

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора фізико-математичних наук, старшого дослідника, старшого наукового співробітника НДЛ «Спектроскопія конденсованого стану речовини» фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**ХИЖНОГО Юрія Анатолійовича**

на дисертаційну роботу **ЧЕРЕДНИЧЕНКА Сергія Володимировича**  
**«Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів»**, яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 104 «фізика та астрономія»  
(галузь знань 10 «природничі науки»)

### **Актуальність обраної теми.**

Дисертаційна робота С.В. Чередниченка присвячена дослідженню новітніх вуглецевих наноструктур, які є перспективними для використання в якості ефективних сорбентів та для створення композитів з підвищеними механічними характеристиками. Галуззю застосування таких структур як фулерен, або гідратований фулерен, є синтез новітніх структур, наприклад, таких, як полімери, котрі неможливо отримати в рівноважному стані без використання стабілізуючих металовмісних сполук, які можуть бути шкідливими домішками заміщення. Фулеренгідрат також цікавий з точки зору біофізичних застосувань, роботи в цьому напрямі вже ведуться тривалий час, досягнуті результати підтверджують можливість використання фулеренгідрату і його розчинів у фармацевтичних та біологічних цілях. Окремо слід відзначити необхідність фундаментальних досліджень механізму утворення гідратованого фулерену. Оскільки тривалий час молекула фулерену у немодифікованому стані вважалася гідрофобною, що ставилося під сумнів більш сучасними дослідженнями та працями, отриманий в даній роботі за допомогою оригінальної методики розчин немодифікованого фулерену  $C_{60}$ , безумовно, мотивує проведення подальших досліджень хіміко-фізичних властивостей  $C_{60}$ .

Можливість використання вуглецевих наноструктур в якості каталізаторів та стабілізаторів систем, що полімеризуються, або взагалі конденсуються, відкриває можливість створення чистих вуглець-вуглецевих композитів з бажаними властивостями. Гарним підґрунтям для отримання саме чистих, бездомішкових матеріалів є технології на кшталт запропонованої автором даної

дисертаційної роботи кріогенно-сублімаційної конденсації суміші парів фулерену та води.

Слід відзначити використаний в роботі цікавий підхід до покращення сорбційних властивостей та ємності лускоподібних декількашарових вуглецевих наноструктур, таких як оксид графена (ОГ). Метод обробки ОГ імпульсним розрядом в середовищі водню є простішим за відомі з літератури на момент виконання дисертаційної роботи методи, отже даний підхід є перспективним для створення газоакумуючих та газозберезних систем.

Таким чином, тема дисертаційного дослідження Чередниченка С.В. є актуальною та практично важливою.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукова новизна отриманих у дисертаційному дослідженні Чередниченка С.В. результатів полягає у наступному:

1. Виявлено підвищення сорбційних властивостей термічно відновленого оксиду графена в наслідок його обробки високочастотним імпульсним розрядом в атмосфері молекулярного водню. Дана методика хімічно-фізичної модифікації оксиду графену в атмосфері чистого водню була використана вперше.
2. Розроблено та використано кріогенно-сублімаційний метод конденсації для отримання розчину фулерену  $C_{60}$  у воді, за рахунок утворення гідратного комплексу фулерену  $C_{60}$  в процесі конденсації твердої фази на охолоджену підкладку.
3. Вперше модифікований високочастотним імпульсом в атмосфері водню термічно відновлений оксид графена (МТВОГ) додавався до поліефірної смоли з наступним утворенням композиту поліефірна смола-скловолокно-МТВОГ. Отриманий композит мав підвищені механічні характеристики – мікротвердість, ударну в'язкість, міцність при статичному вигині. Також додавання відпаленого при 300 °С оксиду графену (ТВОГ) до епоксидного компаунду підвищило міцність клейового з'єднання алюмінієвих пластин більше ніж у 3 рази.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Спираючись на нові наукові результати, які були отримані в роботі, що розглядається, можна окреслити сферу їхнього практичного застосування:

1. Отриманий автором модифікований оксид графену (МТВОГ) може успішно використовуватись для покращення механічних характеристик композитних



матеріалів на основі поліефірної смоли. Також в роботі показано, що додавання навіть невеликих кількостей відновленого оксиду графена до епоксидного клейового компаунду значно збільшує міцність клейового з'єднання. Крім того, МТВОГ має високі сорбційні властивості і може знайти застосування як сорбент для поглинання газу, або в якості фільтруючого елементу.

2. Вакуумно-криогенно-сублімаційна методика отримання як розчину фулерену у воді, так і твердої фази гідратованого фулерену, може бути використана для отримання інших твердих та рідких сумішей і систем, утворення яких за звичайних умов ускладнено, або зовсім неможливо. Зокрема, фулерен  $C_{60}$  у таких системах може відігравати роль каталізатору, інгібітору або взагалі стабілізатору.
3. Отриманий означеним вище методом гідратований фулерен та його розчин у воді можуть знайти застосування в біофізиці та, можливо, в біологічних застосунках.

Отримані в даній дисертаційній роботі результати безумовно демонструють необхідність подальших досліджень вуглецевих низьковимірних сполук (наноструктур), оскільки особливості їхніх властивостей, особливо за умов фізичної або хімічної модифікації, потребують ретельного вивчення.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність**

Результати досліджень дисертаційної роботи С.В. Чередниченка були отримані з використанням сукупності сучасних відомих методик досліджень, інтерпретація результатів яких не підлягає сумніву. Отримані результати за допомогою методів: просвітлюючої електронної мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії, УФ спектроскопії поглинання, ІЧ спектроскопії поглинання, ініційованої лазером мас-спектрометрії підтверджують наявність фази гідратованого фулерену як основної та не суперечать відомим літературним даним. Визначення сорбційних властивостей вуглецевих систем було здійснено методом термопрограмованої десорбції, який, як відомо з літературних джерел, дозволяє отримати надійні результати в широкому температурному інтервалі. Всі механічні випробування композитів в роботі були проведені за відомими стандартами ДСТУ. Спираючись на все вищевказане, можна стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків дисертації, їх достовірність знаходяться на високому рівні та не підлягають сумнівам.

### **Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації**

Матеріали дисертаційної роботи С.В. Чередниченка представлені в 3 статтях у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах SCOPUS та Web of Science. Ці три статті опубліковані в журналі квартилю  $Q_3$ , а саме – Low Temperature Physics. В даних публікаціях з достатньою повнотою представлені матеріали даної дисертаційної роботи. Вказаних публікацій достатньо для дисертаційної роботи доктора філософії згідно встановленим вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 — «Фізика та астрономія». Всі статті написано у співавторстві, в одній з трьох статей – дисертант є першим автором. Результати наукових досліджень даної дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних конференціях та семінарах, опубліковані в збірниках тез наукових міжнародних конференцій (4 тези) і відомі спеціалістам в галузі фізики. З обсягу проведеної в рамках дисертації роботи та з публікацій очевидно, що особистий вклад дисертанта в означені роботи є визначальним.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

- 1) В тексті роботи відсутні висновки або припущення щодо можливих атомно-молекулярних механізмів підвищення параметрів міцності композитів поліефірна смола-скловолокно внаслідок додавання до них обробленого розрядом оксидованого графену. Аналіз таких можливих механізмів є дуже бажаним в дисертаційній роботі, яка подається на здобуття за спеціальністю «фізика».
- 2) З тексту, що описує Рис. 5.9 б) не є зрозумілим, які саме особливості спектрів поглинання розчинів можна вважати доказами існування гідратованих фулеренів  $C_{60}@ \{H_2O\}_n$  в розчинах, одержаних вакуумно-криогенно-сублімаційним методом.
- 3) На Рис. 5.15 відсутня інформація щодо походження спектральної кривої рожевого кольору.
- 4) В тексті роботи міститься певна кількість одруківок, русизмів та елементів науково-жаргонної термінології.

Наведені зауваження жодним чином не применшують високу наукову цінність роботи та вагу одержаних в ній результатів і висновків.

#### **Загальна оцінка та висновок.**

Дисертаційна робота С.В. Чередниченка «Синтез та особливості фізичних властивостей вуглецевих наноструктур і композитів» є оригінальною,



самостійною та завершеною науковою роботою. Науковий рівень дисертації, безумовно, є високим; новизна, наукове та практичне значення отриманих результатів не викликає сумнівів. Отже робота Чередниченка С.В. за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом і оформленням повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами від 12 березня 2022 р. № 341, від 19 травня 2023 р. №502 та від 03 травня 2024 р. №507, а її автор, Чередниченко Сергій Володимирович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 — «Фізика та астрономія» з галузі знань 10 — «Природничі науки».

**Опонент:**

**старший науковий співробітник**

**НДЛ «Спектроскопія конденсованого стану речовини»**

**фізичного факультету**

**Київського національного університету**

**імені Тараса Шевченка**

**доктор фізико-математичних наук,**

**старший дослідник**



**Юрій ХИЖНИЙ**

Підпис Хижного Ю.А. звсвідчую

Заступник декана з наукової роботи

фізичного факультету

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка



**Сергій ЗЕЛЕНСЬКИЙ**