

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Баснукаєвої Разет Магомедівни**

**«Особливості кінетики низькотемпературної сорбції газів вуглецевими наноструктурами»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.09 – «фізика низьких температур»

Відкриття нових надструктурних форм речовин, зокрема нових алотропних модифікацій вуглецю: фулеренів, вуглецевих нанотрубок, графену внесло істотні корективи в розвиток багатьох напрямків матеріалознавства. Вивчення будови і властивостей вуглецевих наноструктур диктується як природним ходом розвитку фізики конденсованого стану, так і запитами практики. До числа найменш вивчених розділів відносяться сорбційні властивості наноструктур при низьких температурах. Тому **актуальність** тематики цієї дисертаційної роботи видається очевидною і не вимагає додаткових доказів.

Дисертаційна робота Р.М. Баснукаєвої присвячена експериментальному встановленню впливу квантових ефектів і дефектів структури на сорбційні властивості і кінетику насичення вуглецевих наноструктур атомарними і молекулярними домішками. Детально вивчено вплив склування фулерита  $C_{60}$  на дифузію атомарних і молекулярних домішок. Слід особливо відзначити оригінальний газоаналізатор для якісного і кількісного аналізу газів, десорбованих з вуглецевих наноструктур, а також особистий внесок автора у створення і розвиток унікальних зазначених методик. Згадана унікальна низькотемпературна методика забезпечила необхідну **надійність** і **достовірність** отриманих даних.

**Актуальність досліджень підтверджується також тим, що експерименти, які становлять основний зміст дисертації, проведено у відділі теплових властивостей молекулярних кристалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України у відповідності з відомчими тематиками: «Молекулярні тверді тіла і наноструктури при низьких температурах» (номер**

державної реєстрації 0107U0094, термін виконання 2007–2011 рр.), «Елементарні збудження і фазові стани простих молекулярних твердих тіл і наноструктур» (номер державної реєстрації 0112U002639, термін виконання 2012–2016 рр.), а також були підтримані в рамках наукових проектів: «Квантові явища в наносистемах і наноматеріалах при низьких температурах» в рамках наукової програми НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» (номер державної реєстрації 0110U00685, термін виконання 2010–2014 рр.) та «Квантові та розмірні ефекти в сорбційних властивостях і електропровідності оксида графена» (номер державної реєстрації 0113U005495, термін виконання 2013–2014 рр.). Одночасно список тем, наведений вище, засвідчує **зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.**

До безумовної переваги роботи слід віднести отримання результатів, які мають перспективи їх **практичного використання**, зокрема при розробці пристроїв газового зберігання, що функціонують при низьких температурах, в тому числі, в умовах космосу. Крім того, розроблені в дисертації унікальні методики дослідження сорбційних властивостей вуглецевих наноструктур з успіхом можуть бути застосовані для вивчення інших наносистем. Самостійний інтерес для водневої енергетики представляють дані щодо збільшення сорбції водню при опроміненні вуглецевих нанотрубок  $\gamma$ -квантами.

У дисертаційній роботі отримана досить велика і оригінальна інформація відносно сорбційних властивостей вуглецевих наноструктур, як в початковому стані, так і опроміненних. У цій ситуації доцільно відзначити лише найбільш суттєві результати, що визначають актуальність, **наукову та прикладну значущість роботи.**

1. Вперше виявлено, що ефект склування фулериту  $C_{60}$  приводить до десятикратного зменшення енергії активації при дифузії важкої домішки аргону у фулериті. Встановлено, що зменшення енергії активації пояснюється виникненням в результаті склування напрямків, у яких суттєво знижені потенційні бар'єри, що розділяють міжвузлові порожнини ґратки фулериту.

2. Вперше встановлено, що температурні залежності характерних часів сорбції і десорбції зразками джгутів одностінних вуглецевих нанотрубок легких домішок, а

саме:  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  і  $\text{Ne}$ , мають максимум. Виявлено, що його поява зумовлена наявністю двох механізмів дифузії домішок, які відповідають за зменшення характерних часів сорбції: термоактиваційного, який домінує при температурах вище температури максимуму, і тунельного, який переважає при низьких температурах. Показано, що значення температури максимуму зменшуються зі зростанням молекулярної ваги домішок та зі зростанням енергії їх взаємодії з нанотрубками.

3. Виявлено значний вплив кисневмісних груп на сорбційні властивості оксиду графена. Встановлено, що їх видалення при відновленні гідразинном оксиду графену підвищує вшестеро його сорбційну ємність. Цей ефект посилюється при проникненні домішок у міжшаровий простір оксиду графену крізь дефекти поверхні, що виникають при видаленні кисневмісних груп.

Перелічені **принципові результати є новими, вперше отриманими** в роботах автора.

Всі результати дисертації було докладно і своєчасно викладено в 5 публікаціях у провідних наукових реферованих журналах за фахом, як вітчизняних, так і міжнародних. Також основні результати роботи добре відомі, оскільки вони пройшли апробацію на великій кількості профільних наукових конференцій в Україні і за кордоном, тези доповідей було опубліковано у відповідних збірниках.

Враховуючи вищесказане і беручи до уваги надійність та сучасний рівень експериментальної бази, а також і сучасний методологічний рівень роботи можна з упевненістю стверджувати, що **отримані автором результати є достовірними та обґрунтованими.**

Отримані результати можуть бути використані науковими організаціями, які проводять експериментальні і теоретичні дослідження фізичних властивостей вуглецевих наноматеріалів: в Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Інституті фізики НАН України, Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Одеському національному університеті

ім. І. І. Мечникова МОН України, Інституті радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

Дисертація написана, в основному, ясною мовою та належним чином оформлена. Текст автореферату повністю відображає зміст дисертації.

**До змісту дисертації та її оформлення є такі зауваження:**

- в описі методики десорбційного експерименту наведена похибка методу (6% маси домішки), проте не вказано, в якому температурному інтервалі визначалася похибка, і як вона залежить від температури вимірювань, хоча така залежність напевно є. Нажаль, не визначена також чутливість методу.
- у розділі 4.3 до розрахунку коефіцієнта дифузії входить довжина дифузійного шляху, яка зіставляється з довжиною нанотрубок. Однак, відомо, що одностінні вуглецеві нанотрубки зазвичай утворюють джгути, які об'єднують до сотні і більше трубок. Очевидно, що в такому об'єкті дифузія може відбуватися не тільки уздовж осей трубок.

Треба відмітити, що наведені зауваження не змінюють загальну високу оцінку роботи і не торкаються сутності проведених досліджень.

**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Дисертація є завершеною науковою працею, що містить нові експериментальні результати в фундаментальній галузі знань про особливості кінетики низькотемпературної сорбції газів вуглецевими наноструктурами. Основні результати стимулюють подальший розвиток фізики конденсованого стану при низьких температурах: фізики низьковимірних систем, квантових явищ у наноструктурах, динаміки молекулярних домішок у кристалах і вуглецевих наносистемах.

Таким чином, в роботі **Р.М. Баснукаєвої** вирішена важлива задача в області фізики низьких температур, а саме: експериментально встановлено вплив квантових ефектів та дефектів структури на сорбційні властивості і кінетику насичення

вуглецевих наноструктур атомарними і молекулярними домішками. У цілому дисертаційна робота Р.М. Баснукаєвої являє собою завершене наукове дослідження.

Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, рівнем і кількістю наукових публікацій, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота Р.М. Баснукаєвої **«Особливості кінетики низькотемпературної сорбції газів вуглецевими наноструктурами»** відповідає всім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор Баснукаєва Разет Магомедівна **заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук** за спеціальністю 01.04.09 – «фізика низьких температур».

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, декан фізичного факультету  
Харківського національного університету  
імені В.Н. Каразіна МОН України

Вовк Р.В.

*Лідше проф. Вовк Р.В.  
Завідую. Начальник В.В. ХКУ  
МОН України*