

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
Кафедра загальної фізики і фізики теплоенергетичних та хімічних процесів



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

*О.В. Запорожченко*  
О.В. Запорожченко  
2020 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### • ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий) рівень – доктор філософії

Галузь знань 10 – природничі науки

(шифр і назва)

Спеціальність 104 - фізика та астрономія

(шифр і назва)

Освітня програма фізика та астрономія

Вид дисципліни вибіркова

Факультет математики, фізики, та інформаційних технологій

(назва факультету)

2020 – 2021 навчальний рік

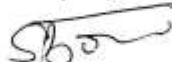
Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій  
«3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

доктор фізико-математичних наук, професор Калінчак В.В.

Навчальна програма затверджена на засіданні кафедри загальної фізики.  
Протокол № 1 від "28" серпня 2020 року

Завідувач кафедри

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Гоцульський В.Я.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від " 3 " вересня \_\_\_\_\_ 2020 року

Голова НМК

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ніцук Ю.А.  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Прикладна фізика дисперсних систем» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія».

Освітньо-наукова програма: « Фізика та астрономія».

### 1. Опис навчальної дисципліни

Заняття проводяться з аспірантами 1 курсу, кафедри теплофізики, які навчаються за спеціалізацією напрямком «Прикладна фізика та наноматеріали». „Теплофізика аеродисперсних систем та фізика плазми з конденсованою дисперсною фазою”. Матеріал програми базується на розділах молекулярної та статистичної фізики з підручників загальної фізики, процесах тепломасопередачі з спецкурсу “Фізика теплотранспорту”, взаємозалежних явищах кінетики хімічних реакцій і тепломасообміну з спецкурсу “Тепломасообмін у хімічно реагуючих системах”. Темати лекцій складені в основному на результатах досліджень класиків Д.А.Франк-Каменецького і Н.Н.Семенова і власних досліджень автора зі співробітниками.

**1.1. Мета** навчальної дисципліни «Прикладна фізика дисперсних систем» - ознайомити аспірантів з фундаментальними навичками науково-дослідної роботи, методологією наукової діяльності, сучасними та традиційними методами наукових досліджень, зокрема, науковців кафедри теплофізики, оволодіти методиками проведення досліджень (планування, підготовки, проведення вимірювань, їх обробки та аналізу). Знання, які отримують аспіранти з навчальної дисципліни, необхідні майбутнім фахівцям в їх професійній діяльності, повинні забезпечити їх природничо-наукову та професійно-практичну підготовку.

Програма призначена для заглибленого вивчення фізики теплових явищ у аеродисперсних системах при протіканні хімічних реакцій і фазових перетворень. Програма складена таким чином, щоб студенти могли закріпити основні знання з механізмів тепломасообміну твердих тіл з газами.

**1.2. Завдання** – формування у аспірантів знань, умінь та навичок, які створюють базу для виконання дисертаційної роботи.

Інтегральна компетентність (ІК) - здатність розв’язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

#### **Загальні компетентності:**

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1),
- Здатність управління інформацією (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел) (ЗК2),
- Здатність проведення самостійних досліджень (ЗК 9),

#### **Фахові компетентності:**

- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем. (ФК 1.)

– Вміння виконувати експериментальні та теоретичні дослідження рівноважних та нерівноважних властивостей в області теплофізики, молекулярної фізики та фізики горіння. (ФК.8)

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

2.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна/за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й
Лекції
16 год.
Практичні/семінарські
14 год.
Лабораторні
-
Самостійна робота
60 год.
У тому числі індивідуальні завдання
-

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія» спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» аспіранти можуть досягти наступних результатів навчання:

Знати процеси, що супроводжують горіння рідких і твердих палив

Вміти характеризувати процеси горіння рідких і твердих палив, володіти навичками пожежної безпеки дисперсних матеріалів.

ПР2.5. Вміти визначати рівні забруднення повітряного середовища, використовуючи сенсорні системи моніторингу з урахуванням різних критеріїв і природоохоронних задач.

Вміти використовувати набуті знання для наукового аналізу розвитку наукових досліджень;

## 2. Програма навчальної дисципліни

**Тема 1: Тепломасообмін при каталітичних хімічних реакціях на поверхнях металів, напівпровідників.** Тепломасообмін твердого тіла при протіканні хімічних реакцій на його поверхні у газовій фазі.

**Тема 2: Комп'ютерне моделювання високо - і низькотемпературних станів у дисперсних системах.** Дослідження залежностей діаметра і швидкості вуглецевої частинки, що визначають стійкі й критичні режими, від її стаціонарної температури. Вплив теплообміну випромінюванням на стійкі й критичні режими тепломасообміну частки при рівнобіжних реакціях на її поверхні. Двопетлевий гістерезис

тепломасообміну. Роль хімічних реакцій  $C+O_2 \rightarrow CO_2$  (I),  $2C+O_2 \rightarrow 2CO$  (II),  $2C+O_2 \rightarrow 2C$  (III). Вплив стефанівського потоку

**Тема 3: Вплив структури поверхні твердого тіла на кінетику хімічних реакцій і тепломасообміну.** Тепломасообмін поруватої частинки при протіканні рівноважних хімічних реакцій. Розв'язок задачі внутрішньої дифузії. Визначення швидкості внутрішнього реагування. Аналіз впливу критерію Семенова. Визначення сумарної швидкості реагування. Взаємовплив тепломасообміну і швидкості хімічного реагування пористої вуглецевої частинки. Визначення стійких і критичних режимів пористої вуглецевої частинки, що нагрівається лазерним випромінюванням. Аналіз часових залежностей температури, діаметра і густини частинки. Роль зовнішньої дифузії.

**Тема 4: Аналітичне визначення часу виходу режимів тепломасообміну частинки на високотемпературний режим.** Аналіз областей визначення періоду індукції. Аналітичне визначення тривалості високотемпературної стадії тепломасообміну вуглецевої частинки. Врахування кінетичної й дифузійної областей. Аналогія з процесом випаровування краплі рідини у високотемпературному середовищі. частинки. Теплофізика нестационарного запалювання вибухових газових сумішей розігрітими частинками різної природи (вуглець, метали і оксиди металів).

**Тема 5: Тепломасообмін і кінетика високотемпературного окислювання металів.** Визначення швидкості високотемпературного окислювання металів з врахуванням зовнішнього масообміну. Мимовільне потухання металів з параболічною кінетикою окислювання. Дифузійна й кінетична області окислювання металів. Гістерезисна залежність температури металів від розмірів, відносної швидкості газу. Вплив випромінювання на критичні умови запалення і потухання металів. Умови виродження гістерезисних петель.

**Тема 6: Визначення теплофізичних властивостей характеристик хімічної й фізичної взаємодії твердих тіл з газами.** Стандартні методи визначення теплофізичних властивостей твердих тіл (метали, провідники, напівпровідники, діелектрики). Визначення теплових режимів взаємодії провідників з газами по їх вольт-амперним характеристикам. Оптична пірометрія. Визначення яркісної, радіаційної і кольорової температур твердих тел. Методи визначення температури полум'я. Застосування оптичної мікроскопії для визначення геометричних розмірів твердих тіл. Електронна мікроскопія.

**Тема 7. Високотемпературні процеси при гомогенних хімічних реакціях.** Полум'я. Кінетичне та дифузійне полум'я. Нормальна швидкість розповсюдження полум'я. Розв'язок задачі теплопровідності методом Я.Б. Зельдовича для знаходження нормальної швидкості розповсюдження полум'я в газовій суміші палива і окислювача. Експериментальні методи вимірювання швидкості розповсюдження кінетичного полум'я. Форма та геометричні розміри кінетичного полум'я. Закон Міхельсона-Гуї. Закон косинуса. Форма кінетичного полум'я при ламінарної течії газової суміші.

**Тема 8: Теплофізика та електрофізика низькотемпературної плазми з конденсованою фазою.** Визначення константи рівноваги Саха. Знаходження функції залежності концентрації електронів від концентрації атомів та температури. Визна-

чення граничних умов для високо- та низькотемпературної плазми. Розрахунок концентрації електронів в рівноважній плазмі, в якій відбулася одноразова іонізація атомів лужних металів (при різних концентраціях атомів та різних температурах).

### 3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Тепломасообмін при каталітичних хімічних реакціях на поверхнях металів, напівпровідників.	12	2	2	–	–	8
Тема 2. Комп'ютерне моделювання високо - і низькотемпературних станів у дисперсних системах.	12	2	2	–	–	8
Тема 3. Вплив структури поверхні твердого тіла на кінетику хімічних реакцій і тепломасообміну	12	2	2	–	–	8
Тема 4. Аналітичне визначення часу виходу режимів тепломасообміну частинки на високотемпературний режим	12	2	2	–	–	8
Тема 5. Тепломасообмін і кінетика високотемпературного окислювання металів	10	2	2	–	–	6
Тема 6. Визначення теплофізичних властивостей характеристик хімічної й фізичної взаємодії твердих тіл з газами	12	2	2	–	–	8
Тема 7. Високотемпературні процеси при гомогенних хімічних реакціях	10	2	2	–	–	6
Тема 8. Теплофізика та електрофізика низькотемпературної плазми з конденсованою фазою	10	2	–	–	–	6

#### 4. Погодинний план лабораторних занять (демонстрацій)

№	Тема заняття	год
1	Дослідження кінетики випаровуванні та горіння крапель рідкого палива	3
2	Експериментальне вивчення тепломасообміну та кінетики гетерогенно-каталітичних реакцій окислення домішок горючих газів (аміак, водень, ацетон) на металевих каталізаторах (дротик, частинка).	3
3	Застосування оптичних методів для визначення температурних полів нагрітих тіл (пластина, металевий дротик, циліндрична піч)	3
4	Вивчення кінетики окислення і безполум'яного горіння газоповітряних сумішей з до при їх нагріванні постійним електричним струмом	3
5	Вивчення особливостей займання, запалювання, горіння і самовільного погасання вуглецевих частинок в нагрітих і холодних азотно-кисневих сумішах.	3
6	Вивчення залежності теплофізичних властивостей газів та їх складу термокондуктометричним методом	2
7	Дослідження теплофізичних властивостей кінетичного горіння газових сумішей.	3
8	Цифрова оптична мікроскопія продуктів реакцій горіння металів та сплавів	3
9	Дисперсний аналіз сухих вугільних порошоків	3

#### 5. Погодинний план практичних занять

№	Тема заняття	год
1	Визначення зміни температури частинки тіла при регулярному режимі першого та другого роду.	2
2	Аналітичне визначення швидкості стефанівської течії поблизу поверхні вуглецевої та металевий частинки. Аналіз похибки отриманого виразу.	2
3	Визначення константи внутрішнього реагування всередині поруватої вуглецевої частинки. Аналіз границь застосувань наближень.	2
4	Визначення умов виродження гістерезисної петлі на залежності температури частинки каталізатору від її діаметру при каталітичному окисленні малих домішок горючих газів на поверхні частинки каталізатора	2
5	Розрахунок константи горіння краплин вуглеводневих палив	2
6	Отримання методом термічного шару часу затримки займання горючої суміші розпеченою частинкою	2
7	Розрахунок умов та розрахунок теплофізичних властивостей тіл методом регулярного режиму при довільному числі Біо	2
8	Розрахунок температури полум'я та нормальної швидкості розповсюдження полум'я. Визначення стехіометричного складу горіння	2

сумішей.	
----------	--

### 6. Завдання для самостійної роботи

№	Тема заняття	год
1	Комп'ютерне моделювання високотемпературного тепломасообміну і кінетики хімічних реакцій рухомих частинок каталізатору(метали платинової групи) з газоповітряною сумішшю з домішками водню.	6
2	Комп'ютерне моделювання високотемпературних та гістерезисних режимів каталітичного окислення горючих газових сумішей з домішками аміаку на рухомих частинках металевого каталізатору	6
3	Дослідження характеристик високотемпературного тепло масообміну поруватих частинок каталізатору в умовах аерозольного каталізу	6
4	Дослідження високотемпературного тепломасообміну при займанні частинки магнію в нагрітому повітрі	6
5	Теплофізика горіння крапель рідкого палива (парафін, бензол, толуол, етанол, ацетон та ін.)	6
6	Визначення константи рівноваги Саха. Знаходження функції залежності концентрації електронів від концентрації атомів та температури.	6
7	Стандартні методи визначення теплофізичних властивостей твердих тіл (метали, провідники, напівпровідники, діелектрики). Визначення теплових режимів взаємодії провідників з газами по їх вольтамперним характеристикам.	6

### 7. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним і робочим планом

### 8. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. 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 практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

### 9. Методи контролю

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях;



аудиторне поточне опитування; домашні завдання. Підсумковий семестровий контроль (залік).

### 10. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться у письмовій формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 30 бальною шкалою

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 30 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 25 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 26 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 20 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що аспірант отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

Шкала оцінювання. Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру

Оцінка для чотирирівневої шкали оцінювання для дворівневої шкали оцінювання

#### Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

СУММА БАЛІВ ЗА ВСІ ФОРМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ
	залік
90 – 100	відмінно (“5”)
70– 89	добре (“4”)
50-69	задовільно (“3”)
1 – 49	незадовільно (“2”)

### 10. Методичне забезпечення

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. *(електронний варіант)*.
2. Калінчак В. В. Теплофізика безполуменового горіння газів: монографія / В. В. Калінчак, О. С. Черненко. – Одеса: Астропринт, 2020. – 200 с.
3. Фізика медичних аерозолів: навч. посіб. / В. В. Калінчак, О. С. Черненко, С. М. Контуш. – Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. – 222 с.
4. Калінчак В.В., Черненко А.С. Теплофізика горіння пилеугольного топлива (монографія). – Одеса: ОНУ, 2017. – 238 с.

5. Калінчак В.В., Черненко О.С. Хімічна кінетика та масообмін (навчальний посібник). – Одеса: ОНУ, 2017. – 186 с.
6. Калінчак В.В., Контуш С.М., Черненко А.С., Щекатолина С.А. Прикладная физика аэрозолей. – Одесса: ОНУ – 2015. – 130 с.
7. Інструкції до лабораторних робіт.

## 12. Рекомендована література

1. Основы практической теории горения // Под ред. *Померанцева В.В.* – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
2. *Д.А. Франк-Каменецкий.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М, Наука, 1987. – 502 с.
3. *Хитрин Л.Н.* Физика горения и взрыва. – Изд. Московск. универс., 1957. –
4. *Головина Е.С.* Высокотемпературное горение и газификация углерода. — М.,1986. – 176 с.
5. *Вулис Л.А.* Основы горения газового факела. – Энергия, 1968. –
6. *Льюис, Эльбе* Горение, пламя и взрывы в газах. – Из-во Московск. унив-та, 1968.
7. *Щетинков Е.С.* Горение газов. – Наука, 1965. –
8. *Иост В.* Взрывы и горение в газах. – Из-во иностр. лит., 1952. –
9. *Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашипов* Основные характеристики горения. – Химия, 1977. –
10. *Абрамович Л.А.* Прикладная газовая динамика. – Наука, 1976. –
11. *Алексеев Б.А., Гришин А.А.* Физическая газодинамика реагирующих сред. – Высшая школа, 1985. –
12. *Кумагаи С.* Горение. –Химия, 1979. –
13. *Хзмалян Д.М., Коган Я.А.* Теория горения и топочные устройства. – Энергия, 1979. –
14. *Зельдович Я.Б.* Математическая теория горения и взрыва. – Наука, 1980. –
15. *Кнорре Г.Ф.* Теория топочных процессов. – Энергия, 1966. –
16. *Букатый В.И., Суторихин И.А.* Высокотемпературное горение углеродных частиц в поле лазерного излучения // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т.24, №3.-С.9-11.
17. *Зверев И.Н., Смирнов Н.Н.* Газодинамика горения. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.-307с
18. *Алексеев В.В., Гришин А.М.* Физическая газодинамика реагирующих сред. Учеб. пособ.-М.: Висш. шк..1985.-404с.