

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»  
Фізико-технічний факультет  
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **ВУГЛЕЦЕВІ НАНОМАТЕРІАЛИ**

Освітня програма аспірант (PhD)

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “30” серпня 2021 р.

м. Івано-Франківськ - 2021

Робоча програма «Вуглецеві наноматеріали» для підготовки здобувачів  
третього рівня вищої освіти – доктора філософії  
спеціальності «105, Прикладна фізика та наноматеріали» “\_\_\_” \_\_\_\_\_, 2021  
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 від “30” серпня 2021 р. № 1

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

“30” серпня 2021 р. \_\_\_\_\_ Остафійчук Б.К.

Схвалено методичною радою фізико-технічного факультету.

Протокол від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Голова \_\_\_\_\_ (Яцура М.М.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань <b>10 Природничі науки</b>	<b>Вибіркова</b>	
Модулів – 1	Спеціальність (професійне спрямування): <u>105, Прикладна фізика та наноматеріали</u>	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 2		<b>2-й</b>	<b>-й</b>
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

**Мета:** відповідно до сучасних вимог забезпечити аспірантів знаннями про фізико-хімічні властивості вуглецевих наноматеріалів, методи їхнього отримання та діагностики. В курсі подано відомості про сучасний стан та перспективи розвитку досліджень нанопористих вуглецевих матеріалів, зокрема про основні напрямки їхнього застосування в пристроях накопичення та зберігання електричної енергії. Розглянуті електрохімічні процеси, які супроводжують накопичення електричної енергії. Особлива увага приділена висвітленню конкретних технологічних умов отримання вуглецевих наноматеріалів з сировини рослинного походження та вплив умов синтезу на пористу структуру, величину розвинутої поверхні, поведінку в водних та апротонних електролітах. Окрема частина курсу присвячена принципам формування пристроїв накопичення електричної енергії, оптимізації їхніх ємнісних та енергетичних характеристик за рахунок тих чи інших механізмів накопичення заряду, зокрема з використанням подвійного електричного шару, псевдоємності.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**Знати** основні поняття і терміни: пористий вуглецевий матеріал, графен, фулерен, фулерит, нанотрубки, хіральність, подвійний електричний шар, псевдоємність, водні й апротонні електроліти, імпеданс, пористість, інтеркаляція.

**Вміти** застосовувати отримані знання для отримання вуглецевих матеріалів з наперед заданими характеристиками, встановити його основні характеристики, зокрема питому поверхню, розподіл пор за розмірами, наявність поверхневих функціональних груп, питому електропровідність, сформувати пристрій накопичення електричної енергії та встановити його питому ємність, питому потужність, внутрішній опір, вияснити вплив на дані характеристики тих чи інших функціональних груп.

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

#### **Змістовний модуль 1. Отримання, структура та властивості нанопористого вуглецевого матеріалу**

##### **Тема 1. Способи отримання та модифікації нанопористого вуглецевого матеріалу**

Вимоги до вихідної сировини. Гідротермальна методика отримання нанопористого вуглецевого матеріалу. Механізми фізичної активації. Механізми хімічної активації. Термохімічно модифікований вуглецевий матеріал. Допування нанопористого вуглецевого матеріалу металам з високою густиною електронних станів. Лазерна модифікація вуглецевого матеріалу.

##### **Тема 2. Методи досліджень нанопористого вуглецевого матеріалу.**

Порометрія. Питома поверхня та розподіл пор за розмірами. Імпедансна спектроскопія. Діаграми Найквіста, їх аналіз. Термографічний аналіз. Поверхневі функціональні групи, їх виявлення і аналіз шляхом Раман і ШЧ спектроскопії. Циклічна вольтамперометрія. Вольт-фарадні характеристики.

##### **Тема 3. Моделі ПЕШ.**

Умова утворення ПЕШ. Роль хімічних потенціалів при утворенні ПЕШ. Модель Гельмгольца. Врахування концентрації електроліту і величини прикладеного потенціалу в моделі Гуї-Чемпена. Дифузійна модель ПЕШ. Модель Штерна. Сольватованість. Врахування розміру йонів електроліту. Модель Бокріса-Мюллера. Формула для товщини ПЕШ.

##### **Тема 4. Інтеркаляційні процеси в нанопористих вуглецевих матеріалах.**

Основні поняття і терміни. Методи інтеркалювання. Термічно-експозиційний, хімічно-селективний, електрохімічний. Структурні сапекти інтеркалювання. Фазові перетворення, зумовлені процесами інтеркаляції. Гоінтеркаляція і коінтеркаляція. Зарядовий стан "гостьової" підсистеми.

#### **Змістовний модуль 2. Пристрої накопичення і зберігання електричної енергії на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.**

##### **Тема 5. Принцип роботи та класифікація електрохімічних конденсаторів.**

Накопичення заряду подвійним електричним шаром. Псевдоємнісне накопичення заряду. Роль азотовмісних груп. Композити на основі нанопористого вуглецевого матеріалу. Гібридні електрохімічні конденсатори.

##### **Тема 6. Вимоги до елементів конструкції суперкондесаторів.**

Способи виготовлення електродів, їх оптимальна товщина. Взаємозв'язок між масами електродів. Сепаратор йонна і електронна провідність сепаратора. Водні і апртонні електроліти, їх провідність та напруга декомпозиції. Металічні і пластмасові корпуси: переваги і недоліки. Струмознімачі.

##### **Тема 7. Експлуатаційні характеристики суперконденсаторів.**

Питома ємність і внутрішній опір, оптимальне співвідношення між ними. Питома енергія і питома потужність. Кулонівська ефективність, її залежність від кількості циклів заряду/розряду. Використання можливості заряджати і розряджати суперконденсатор при довільних значеннях напруги. Суперконденсатори що працюють за принципом заряду/розряду ПЕШ, псевдоконденсатори, гібридні суперконденсатори, їх переваги і недоліки.

### **Тема 8. Типи рідин**

Рідини. Типи рідин і рідинних систем. Вода. Аномальні властивості води.

### **Тема 9. Електронні властивості твердих тіл**

Електронні властивості твердих тіл: основні експериментальні факти. Рівняння Больцмана. Час релаксації. Дрейф вільних носіїв заряду в твердих тілах. Механізми розсіювання носіїв заряду. Електропровідність напівпровідників і металів. Час релаксації і рухливість вільних носіїв. Залежність рухливості від температури при різних механізмах розсіювання. Температурна залежність електропровідності напівпровідників і металів. Ефект Холла. Коефіцієнт Холла і його зв'язок з параметрами напівпровідників. Залежність коефіцієнта Холла від температури. Термоелектричні явища. Ефект Зеебека. Об'ємна і контактна складові термоЕРС. Температурна залежність коефіцієнта термо-е.р.с. в напівпровідниках. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Фотопровідність, оптичне поглинання.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Модуль 1</b>						
<b>Змістовний модуль 1</b>						
<b>Отримання, структура та властивості нанопористого вуглецевого матеріалу</b>						
Тема 1. Способи отримання та модифікації нанопористого вуглецевого матеріалу	11	3	2			6
Тема 2. Методи досліджень нанопористого вуглецевого матеріалу.	9	2	1			6
Тема 3. Моделі ПЕШ.	10	3	1			6
Тема 4. Інтеркаляційні процеси в нанопористих вуглецевих матеріалах.	9	2	1			6
Разом за змістовим модулем 1	39	10	5			24
<b>Змістовний модуль 2.</b>						
<b>Пристрої накопичення і зберігання електричної енергії на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.</b>						
Тема 5. Принцип роботи та класифікація електрохімічних конденсаторів.	11	2	1			8
Тема 6. Вимоги до елементів конструкції суперконденсаторів.	10	2	1			7
Тема 7. Експлуатаційні характеристики суперконденсаторів.	10	2	1			7
Тема 8. Типи рідин	10	2	1			7
Тема 9. Електронні властивості твердих тіл	10	2	1			7
Разом за змістовим модулем 2	51	10	5			36
Усього годин	90	20	10			60

### 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. Отримання, структура та властивості нанопористого вуглецевого матеріалу</b>		
1	Способи отримання вуглецевого матеріалу	2
2	Порометрія. Питома поверхня та розподіл пор за розмірами.	1
3	Використання водних та А-протонних електролітів.	1
4	Фазові перетворення, зумовлені процесами інтеркаляції.	1
<b>Змістовий модуль 2. Пристрої накопичення і зберігання електричної енергії на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.</b>		
5	Композити на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.	1
6	Способи виготовлення електродів	1
7	Суперконденсатори що працюють за принципом заряду/розряду ПЕШ	1
8	Аномальні властивості води.	1
9	Механізми розсіювання носіїв заряду.	1
	<b>Разом</b>	<b>20</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. Отримання, структура та властивості нанопористого вуглецевого матеріалу</b>		
1	Лазерна модифікація вуглецевого матеріалу. Моделі подвійного електричного шару.	6
2	Діаграми Найквіста, їх аналіз.	6
3	Роль хімічних потенціалів при утворенні ПЕШ.	6
4	Основні поняття і терміни. Методи інтеркалювання.	6
<b>Змістовий модуль 2. Пристрої накопичення і зберігання електричної енергії на основі нанопористого вуглецевого матеріалу.</b>		
5	Псевдоємнісне накопичення заряду.	8
6	Металічні і пластмасові корпуси: переваги і недоліки.	7
7	Кулонівська ефективність, її залежність від кількості циклів заряду/розряду	7
8	Типи рідин і рідинних систем.	7
9	Термоелектричні явища. Ефекти Зеебека, Пельтьє та Томсона.	7
	<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. Будзуляк І.М., Рачій Б.І., Коцюбинський В.О., Яблонь, Морушко О.В. Синтез, структура та електрохімічні властивості нанопористого вуглецевого матеріалу та композитів на його основі. – Івано-Франківськ: ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2021, 382с.
2. Шпак А.П. Отримання та модифікація нанопористого вуглецю для молекулярних накопичувачів електричної енергії / [А.П. Шпак, І.М. Будзуляк, Р.П. Лісовський та ін.] – К.: Наукове видання. ІФМ НАН України, 2006.– 82 с. – ISBN 966-360-029-2.
3. Остафійчук Б.К. Наноматеріали в пристроях генерування і накопичення енергії / [Б.К. Остафійчук, І.М. Будзуляк, І.І. Григорчак, І.Ф. Миронюк] – Івано-Франківськ. ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2007. – 200 с. – ISBN 978-966-640-216-8.
4. Preparation and electrochemical characteristics of N-enriched carbon foam / M. Kodama, J. Yamashita, Y. Soneda, [at al.]. // Carbon. – 2007. – V. 45.– P. 1105–1107.
5. Фрумкин А. Н. Двойной слой и электродная кинетика / А. Н. Фрумкин. – М.: Наука, 1981. – 376 с.
6. Béguin F. Carbons for Electrochemical Energy Storage and Conversion Systems / F. Béguin, E. Frackowiak. – CRC Press, 2010. – 532 p.
7. Питомі енергетичні характеристики нанопористого вуглецю, активованого ортофосфорною кислотою / Б. І. Рачій, Б. К. Остафійчук, І. М. Будзуляк, Н. Я. Іванічок. // Журнал нано- та електронної фізики. –2015. – Т. 7, № 4. – С. 04077(6).
8. Nanoporous Nitrogen-containing Coal for Electrodes of Supercapacitors / B. K. Ostafiychuk, I. M. Budzulyak, B. I. Rachiy, M. M. Kuzyshyn, L. O. Shyyko. // Nanoscience and Nanotechnology Research. – 2013. – V. 1, № 2. – P. 17–22.
9. Кузишин М. М. Електрична провідність азотовмісних нанопористих вуглецевих матеріалів / М. М. Кузишин, І. М. Будзуляк, Б. К. Остафійчук, Б. І. Рачій, Р. В. Ільницький, Л. О. Мороз. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 3. – С. 497–503.
10. Вольфович Ю.М. Электрохимические конденсаторы / [Ю.М. Вольфович, Т.М. Сердюк] // Электрохимия. – 2002. – Т. 38, № 39. – С. 1043–1068.