

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Разова спеціалізована вчена рада Інституту магнетизму Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України (ІМаг НАН України та МОН України) прийняла рішення про присудження *Полинчуку Павлу Юрійовичу* наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – природничі науки, за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія на підставі прилюдного захисту дисертації *«Безрелаксаційне перемикання комірок магнітної пам'яті на основі багатошарових наносистем з антиферомагнітним зв'язком»*.

«24» жовтня 2024 року.

Полинчук Павло Юрійович, 1996 року народження, громадянин України.

Освіта вища: у 2019 році завершив навчання у Донецькому національному університеті імені Василя Стуса за спеціальністю «Фізика та астрономія», де отримав диплом магістра з відзнакою.

Впродовж 2020-2024 років навчався за програмою підготовки аспірантів Інституту магнетизму Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, де і виконував дисертаційну роботу. Під час навчання неодноразово брав участь у міжнародних наукових конференціях з усною доповіддю.

Науковий керівник – Джежеря Юрій Іванович, доктор фізико-математичних наук, професор.

Здобувач має 3 наукові публікації за темою дисертації, причому 2 статті опубліковані у фахових наукових закордонних виданнях, а також 4 тези доповідей на наукових міжнародних конференціях.

Список публікацій додається:

– публікації у фахових наукових журналах:

1) Yu. I. Dzhezherya, **P. Yu. Polynchuk**, I. V. Gerasimchuk, S. P. Kruchinin, V. M. Kalita and V. Korenivski / Control of the Memory Cell Magnetization by a Combined Pulse of Local Magnetic Fields // *Modern Physics Letters B.* – 2024. – V. – P. DOI [10.1142/S0217984924400013](https://doi.org/10.1142/S0217984924400013) (Q3, SJR).

2) Y. Dzhezherya, **P. Polynchuk**, A. Kravets and V. Korenivski / Ultrafast inertia-free switching of double magnetic tunnel junctions // *IEEE Transactions on Magnetics.* – 2024. – V. – P. DOI [10.1109/TMAG.2024.3380467](https://doi.org/10.1109/TMAG.2024.3380467) (Q2, SJR).

3) Yu. Dzhezherya, V. Kalita, **P. Polynchuk**, A. Kravets, V. Korenivski, S. Kruchinin, S. Bellucci, Fast barrier-free switching in synthetic antiferromagnets, препринт ArXiv arXiv:2110.02138 [cond-mat.mes-hall] <http://arxiv.org/abs/2110.02138>. (прийнято до друку у Scientific Reports).

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

Лось Віктор Федорович – д-р фіз.-мат. наук (01.04.02 – теоретична фізика), професор, головний науковий співробітник відділу фізики плівок ІМаг НАН України та МОН України. Оцінка позитивна без зауважень.

Голуб Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук (01.04.11 – магнетизм), завідувач відділу теорії магнітних явищ та магнітної динаміки конденсованих середовищ ІМаг НАН України та МОН України. До роботи рецензентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. В роботі практично не обговорюється вплив теплових флуктуацій на процеси перемагнічування. Особливо це важливо при розгляді процесів перемагнічування під дією оптичних імпульсів великої потужності, де може спостерігатись суттєвий розігрів і зміна магнітних параметрів системи.
2. С.55 «Досягнення імпульсу магнітного поля з високолокалізованою дією є перспективним для численних застосувань». Ця фраза є цілком незрозумілою. Що має на увазі автор?
3. С. 41: «Параметр $4\pi\beta_i$ визначає величину одновісної магнітної анізотропії i -го шару, спрямованої вздовж вісі Oz, оскільки для тонких шарів напрямком важкої намагніченості є нормаль до поверхні.». Не зрозуміло

про що йдеться. Для анізотропії Неєлівського типу нормаль зазвичай є віссю легкого намагнічування. Навіть ефективна намагніченість в надтонких шарах може бути перпендикулярною.

4. Дисертація не позбавлена орфографічних та стилістичних помилок.

На всі зауваження та побажання здобувачем було надано ґрунтовні відповіді, які були схвалені рецензентом. Однак зроблені зауваження не вплинули на загально позитивне враження від дисертаційної роботи П. Ю. Полинчука. Враховуючи високий рівень наукових публікацій здобувача, актуальності та новизни даної роботи, володіння здобувача відповідними знаннями, загальна оцінка роботи є позитивною.

Львов Віктор Анатолійович – доктор фізико-математичних наук (01.04.11 – магнетизм), професор, провідний науковий співробітник відділу фізики плівок ІМаг НАН України та МОН України. До роботи рецензентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. Вважаю за необхідне відзначити в тексті дисертації, що термін “безрелаксаційне перемикавання” є певною мірою умовним, і означає лише відсутність основних релаксаційних механізмів, описаних у наявній науковій літературі.
2. Невдало сформульовані ті фрагменти тексту дисертації, де йдеться про комбіновану дію магнітного поля та імпульсів струму, тому слід пояснити, як створюється магнітне поле, про яке йдеться, оскільки струм також створює магнітне поле.

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

Лютий Тарас Володимирович – кандидат фізико-математичних наук (01.04.11 – магнетизм), доцент кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету МОН України. До роботи офіційним опонентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. Модель, що використовуються для отримання результатів має низку важливих спрощень: по перше, знехтувано тепловими флуктуаціями, по друге знехтувано процесами релаксації магнітного моменту. Подібні модельні припущення є широкоживаними в теоретичній фізиці, однак у таких випадках мають бути проведені відповідні оцінки та обґрунтування. Останні присутні лише для теплових флуктуацій і лише з позицій температури фазового переходу, що є недостанім в контексті завдань дисертації, яка присвячена, в тому числі, стабільності збереження біта інформації. Зауважу, існує формалізм для описання поведінки магнітних наночастинок як у суперпарамагнітному випадку, так і у випадку далекого від суперпарамагнітного, який тим не менш, надзвичайно важливий для врахування теплових флуктуацій. Те ж саме стосується припущення про безрелаксаційний характер перемагнічування. Не зважаючи на наявне так зване «швидке» перемагнічування, внесок релаксаційного доданку в рівнянні Ландау-Ліфшиця-Гільберта у динаміку може бути суттєвим особливо в контексті пошуку конкретних параметрів зовнішніх впливів для перемагнічування, про що існує низка наукових робіт. Впевнений, що існує низка реальних кейсів, що допускають використання спрощеної моделі. Крім того, спрощені моделі мають методологічну цінність. Однак при цьому коректні оцінки валідності моделі є необхідним.
2. Розділ 2 є непропорційно великим, синкретичним та переобтяженим змістом. Як мінімум, він складається з двох досить різних частин. При цьому результати підрозділів 2.1, 2.2 – опубліковані в препринті з припискою, що стаття прийнята до друку, але вона формально ще не оприлюднена. Матеріал підрозділу 2.3 не опублікований взагалі. Загалом, це не порушує вимог стосовно норм оприлюднення, оскільки в доробку автора є дві наукові статті, що обліковуються базами WoS та Scopus. Однак, цей факт не дозволяє сказати, що матеріал дисертації поданий у наукових статтях повною мірою.
3. Текст дисертації все що має ознаки окремих статей та не узгоджений повною мірою як єдиний корпус інформації. Наприклад, формули (2.28) та

(4.1) містять однакові частини, до яких продубльовані пояснення, при цьому коефіцієнт, що визначає вплив спін-поляризованого струму на намагніченість поданий різними позначеннями.

4. Надзвичайно мало ілюстрацій у досить цікавих з прикладної точки зору розділах 3-4. Отримані залежності містять низку параметрів, що допускає створення множини сімейств залежностей, які б набагато краще пояснювали значення отриманих результатів.
5. Висновки до розділів побіжні та формальні, в той самий час висновки до розділу 2, навпаки, має досить великий обсяг, але при цьому їх текст слабкоструктурований.
6. Надзвичайно доречно було б навести модельні формули в літературному огляді. Дисертаційна робота теоретична і вони виглядали б органічно та допомогли подолати певну синкретичність та нецілісність основного тексту дисертації.
7. Маються деякі неточності та протиріччя стосовно чутливих питань у вступі: особистий внесок здобувача, стор. 17, сказано «Отримані наукові результати опубліковані в 4 публікаціях», але список літератури містить посилання на видані 2 статті та 1 препринт; особистий внесок здобувача, стор. 18, сказано «в публікації 8 приймав участь у виготовленні та характеризації зразків, а також обробці експериментальних даних». Дисертаційна робота чисто теоретична, тому згадки про експеримент в особистому внеску стосовно додаткової публікації дещо веде в сторону від розуміння.

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

Русаков Володимир Федорович – доктор фізико-математичних наук (01.04.07 – фізика твердого тіла), професор кафедри загальної фізики фізико-математичного факультету Національного технічного університету України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. До роботи офіційним опонентом були висунуті наступні зауваження та побажання:

1. Далеко не усі скорочення, що використовуються у роботі, наведені і розшифровані у відповідному переліку: RL, FL, ТВ, Р / AP, DMTJ і т.п. У тексті позначення фізичних величин іноді курсивом, іноді прямим шрифтом. За правилами слід подавати курсивом.

2. У тексті дисертації є деякі стилістичні неточності та друкарські помилки. Наприклад: на с. 23: «опорний (RL) –володіє вектором намагніченості» замість «має вектор намагніченості»; с 29: «по лінії слова, і лінію біту протікає електричний струм»; с. 38: маятнику Капиця Петра Леонідовича; с. 75. «З рис. 2.7 мінімум величини імпульсу спінополяризованого струму необхідний при куті подачі становить .» має бути: має місце при с. 82: похідну по часу, має бути – за часом і т.і.

3. С. 50: «Очікується, що вищезазначені вимоги не створять будь-яких значних обмежень щодо властивостей або функціонування системи на основі САФ при зміні орієнтації намагніченості». Не наведено жодних аргументів на користь такого очікування.

4. При переході від рівнянь 2.29 до 2.33 і 2.34 порушено розмірність.

5. С.84. Рис. 3.2. – що на осях?

6. С. 93-94 повтор с. 81-82:

«За прикладом робіт [76, 77], виходячи з того, що пласка форма магнітної частинки сприяє формуванню значної легкоплощинної анізотропії, вважається, що $|m_z| \ll 1$, тож, з точністю до лінійних членів по m_z , одиничний вектор намагніченості вільного шару запишемо у вигляді:

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{M}}{M_s} = (\cos\varphi, \sin\varphi, m_z) \quad (3.2)$$

У свою чергу одиничний вектор намагніченості верхнього та нижнього закріпленого шарів відповідно дорівнюють $\boldsymbol{\mu}_1 = (1, 0, 0)$, $\boldsymbol{\mu}_2 = (-1, 0, 0)$. Надалі вважається, що їх магнітні моменти заініціовано за рахунок використання прошарків з антиферомагнітної речовини. В даній схемі керування магнітними станами комірки роль зовнішніх магнітних прошарків

полягає у створенні ефектів магнітоопору, які визначають напрямок намагніченості вільного магнітного шару.

Ефективне поле H_{eff}^i , яке враховує магнітостатичні внески та зовнішнє магнітне поле має вигляд:

$$\begin{aligned}H_{eff}^x &= -4\pi M_s N_x \cos\varphi + H_x \\H_{eff}^y &= -4\pi M_s N_y \sin\varphi + H_y . \\H_{eff}^z &= -4\pi M_s N_z m_z\end{aligned}\tag{3.3}$$

Магнітостатичні поля, що створюються верхнім та нижнім магнітними шарами компенсують одне одного».

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

Результати відкритого голосування:

- | | |
|---------|------------------|
| «За» | – 5 членів ради; |
| «Проти» | – немає; |

**РАЗОВА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА
ІНСТИТУТУ МАГНЕТИЗМУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ ТА МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

УХВАЛИЛА:

- 1) Дисертація Полинчука Павла Юрійовича на тему «**Безрелаксаційне перемикання комірок магнітної пам'яті на основі багаточарових наносистем з антиферомагнітним зв'язком**», що подана на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – природничі науки, за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія, 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 № 44 від 12 січня 2022 р.
- 2) Присвоїти Полинчуку Павлу Юрійовичу ступінь доктора філософії в галузі знань 10 – природничі науки, за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.
- 3) Рішення разової спеціалізованої вченої ради затвердити і передати до Вченого секретаря Інституту магнетизму Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України.
- 4) Вченому секретарю підготувати Наказ про видачу Полинчуку Павлу Юрійовичу диплома доктора філософії та додатка до нього європейського зразка.

**Голова разової
спеціалізованої вченої ради
доктор фіз.-мат. наук, професор**



Віктор ЛОСЬ