

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.018 / PhD 16957 Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, м. Харків, прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» на підставі прилюдного захисту дисертації **ЯРОВОГО Валерія Михайловича** «Особливості поведінки магнітоопору в твердих розчинах Bi-Mn з низьким вмістом марганцю» 09 жовтня 2026 року.

Здобувач ступеня доктора філософії **ЯРОВИЙ Валерій Михайлович**, 1998 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2021 році Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України за спеціальністю «Енергетичне машинобудування», на момент захисту здобуває освіту в аспірантурі Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Фізика» Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України.

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом керівника Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України від «14» серпня 2026 року № 97-ОД у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради – **Юрія Георгійовича НАЙДЮКА**, доктора фізико-математичних наук, члена-кореспондента НАН України, професора, головного наукового співробітника відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України;

Рецензентів:

– **Валентини Анатоліївни СІРЕНКО**, доктора фізико-математичних наук, професора, провідного наукового співробітника відділу магнітних і пружних властивостей твердих тіл Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України;

– **Михайла Олеговича ДЗЮБИ**, кандидата фізико-математичних наук, наукового співробітника відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України;

Офіційних опонентів

– **Леоніда Васильовича ДЕХТЯРУКА**, доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

– **Ксенії Олександрівни МІНАКОВОЇ**, кандидата фізико-математичних наук, старшого дослідника, професора кафедри мікро- та наноелектроніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» на засіданні «09» жовтня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки **Валерію ЯРОВОМУ**, на підставі публічного захисту дисертації «Особливості поведінки магнітоопору в твердих розчинах Bi–Mn з низьким вмістом марганцю» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Дисертацію виконано у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, м. Харків.

Науковий керівник – **Андрій Валерійович ТЕРЕХОВ**, доктор фізико-математичних наук, старший дослідник, завідувач відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису українською мовою. Зміст, структура та обсяг дисертації відповідають нормативним вимогам пункту 6 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 року № 44 (зі змінами).

Здобувач має 13 наукових публікацій за темою дисертації, з них 3 статті у провідних міжнародних фахових виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science:

1. A. V. Terekhov, K. Rogacki, **V. M. Yarovy**, V. B. Stepanov, Y. U. A. Kolesnichenko, A. D. Shevchenko, Z. D. Kovalyuk, E. Lähderanta, A. L. Solovjov, “Magnetoresistance peculiarities of Bi_{95.69}Mn_{3.69}Fe_{0.62} in magnetic fields up to 140 kOe,” *Low Temperature Physics*. vol. 49, no. 8, pp. 998–1003, 2023 <https://doi.org/10.1063/10.0020170> (Q3)

2. A. V. Terekhov, K. Rogacki, **V. M. Yarovy**, Z. D. Kovalyuk, E. Lähderanta, E. V. Khristenko, A. L. Solovjov, “Features of temperature dependences electrical resistance of Bi_{88.08}Mn_{11.92} in magnetic fields,” *Low Temperature Physics*. vol. 50, no. 7, pp. 543–548, 2024. <https://doi.org/10.1063/10.0026270> (Q4)

3. A. V. Terekhov, **V.M. Yarovy**, Yu.A. Kolesnichenko, K. Rogacki, E. Lähderanta, V. Khristenko, A. L. Solovjov, “Specific features of the magnetic field

У дискусії взяли участь голова і члени разової спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

1. Оponent **Леонід Васильович ДЕХТЯРУК**, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка надав позитивний відгук на дисертаційну роботу. Можна стверджувати, що результати, отримані в дисертаційній роботі, мають, як фундаментальне, так і прикладне значення. Встановлені закономірності впливу концентрації Mn, температури та орієнтації магнітного поля відносно транспортного струму можуть бути використані для вибору оптимального складу матеріалу та режимів його роботи. Отримані результати створюють наукові передумови для подальшого дослідження твердих розчинів системи Bi–Mn як перспективних матеріалів для магніточутливих резистивних елементів, систем контролю магнітних полів і спинтронних пристроїв.

При цьому він вказав, що за змістом дисертації можна зробити такі зауваження:

- 1) При порівнянні твердих розчинів $\text{Bi}_{95.69}\text{Mn}_{3.69}\text{Fe}_{0.62}$ та $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ основна увага приділяється впливу зміни концентрації Mn. Водночас, перший зразок додатково містить 0,62 ат. % Fe, тому доцільно було б детальніше обговорити можливий вплив цієї домішки на електротransпортні властивості.
- 2) У роботі вплив концентрації Mn на магнітотransпортні властивості твердих розчинів пов'язується, зокрема, зі збільшенням вмісту магнітної фази $\alpha\text{-BiMn}$. Водночас, кількісний вміст цієї фази та характер її розподілу в об'ємі зразків безпосередньо не визначався, а її наявність встановлювалася на підставі даних елементного і структурного аналізу та фазової діаграми системи Bi–Mn.
- 3) Максимуми магнітоопору, виявлені при 5 K у полях приблизно 30–40 кЕ, пов'язуються з можливим наближенням електронної системи вісмуткової матриці до квантової межі. На мій погляд, така інтерпретація потребувала б додаткового прямого експериментального підтвердження, наприклад, дослідження квантових осциляцій або рівнів Ландау.
- 4) У дисертації інтерпретація магнітотransпортних властивостей значною мірою ґрунтується на зміні рухливості носіїв заряду та співвідношення внесків електронного і діркового каналів. Водночас, безпосередні вимірювання ефекту Холла, які дали б змогу незалежно оцінити концентрацію та рухливість носіїв, у роботі не наведені.
- 5) На жаль, у роботі не наведено результатів безпосередніх досліджень магнітних властивостей зразків. У зв'язку з цим виникає питання, як змінюється магнітна структура фази $\alpha\text{-BiMn}$ з температурою та чи впливає на її магнітний стан збільшення концентрації марганцю в досліджених твердих розчинах?

Наведені зауваження можна сприймати радше як побажання, які жодним чином не впливають на загальну високу оцінку роботи.

Загальний висновок полягає у тому, що дисертаційна робота Валерія ЯРОВОГО є завершеною науковою працею, що повністю відповідає за явлень спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Отримані результати повністю відповідають заявленій меті дослідження, а сам здобувач заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 - Природничі науки, за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

2. Опонент **Ксенія Олександрівна МІНАКОВА**, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, професор кафедри мікро- та наноелектроніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» надала позитивний відгук на дисертаційну роботу Валерія ЯРОВОГО та вказала, що, в цілому одержані результати розширюють уявлення про механізми магнітотранспорту в системі Bi-Mn і мають потенційне практичне значення. Результати роботи створюють наукові передумови для дослідження можливостей застосування твердих розчинів Bi-Mn у магніточутливих резистивних елементах, засобах контролю магнітних полів, безконтактних вимірювачах струму, спінтронних пристроях та окремих напрямках квантових технологій. При цьому, за змістом дисертації можна зробити такі зауваження:

1) У дисертаційній роботі показано перспективність використання твердих розчинів Bi-Mn як магніточутливих матеріалів. Водночас для оцінки можливості їх практичного застосування було б доцільно визначити такі параметри, як польова чутливість, робочий діапазон магнітних полів, ступінь лінійності магніторезистивного відгуку та температурний інтервал найбільш ефективної роботи.

2) З огляду на перспективу використання досліджених матеріалів у магніточутливих елементах було б корисно оцінити стабільність їх електротранспортних характеристик за багаторазового температурного та магнітопольового циклювання. Для практичних пристроїв важливими є не лише велика величина магнітоопору, а й відтворюваність сигналу, довготривала стабільність та відсутність істотного дрейфу параметрів.

3) Найбільші зміни магнітоопору досліджувалися в досить сильних магнітних полях. У зв'язку з цим було б доцільно чіткіше визначити, для яких саме практичних застосувань досліджені тверді розчини можуть бути найбільш перспективними: для вимірювання сильних магнітних полів, кріогенної сенсорики чи для роботи в області слабших полів і температур, близьких до кімнатної. Доцільним було б також порівняти їх основні робочі характеристики з іншими магніторезистивними матеріалами.

Висловлені зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота має логічну структуру, послідовний виклад матеріалу та виконана на належному науковому рівні. Представлені результати характеризуються новизною, науковою значущістю та відповідають поставленій меті й завданням дослідження. Основні положення дисертації достатньо повно відображені у публікаціях здобувача, які також засвідчують його особистий внесок у виконання роботи. За своїм змістом дисертація є завершеним і цілісним науковим дослідженням та повністю відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та необхідним вимогам, а її автор, Валерій ЯРОВИЙ, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - «Фізика та астрономія» галузі знань 10 - «Природничі науки».

3. Рецензент **Валентина Анатоліївна СІРЕНКО**, доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу магнітних і пружних властивостей твердих тіл Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України позитивно оцінила дисертаційну роботу Валерій ЯРОВОГО та висловила наступні зауваження:

1) Структурний аналіз зразків проводився при кімнатній температурі, тоді як на температурній залежності опору $\text{Bi}_{88,08}\text{Mn}_{11,92}$ спостерігається характерний перегин поблизу 70 К. Було б цікаво доповнити роботу температурно-залежними структурними дослідженнями, які дозволили б остаточно виключити можливий структурний внесок у появу цієї особливості.

2) Порівняння температурних залежностей електричного опору досліджених твердих розчинів із чистим вісмутом проведено безпосередньо лише для конфігурації $H \perp I$ у магнітному полі 30 кЕ. Враховуючи важливу роль Bi -матриці в запропонованій інтерпретації результатів, бажано було б розширити таке експериментальне порівняння на інші значення магнітного поля та обидві геометрії вимірювання.

3) У дисертаційній роботі основну увагу приділено вимірюванням електричного опору та магнітоопору. Які інші експериментальні методи дослідження могли б бути використані для більш повного з'ясування механізмів електричного транспорту в твердих розчинах Bi-Mn і яку додаткову інформацію вони могли б надати?

Зазначені зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

У цілому дисертація Валерія ЯРОВОГО є самостійним, цілісним і завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові результати, сформульовано аргументовані висновки та розв'язано поставлені наукові завдання. Представлені в дисертації висновки ґрунтуються на достовірних експериментальних результатах, одержаних здобувачем, логічно пов'язані з метою та завданнями роботи й належним чином обґрунтовані. Дисертація характеризується внутрішньою цілісністю, послідовністю викладу. З огляду на викладене вважаю,

що Валерій ЯРОВИЙ заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - «Фізика та астрономія» галузі знань 10 - «Природничі науки».

4. Рецензент **Михайло Олегович ДЗЮБА**, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України надав позитивну рецензію на дисертаційне дослідження Валерія ЯРОВОГО і високо його оцінив. При цьому він вказав на такі свої зауваження:

1) У роботі вплив концентрації марганцю на магнітотранспортні властивості встановлюється шляхом порівняння двох складів із вмістом Mn 3,69 та 11,92 ат. %. Було б доцільно окремо обговорити, наскільки встановлені закономірності можуть бути поширені на весь інтервал низьких концентрацій Mn та чи можливе існування немонотонної концентраційної залежності магнітоопору між дослідженими складами.

2) Для $\text{Bi}_{88,08}\text{Mn}_{11,92}$ у діапазоні 4–14 К встановлено залежність $R \sim T^2$. У роботі зазначається, що подібна поведінка у чистому вісмуті може бути пов'язана як зі специфічним міждолинним електрон-фононним розсіюванням, так і з електрон-дірковою взаємодією. Було б не зайвим більш детально обговорити, який із цих механізмів є найбільш імовірним для дослідженого твердого розчину та чи може фаза $\alpha\text{-BiMn}$ додатково впливати на квадратичний характер залежності.

3) У роботі детально порівнюється магнітоопір твердих розчинів Bi–Mn із двома концентраціями марганцю в конфігураціях $H \perp I$ та $H \parallel I$. Водночас використана експериментальна система дає змогу змінювати орієнтацію зразка в діапазоні кутів 0–360°, тому для більш повної кількісної характеристики анізотропії магнітоопору було б доцільно провести відповідні вимірювання та навести його кутові залежності.

Наведені зауваження є побажаннями, які жодним чином не впливають на загальну високу оцінку роботи.

Підсумовуючи, рецензент зазначив, що дисертаційна робота Валерія ЯРОВОГО «Особливості поведінки магнітоопору в твердих розчинах Bi–Mn з низьким вмістом марганцю» є оригінальною, завершеною науковою працею та відповідає усім необхідним вимогам, містить обґрунтовані висновки, сформульовані на основі достовірних результатів, отриманих здобувачем, характеризується єдністю змісту та відповідає принципам академічної доброчесності. Її автор, Валерій ЯРОВИЙ безумовно заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

5. Голова разової спеціалізованої вченої ради **Юрій Георгійович НАЙДЮК**, доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України, професор, головний науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії Фізико-

технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України дав високу оцінку роботі, вказав на її актуальність та наукову новизну, що досягнуто використанням дисертантом сучасних експериментальних методів для комплексного дослідження електротransпортних і магнітотransпортних властивостей. Відзначив, що дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові результати, які можуть мати практичну цінність для спінтроники та сенсорики, а її автор заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Загальна оцінка роботи і висновок:

Дисертація **ЯРОВОГО Валерія Михайловича** «Особливості поведінки магнітоопору в твердих розчинах Bi-Mn з низьким вмістом марганцю» є завершеною науковою працею, що становить вагомий внесок у розвиток фізики конденсованого стану, зокрема в поглиблення уявлень про механізми формування магнітоопору та особливості електричного транспорту в багатокомпонентних матеріалах на основі вісмуту. В роботі проведено комплексне дослідження електротransпортних і магнітотransпортних властивостей текстурованих полікристалічних твердих розчинів системи Bi-Mn з різним вмістом марганцю. Здійснено порівняльний аналіз поведінки електро- та магнітоопору досліджених матеріалів, що дало змогу встановити закономірності формування великого додатного й анізотропного магнітоопору та визначити роль вісмутової матриці, магнітної фази $\alpha\text{-BiMn}$ і текстурованої полікристалічної структури. Запропоновано узагальнене пояснення механізмів магнітоопору з урахуванням багатозонного та багатодолиного характеру електронної структури вісмуту, орбітального ефекту, спин-залежного розсіювання носіїв заряду, внутрішнього магнетизму фази $\alpha\text{-BiMn}$, а за низьких температур – наближення електронної системи до квантової межі та перебудови рівнів Ландау. Отримані результати становлять значний інтерес для фізики твердого тіла та можуть бути корисними для подальшого пошуку й розроблення матеріалів із великим та керованим магнітоопором, що становить безпосередній практичний інтерес.

Наукові положення, які винесені на захист, є добре обґрунтованими і узгоджуються із сучасними теоретичними уявленнями, а їх достовірність забезпечується використанням сучасних експериментальних методів, детальними дослідженнями температурних і магнітопольових залежностей електричного опору в широкому інтервалі температур і магнітних полів, а також порівняльним аналізом матеріалів із різним вмістом марганцю для двох взаємних орієнтацій магнітного поля та транспортного струму.

Результати досліджень, наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать автору. Робота виконана з дотриманням усіх вимог академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших

авторів мають посилання на відповідне джерело. За кількістю і рівнем публікацій, апробацією на міжнародних конференціях дисертаційна робота 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.

Рада вважає, що дисертація ЯРОВОГО Валерія Михайловича «Особливості поведінки магнітоопору в твердих розчинах Bi-Mn з низьким вмістом марганцю», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», є завершеним самостійним науковим дослідженням, сукупність результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10 «Природничі науки», а за актуальністю, науковою новизною і практичною цінністю відповідає вимогам чинного законодавства України, «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23.03.2016 р. № 261 та «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 12.01.2022 р. № 44 зі змінами, а здобувач ЯРОВИЙ Валерій Михайлович заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради,

«Утрималися» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада ДФ 64.175.018 / PhD 16957 присуджує Валерію Михайловичу ЯРОВОМУ ступінь доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова

разової спеціалізованої вченої ради

ДФ 64.175.019/PhD 16960

доктор фізико-математичних наук,

член-кореспондент НАН України,

професор



Юрій НАЙДЮК

