

Рішення
Разової спеціалізованої вченої ради про присудження
ступеня доктора філософії

Разова спеціалізована вчена рада Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова Національної академії наук України (ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАН України) за ID номером PhD 10966 прийняла рішення про присудження **Сухенку Ігорю Віталійовичу** наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали на підставі прилюдного захисту дисертації « **Електронна структура апатитів свинцю та кальцію, допованих перехідними металами та карбонат-іонами**».

10 листопада 2025 року.

Сухенко Ігор Віталійович, 1998 року народження, громадянин України.

Освіта вища: у 2021 році завершив навчання в Центральній школі Ліона (Франція) за спеціальністю “Нанонауки та нанотехнології” та отримав диплом магістра.

Впродовж 2022-2025 рр. навчався за освітньо-науковою програмою підготовки здобувачів третього рівня вищої освіти за спеціальністю “Прикладна фізика та наноматеріали” в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова Національної академії наук України, де виконував дисертаційну роботу. Під час навчання неодноразово брав участь у конференціях та школах різного рівня за напрямками прикладної фізики та наноматеріалів.

Науковий керівник – Карбівський Володимир Леонідович, доктор фізико-математичних наук, професор.

Здобувач має 12 наукових публікацій за темою дисертації, з яких 4 статей, опублікованих у наукових фахових виданнях світу (серед них 4 статті у журналі, що індексується в наукометричній базі даних Scopus), а також 8 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня.

Список публікацій додається:

- Публікації в наукових журналах

1. **Sukhenko I. V.**, Karbivskyy V. L. Reflecting on the LK-99 fervour: insights and future prospects // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2024. — Dec. — Vol. 37, no. 8. — P. 083002. <https://doi.org/10.1088/1361-648x/ad9804>
2. Karbivskyy V., Kurgan N., Hantusch M., Romansky A., **Sukhenko I.**, Karbivska L. Design of the electronic structure and properties of calcium apatites via isomorphic modification of the cation sublattice, and prospects of their application // Journal of Applied Physics. 2024. Vol. 135, № 6. C. 065102. (AIP Publishing). <https://doi.org/10.1063/5.0179754>

3. Soroka A. P., **Sukhenko** I. V., Kasianenko V. H., Karbivskii V. L., Karbivska L. I., Smolyak S. S. Electronic structure of calcium and cadmium arsenate apatites // Low Temperature Physics. 2025. Vol. 51, № 3. С. 375–383. <https://doi.org/10.1063/10.0035843>
4. **Sukhenko**, I. V., Karbivskyi, V. L., Kurgan, N. A., Nedilko, S. A., Ivanov, O. V., Kliuienko, L. P. (2025). Electronic structure of carbonate-containing lead and calcium apatites. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 282, 147563. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2025.147563>

- *Тези доповідей на конференціях*

1. Kurgan N.A., Karbivskyi V.L., **Sukhenko I.V.**, Smolyak S.S.. Physical properties of lead oxoapatites // X Ukrainian scientific conference on physics of semiconductors (USCPS-10). May 26–30, 2025, Uzhhorod, Ukraine. P. 69.
2. Kurgan N.A., Karbivskyi V.L., **Sukhenko I.V.**, Shulyma S.I.. Structure and optical properties of lead vanadate apatite with copper substitution // X Ukrainian scientific conference on physics of semiconductors (USCPS-10). May 26–30, 2025, Uzhhorod, Ukraine. P. 75.
3. **Sukhenko I.V.** Claim of discovery of a room-temperature superconductivity in copper-substituted lead apatite: a review (2023) // Всеукраїнська конференція «Сучасне матеріалознавство. Матеріали та технології» (СММТ-2023).
4. **Сухенко І.В.**, Карбівський В.Л. Модифікація електронної структури кальцієвих апатитів шляхом ізоморфних заміщень (2023) // Всеукраїнська конференція «Сучасне матеріалознавство. Матеріали та технології» (СММТ-2023).
5. **Sukhenko I.V.**, Shulyma S.I. Beyond LK-99: first-principles study of the crystal & electronic structure of copper-substituted lead vanadate apatite // 12th International Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2024), August 21–24, 2024, Uzhhorod, Ukraine. P. 429. <https://nano-conference.iop.kiev.ua/proceedings/>
6. Smolyak S.S., Kurgan N.A., **Sukhenko I.V.**, V.L. Karbivskyi. Aspects of electronic structure of hydroxypyromorphite surface – $\text{Pb}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ // XX International Scientific Conference "Electronics and Applied Physics" – APHYS 2024. October 22–25, 2024, Kyiv, Ukraine. P. 78. http://www.aphys.knu.ua/images/APHYS_Book_2024_content.pdf.
7. **Sukhenko I.V.**, Karbivskyi V.L., Kurgan N.A.. First-principles study of magnetic ground states of a copper–lead apatite series // XX International Scientific Conference "Electronics and Applied Physics" – APHYS 2024. October 22–25, 2024, Kyiv, Ukraine. P. 39. http://www.aphys.knu.ua/images/APHYS_Book_2024_content.pdf
8. **Sukhenko I.V.**, Karbivskyi V.L., Kurgan N.A., Shvachko N.K., Zaika V.V., Smolyak S.S., Shulyma S.I.. Electronic structure, orders and correlations in copper-substituted lead apatites probed via DFT+DMFT // 30th International Conference on Low Temperature Physics. August 7–13, 2025, Bilbao, Spain. P. 522. <https://www.lt30.es/wp-content/uploads/2025/08/Book-of-abstract-pdf>

У науковій дискусії взяли участь голова та члени спеціалізованої вченої ради:

д.ф.-м.н. Касаткін Олександр Леонідович, провідний науковий співробітник відділу надпровідності Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (голова разової спеціалізованої вченої ради). Оцінка позитивна без зауважень.

д.ф.-м.н. Радченко Тарас Михайлович, професор, завідувач відділу теорії металічного стану Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (рецензент). До роботи рецензентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. В тексті дисертації містяться граматичні та друкарські помилки, а також кальки з англійської. Об'єктом дослідження в роботі слугують апатитові (або апатитоподібні) сполуки, а не «апатитні», як називає їх дисертант, починаючи з першого речення вступу. Позначення на рисунках коректніше подавати мовою тексту в дисертації, а якість останніх заслуговує бути ліпшою, принаймні зі збільшеними позначеннями на осях графіків задля кращої візуалізації.
2. В експериментальній частині розділу 6 йдеться про сполуки $\text{Pb}_9\text{Cu}(\text{VO}_4)_6(\text{OH})_2$ і $\text{Pb}_{10}\text{Cu}(\text{VO}_4)_6(\text{OH})_2$. Видається доцільним включення її й до теоретичного аналізу.
3. У Рентгеновій фотоелектронній спектроскопії варто чіткіше фіксувати обмеження на ширини та відносні інтенсивності дублетів задля підвищення відтворюваності.
4. У тому ж таки розділі 6 твердження про інверсію чи торкання зон виглядало б переконливішим за наявності відповідних розрахунків, зокрема топологічного інваріанту.
5. З огляду на виявлену конкуренцію магнітних станів, наступним кроком виглядає обчислення спектрів спінових збуджень.

Всі недоліки, зазначені вище, жодною мірою не применшують загальної високої оцінки роботи та мають характер рекомендацій для подальших досліджень.

к.ф.-м.н. Михайлова Галина Юріївна, старший науковий співробітник відділу електронної структури та електронних властивостей Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (рецензент). До роботи рецензентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. У тексті роботи не надано розшифрування деяких скорочень при першому згадуванні, наприклад FTIR, а загальний перелік умовних скорочень відсутній.

2. Місцями зустрічаються недоліки в оформленні роботи, наприклад не перекладені з англійської мови підписи по осях на більшості рисунків.
3. Для дослідження структури було б корисно застосувати аналіз Рітвельда, який дозволив би оцінити як і реальну кількість атомів міді на комірку, так і позицію заміщення.

На всі зауваження та побажання здобувачем було надано ґрунтовні відповіді, які були схвалені рецензентом. Зауваження не вплинули на оцінку роботи. Враховуючи актуальність та новизну роботи, високий рівень наукових публікацій здобувача та володіння ним відповідними знаннями, загальна оцінка роботи є позитивною.

Хижун Олег Юліанович – доктор фізико-математичних наук (01.04.07 – фізика твердого тіла), старший дослідник, завідувач відділу спектроскопії поверхні новітніх матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України (опонент). До роботи офіційним опонентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. У розділі 3, в котрому детально вивчена електронна структура та UV-Vis спектри сполук, стверджується, що "Рентгенівська дифракція (XRD) підтвердила однофазний апатит у всіх випадках." (стор. 71). Для підтвердження цього факту, в дисертаційній роботі варто було б навести дані XRD досліджень цих зразків.
2. У випадку XRD результатів у складних РЬ-вмісних системах, де очікуються зниження симетрії ($P6_3/m - P3$ (PI)) та є неоднозначність щодо кристалоструктурних позицій заміщення, було б корисно побачити більш розгорнуту аргументацію із застосуванням аналізу Рітвельда.
3. У блоках XPS вимірювань з1 складною деконволююю спектру (мультикомпонентні O 1s і РЬ 4f рівні) варто було б чіткіше наголосити на критеріях добору ліній (обмеження ширин/зсувів, співвідношення спин-орбітальних дублетів), щоб зняти потенційні питання відтворюваності результатів дослідження.
4. Висновок стосовно металічності та магнітних властивостей досліджуваних сполук бажано було б підтвердити вимірюваннями транспортних властивостей (наприклад, електропровідності) та вимірами магнітної сприйнятливості.

Проте, ці зауваження ніяк не впливають на загальну високу оцінку наукового рівня дисертації.

к.ф.-м.н. **Плющай Інна Вячеславівна**, доцент кафедри фізики металів фізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (опонент). До роботи офіційним опонентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. Бажано було би чіткіше обґрунтувати збіжність параметрів розрахунку. У розділі 2 (Методи) зазначено використання сіток Монкгорста-Пака з густиною $4 \times 4 \times 6$ для геометричної оптимізації та $6 \times 6 \times 8$ для розрахунку

густини станів. Однак у роботі не подано систематичного аналізу збіжності за ключовими параметрами розрахунку. Зокрема, відсутні тести збіжності по енергетичній обрізці плоских хвиль, не показано збіжність результатів по розміру надкомірки для систем із заміщеннями, не проведено систематичного дослідження збіжності по густині k-точок. Це важливо для перевірки достовірності отриманих енергетичних відмінностей між структурами.

2. Бажано було б надати більше інформації, зокрема порівняння з результатами інших дослідників, щодо перевірки енергетичної стабільності альтернативних структур. Для складних оксидів та фосфатів системи Pb–Cu можливі декілька локальних мінімумів енергії, тому доцільно було б перевірити та обговорити, чи обрана структура є дійсно глобальним мінімумом.
3. Для ключових висновків щодо плоских зон і впливу спінової поляризації доцільно було б у основному тексті подати елементи моделі сильного зв'язку, що полегшило б інтерпретацію потенційних топологічних інваріантів. Бажано також більш детально проаналізувати взаємозв'язок між локалізацією електронів і виникненням плоских зон.
4. Позитивною рисою роботи є наявність якісного порівняння розрахованих та експериментальних спектрів. Додаткової цінності отриманим результатам, на мою думку, надала б оцінка похибок експериментально-обчислювального узгодження. Автор подає хорошу якісну відповідність XPS/FTIR результатів і DFT-розрахунків, однак не наводить кількісного порівняння енергій зв'язків або положень максимумів спектрів. Бажано було б також провести детальніше порівняння розрахованих і експериментальних параметрів ґратки для всіх досліджених систем.
5. Як побажання, варто було б додати розділ, що порівнює отримані результати з існуючими базами даних або попередніми DFT-розрахунками інших авторів. Таке порівняння є важливим для підтвердження достовірності та новизни отриманих результатів.

На всі зауваження та побажання здобувачем було надано ґрунтовні відповіді, які були схвалені опонентом. Зауваження не вплинули на оцінку роботи. Враховуючи актуальність та новизну роботи, високий рівень наукових публікацій здобувача та володіння ним відповідними знаннями, загальна оцінка роботи є позитивною.

Результати відкритого голосування:

“За” – 5 (п'ять);

“Проти” – немає;

“Утримались” – немає.

**РАЗОВА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА
ІНСТИТУТУ МЕТАЛОФІЗИКИ
ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАН УКРАЇНИ
УХВАЛИЛА:**

1. Дисертація Сухенка Ігоря Віталійовича на тему «Електронна структура апатитів свинцю та кальцію, допованих перехідними металами та карбонат-іонами», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали, є завершеним самостійним науковим дослідженням і відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022 р., № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024.

2. Присудити Сухенку Ігорю Віталійовичу ступінь доктора філософії в галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

3. Рішення разової спеціалізованої вченої ради затвердити і передати до відділу науково-організаційного забезпечення наукових досліджень Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України.

4. Відділу науково-організаційного забезпечення наукових досліджень Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України підготувати наказ про видачу Сухенку Ігорю Віталійовичу диплома доктора філософії та додатку до нього європейського зразка.

Голова разової
спеціалізованої вченої ради
доктор фізико-математичних наук,

старший дослідник

Олександр КАСАТКІН

*Підпис Олександра Касаткіна засвідчує:
вчений секретар Інституту металофізики
ім. Г.В. Курдюмова НАН України
К.Ф. - М.К.*

