

Міністерство освіти і науки України  
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Фізико-технічний факультет  
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор \_\_\_\_\_

“ 30 ” серпня 2022 р.

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Пористі структури: синтез, властивості, застосування**

Освітня програма аспірант (PhD)

Спеціальність 105, Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

Робоча програма «Пористі структури: синтез, властивості, застосування» для підготовки здобувачів третього рівня вищої освіти – доктора філософії спеціальності «105, Прикладна фізика та наноматеріали» “\_\_\_” \_\_\_\_\_, 2022 р. – 12 с.

Розробники: (вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)  
Будзуляк І. М. – професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, доктор фізико-математичних наук, професор

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

“29” серпня 2022 р. \_\_\_\_\_ Богдан ОСТАФІЙЧУК

Схвалено методичною комісією фізико-технічного факультету.

Протокол від “30” серпня 2022 р. № 1

“30” серпня 2022 р.

Голова \_\_\_\_\_  
(підпис)

Михайло ЯЦУРА  
(прізвище та ініціали)

© Прикарпатський національний  
університет імені Василя  
Стефаника, 2022 рік

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – <b>3</b>	Галузь знань <b><u>10 Природничі науки</u></b>	<b>Вибіркова</b>	
Модулів – <b>1</b>	Спеціальність (професійне спрямування): <u>105, Прикладна фізика і наноматеріали</u>	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – <b>2</b>		<b>2-й</b>	____-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання – <b>реферат</b>		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин – <b>90</b>		<b>3-й</b>	
Тижневих годин для денної форми навчання:  аудиторних – <b>30</b> самостійної роботи студента – <b>60</b>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>доктор філософії (PhD)</u>	<b>Лекції</b>	
		<b>20 год.</b>	
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		<b>10 год.</b>	
		<b>Лабораторні</b>	
		____ год.	____ год.
		<b>Самостійна робота</b>	
<b>60 год.</b>			
<b>Індивідуальні завдання:</b>		____ год.	
Вид контролю:		<b><u>екзамен</u></b>	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:  
для денної форми навчання – **0,5**

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс «Пористі структури: синтез, властивості, застосування» створений для аспірантів (PhD) ОП «Прикладна фізика і наноматеріали». Курс розроблено таким чином, щоб поглибити знання аспірантів в галузі фізики пористих матеріалів, їх отримання, унікальних фізико-хімічних властивостей та сфер застосування. Особлива увага буде зосереджена на пористих вуглецевих матеріалах, набуття досвіду їх отримання як матеріалів для створення пристроїв накопичення і зберігання електричної енергії. Глобальні завдання дисципліни полягають у з'ясуванні фундаментальних понять законів і теорій, які відносяться до пористих структур.

**Мета курсу** полягає в ознайомленні аспірантів з основними методами отримання та дослідження пористих структур, зокрема вуглецевого пористого матеріалу. Ознайомити з механізмами фізичної, хімічної, термохімічної активації вихідних матеріалів для отримання пористих матеріалів з необхідними характеристиками, зокрема, величиною питомої поверхні та розподілом пор за розмірами. Дослідити термічну стабільність пористості конденсованих середовищ, розвиток радіаційної пористості.

Завдання полягають в набутті аспірантами знань про основні технологічні прийоми отримання пористих матеріалів з наперед заданими параметрами, вміння дослідити їх фізико-хімічні властивості, знати як скорегувати умови і режими отримання для досягнення поставленої мети. Знати основні методи досліджень пористих структур, зокрема порометрію, мало кутове X-променеве розсіювання, імпедансну спек трос копію, об'ємно вагові дослідження і інші.

Важливим є вміння оцінити структуру пористого матеріалу, використовуючи теорію фрак талів.

Застосувати набуті знання для отримання нанопористого матеріалу та визначення його питомої поверхні та розподілу за розмірами.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 90 годин / 3 кредити ЄКТС.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1.**

#### **Пори як фазово-структурні неоднорідності макро-, мікро- і наносистем.**

##### **Тема 1. Самоорганізація структур з фрактальною розмірністю.**

Особливості формування пористих структур в нерівноважних умовах. Фрактальні системи. Використання методів фрактальної геометрії для різних рівнів організації. Процеси фрактальної агрегації при синтезі матеріалів. Процеси самоорганізації і фрактальні структури. Енергетика переходу вакансія – дівакансія-нанопора.

##### **Тема 2. Види пористості.**

Пористість при дії температури, хімічних реагентів (кислоти, луги) сумісна дія температури і хімічних реагентів. Дифузійна пористість, деформаційна пористість, радіаційна пористість.

##### **Тема 3. Процеси пороутворення в конденсованих наносистемах.**

Пори в аморфних плівкових наносистемах. Пороутворення при формуванні полікристалічних конденсатів. Пористість в епітаксіальних конденсованих наносистемах. Пороутворення в йонно-плазмових конденсованих наносистемах. Пороутворення при піролізі і анодному окисленні. Пороутворення в речовині рослинного походження.

##### **Тема 4. Термічна та радіаційна пористість.**

Зміна пористості при ізотермічному нагріві. Еволюція пористості конденсованих наносистем в умовах теплообміну. Пороутворення при йонному опроміненні. Самоорганізація пористої структури під дією лазерного опромінення.

##### **Тема 5. Фаза “пустота” в композиційних наносистемах і кристалах.**

Локалізація і перетворення вільного об'єму в аморфних тілах. Конденсаційна пористість пірографіту. Газодифузійна пористість енергоємних компактних структур. Фрактальне представлення структури пористих композиційних і конденсованих систем. Деформаційно-дифузійна пористість в кристалах. Наноканальні, нанотрубчасті і нанодротові композити.

## **Змістовий модуль 2.**

### **Нанопористий вуглецевий матеріал**

#### **Тема 6. Отримання нанопористого вуглецевого матеріалу з сировини рослинного походження.**

Гідротермальна методика нанопористого вуглецевого матеріалу з сировини рослинного походження. Термічна до активація та її вплив на стан і еволюцію пористої системи. Поверхневі функціональні групи. Пороутворювачі: вуглекислий газ, мурашина кислота, водяна пара.

#### **Тема 7. Методи дослідження пористих матеріалів.**

Малокутове розсіювання. Метод глобальних уніфікованих експоненціально-степеневих функцій. Мікрозондові дослідження. Порометрія шляхом низькотемпературної адсорбції азоту або гелію. Адсорбція ртуті. Загальна площа поверхні. Розподіл пор за розмірами. Калориметрія, пікнометрія.

#### **Тема 8. Контакт нанопористого вуглецевого матеріалу з електролітами.**

Подвійний електричний шар. Умови його утворення. Моделі подвійного електричного шару. Модель Гельмгольца, модель Гуї-Чепмена, модель Шторна, модель Бокріса-Деванатана-Мюллера. Взаємодія пористого вуглецевого матеріалу з водними і апротонними електролітами.

#### **Тема 9. Вплив лазерного опромінення на стан пористої структури вуглецевого матеріалу.**

Модель представлення впливу лазерного опромінення на морфологію поверхні пор. Електрохімічні властивості лазерно-опроміненого пористого вуглецевого матеріалу. Зміна фрактальної структури внаслідок дії лазерного опромінення. Перерозподіл легуючої домішки в порах внаслідок лазерного опромінення.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	денна форма				
		у тому числі				
1	2	л	п	лаб	інд	с.р.
3	4	5	6	7		
<b>Модуль 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1.</b>						
<b>Пори як фазово-структурні неоднорідності макро-, мікро- і наносистем.</b>						
Тема 1. Самоорганізація структур з фрактальною розмірністю.	13	3	2			8
Тема 2. Види пористості.	11	2	1			8
Тема 3. Процеси пороутворення в конденсованих наносистемах.	12	3	1			8
Тема 4. Термічна та радіаційна пористість.	11	2	1			8
Тема 5. Фаза “пустота” в композиційних наносистемах і кристалах.	11	2	1			8
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>6</b>			<b>40</b>
<b>Змістовий модуль 2.</b>						
<b>Нанопористий вуглецевий матеріал</b>						
Тема 6. Отримання нанопористого вуглецевого матеріалу з сировини рослинного походження.	8	2	1			5
Тема 7. Методи дослідження пористих матеріалів.	8	2	1			5
Тема 8. Контакт нанопористого вуглецевого матеріалу з електролітами.	8	2	1			5
Тема 9. Вплив лазерного опромінення на стан пористої структури вуглецевого матеріалу.	8	2	1			5
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>4</b>			<b>20</b>
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>20</b>	<b>10</b>			<b>60</b>

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовий модуль 1.</b>		
<b>Пори як фазово-структурні неоднорідності макро-, мікро- і наносистем.</b>		
1	Формування пористих структур в нерівноважних умовах	2
2	Вплив температури на формування пор.	1
3	Пороутворення при формуванні полікристалічних конденсатів.	1
4	Зміна пористості при ізотермічному нагріві.	1
5	Перетворення вільного об'єму в аморфних тілах.	1
<b>Змістовий модуль 2.</b>		
<b>Нанопористий вуглецевий матеріал</b>		
6	Гідротермальна методика отримання нанопористого вуглецевого матеріалу	1
7	Порометрія шляхом низькотемпературної адсорбції азоту або гелію.	1
8	Взаємодія пористого вуглецевого матеріалу з апротонними електролітами.	1
9	Перерозподіл легуючої домішки в порах внаслідок лазерного опромінення.	1
	<b>Разом</b>	<b>10</b>

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
...		



## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовий модуль 1.</b>		
<b>Пори як фазово-структурні неоднорідності макро-, мікро- і наносистем.</b>		
1	Процеси самоорганізації і фрактальні структури.	8
2	Механізми утворення радіаційних пор.	8
3	Пороутворення в речовині рослинного походження.	8
4	Самоорганізація пористої структури під дією лазерного опромінення.	8
5	Фрактальне представлення структури пористих композиційних і конденсованих систем.	8
<b>Змістовий модуль 2.</b>		
<b>Нанопористий вуглецевий матеріал</b>		
5	Поверхневі функціональні групи.	5
6	Калориметрія, пікнометрія.	5
	Умови його утворення подвійного електричного шару	5
	Зміна фрактальної структури внаслідок дії лазерного опромінення	5
	<b>Разом</b>	<b>60</b>

## 9. Індивідуальні завдання

### 10. Методи навчання

Лекції, презентації, семінарські заняття, захист рефератів, індивідуальна робота

### 11. Методи контролю

Поточний контроль, контрольне тестування, реферат\_\_\_\_\_

## 12. Розподіл балів, які отримують аспіранти

Поточне тестування та самостійна робота				Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		50	100
Поточний контроль	Реферат	Поточний контроль	Реферат		
10	15	10	15		

### 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	<b>A</b>	відмінно	зараховано
80 – 89	<b>B</b>	добре	
70 – 79	<b>C</b>		
60 – 69	<b>D</b>	задовільно	
50 – 59	<b>E</b>		
26 – 49	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### 13. Методичне забезпечення

1. Рисунки, схеми.

### 14. Рекомендована література

1. Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердом теле. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 376с.
2. Черемской П.Г. Методы исследования пористости твердых тел. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112с.
3. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей эпитаксиальными и поликристаллическими пленками сульфида свинца. / П.Г. Черемской, М.Я. Фукс, О.Г. Алавердова // Вестн. Харьковск. политехн. ин-та. Металлофизика. – Харьков: “Вища школа”, 1975. - №102, вып.1. – С.63-65.
4. Дубинко В.И. Теория зарождения пор в кристаллах при высокоинтенсивном облучении // Радиационное материаловедение: Тр. Междунар. конф. (Алушта, 1990). – Т.5. – Харьков: ХФТИ – 1990. – С.112-120.
5. Черемський П.Г. Пори у конденсатах і композиційних системах. Автореферат докт. дисертації, Харків: національний університет ім. В.Н. Каразіна, 2002. – 32с.
6. Черемской П.Г. Методы исследования пористости твердых тел. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112с.
7. Inagaki M. Pores in carbon materials-importance of their control / M. Inagaki. // New Carbon Materials. – 2009. – V 24, Is 3. – P. 193-232
8. Фенелонов В.Б. Пористый углерод / В.Б. Фенелонов. – Новосибирск: Изд-во Ин-та катализа СО РАН, 1995. – 612с.
9. Махорин К.Е. Получение углеродных адсорбентов в кипящем слое / К. Махорин, А. Глухоманюк. – Киев: Наукова думка, 19836. – 160с.
10. Моделирование кинетики формирования пористой структуры активных углей / А.А. Багреев, А.В. Ледовский, Ю.А. Тарасенко, В.В. Стрелко. // Доповіді НАН України, Хімія. – 2000. – №1. – С.132-137.