є написання звіту по 1 теоретичному та 2 практичним завданням (за кожне до 10 балів).

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

Оцінюється також активність студента в процесі занять, за що можна отримати додаткові преміальні бали. Максимум 5 балів.

Підсумковий контроль - залік.

11. Питання для підготовки для поточного контролю

1. Рівняння стехіометрії
2. Швидкість хімічної реакції
3. Закон діючих мас
4. Закон Арреніуса і його графік
5. Рівняння дифузії в реакційному середовищі
6. Рівняння теплопровідності в реагуючому середовищі
7. Порядок реакції
8. Послідовні і паралельні реакції
9. Особливості гетерогенних реакцій
10. Дифузійний і кінетичний режими протікання реакцій
11. Стефанівська течія
12. Фізичний зміст приведеної плівки
13. Вплив конвекції на швидкість реакції
14. Граничні режими реагування
15. Роль і види граничних умов
16. Тепловий ефект реакції
17. Закон Гесса
18. Адіабатична температура
19. Температура і тиск вибуху.
20. Константа рівноваги реакції
21. Загальна постановка задачі про тепловий вибух
22. Безрозмірна форма рівняння теплового вибуху
23. Стаціонарна теорія теплового вибуху.
24. Нестаціонарна теорія теплового вибуху
25. Діаграми Семенова і критичні умови теплового вибуху
26. Аналіз критичних умов, виходячи із особливостей точки перегину
27. Аналіз критичних умов, виходячи з умов стійкості стаціонарних режимів.
28. Гетерогенні реакції. Особливості горіння вуглецевих частинок.
29. Вплив золи і летючих газів.

30.Газовий склад продуктів горіння і їх екологічний вплив.
31.Закони окислення металів
32.Особливості займання магнію, алюмінію, заліза
33.Теорія займання крапель
34.Теорія горіння крапель
35.Методи експериментального дослідження крапель
36.Особливості горіння водопаливних емульсій
37.Плазменні технології спалювання рідких палив
38.Колективний ефект при займанні і горінні аерозолів і пилу
39.Двотемпературне наближення в теорії теплового вибуху.
40.Вплив концентрації і розміру частинок конденсованої фази
41.Особливості горіння вільних і газофазних, аерозольних і пилових систем

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Змістовний модуль 1				**Контрольна робота**	**Самостійна робота**	**Виконання лабораторних робіт**	**Сума балів**
Модуль 1				**10**	**30**	**40**	**100**
Т1		**Т2**	**Т3**				
Модуль 2				**20**			
Т4	**Т5**	**Т6**	**Т7**				

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

СУММА БАЛІВ ЗА ВСІ ФОРМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	**ОЦІНКА В ECTS**	**ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ**	
		екзамен	залік
90 – 100	A	відмінно (“5”)	зараховано
85– 89	B	добре (“4”)	
75-84	C		
65-74	D	задовільно (“3”)	
60 – 64	E		
35 – 59	FX	незадовільно (“2”) з можливістю повторного складання	не зараховано
0 – 34	F	незадовільно (“2”) з обов’язковим повторним курсом	

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторної роботи, інструкції до приладів: http://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny,

14. Рекомендована література

Основна література

1. Прикладна теплофізика і газодинаміка горіння дисперсних систем: навчальний посібник / *В. Г. Шевчук, В. В. Калінчак, О. С. Черненко, С. Г. Орловська* – Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2020. – 228 с.
http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/30000
https://drive.google.com/file/d/1vcbuUZMaf1cpVcsgCmowlyBXTJeaBRkk/view?usp=share_link
2. *Шевчук В.Г., Поліщук Д.Д.* Фізичні основи пожежовибухонебезпеки. – Одеса, Атропринт, 2010.
3. Випаровування та горіння крапель: монографія/ В. В. Калінчак, О. С. Черненко, О. К. Копійка, В.Г. Шевчук, С.Г. Орловська – Одеса, 2023. – 160 с.
https://drive.google.com/file/d/1lRl9VythtxRIxzxG28XpRjW-8wFW22Ea/view?usp=share_link
4. Калінчак В. В. Теплофізика безполуменевого горіння газів: монографія / В. В. Калінчак, О. С. Черненко. – Одеса: Астропринт, 2020. – 200 с.
https://drive.google.com/file/d/12SV7r7wmF1Ud77Wy0kBI_O-RiT_rI8zm/view?usp=share_link

Допоміжна

5. Калінчак В.В., Черненко А.С. Теплофизика горения пылеугольного топлива (монография). – Одесса: ОНУ, 2017. – 238 с.
http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/24761
https://drive.google.com/file/d/1iNN1AZ1VrGb62A5rqYBH0a1NgWhF-YlN/view?usp=share_link
6. Калінчак В.В., Черненко О.С. Хімічна кінетика та масообмін (навчальний посібник). – Одеса: ОНУ, 2017. – 186 с.
http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/24762
https://drive.google.com/file/d/1qsRwVcZJqvhPus9nXb2-bjZvYBciNDaL/view?usp=share_link

15 Електронні ресурси

1.http://phys.onu.edu.ua,
2. http://lib.onu.edu.ua