# Облікова картка ДіР

Image not found or type unknow

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0222U001521

**Державний реєстраційний номер:** 0119U100772

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 28-01-2022

## II. Етап виконання ДіР

**Номер етапу:** 1

**Назва етапу:** Спрямований транспорт та дисипація енергії в системах феромагнітних наночастинок і магнітних скірміонів

**Початок етапу:** 01.2019

**Закінчення етапу:** 12.2021

**Вид звітного документа:** Остаточний звіт

## III. Відомості про виконавця ДіР

**Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи):** Сумський державний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 05408289

**Місцезнаходження:** вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, Сумський р-н., Сумська обл., 40007, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Розмір організації:**

**Телефон:** 0542330024, 0542640499

## IV. Відомості про співвиконавців ДіР

## V. Відомості про замовника ДіР

**Повне найменування юридичної особи (або ПІБ фізичної особи):** Міністерство освіти і науки України

**Код за ЄДРПОУ:** 38621185

**Місцезнаходження:** просп. Перемоги, 10, м. Київ, Київ, 01135, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Кабінет Міністрів

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Розмір організації:**

**Телефон:** 380444814763

## VI. Джерела, напрями та обсяги фінансування ДіР

**Підстава для проведення ДіР:** 34 - договір з МОН, іншими центральними органами виконавчої влади

**Напрям фінансування:** 2.1 - фундаментальні дослідження

### Джерела фінансування

#### 7713 - кошти держбюджету

**Код програмної класифікації видатків і кредитування (КПКВК):** 220 1040

| |
|---|
| **Фактичний обсяг фінансування (тис. грн.):** 600.000 |

## VII. Відомості про ДіР

### Назва роботи українською:

Спрямований транспорт та дисипація енергії в системах феромагнітних наночастинок і магнітних скірміонів

### Назва роботи англійською:

Directed transport and energy dissipation in systems of ferromagnetic nanoparticles and magnetic skimmions

### Реферат українською:

Предмет дослідження: умови існування спрямованого транспорту феромагнітних наночастинок та залежність швидкості їх дрейфу і потужності втрат енергії від величини чисел Рейнольдса, характеристик зовнішнього магнітного поля, ступеню спінової поляризації струму, дипольної взаємодії, величини поля магнітної анізотропії, дефектної структури плівки, температури та інших параметрів. Об'єкт дослідження: спрямований транспорт (дрейф) феромагнітних наночастинок і магнітних скірміонів, причиною якого є реакція середовища, і енергетичні процеси в них. Мета дослідження: розвиток теорії спрямованого транспорту феромагнітних наночастинок у в'язкій рідині та магнітних скірміонів у феромагнітних плівках, а також визначення потужності втрат енергії в таких системах. Методи дослідження: методи мікромагнетизму, математичної фізики, чисельні методи. Теоретично вивчається детерміністична динаміка однодоменних феромагнітних наночастинок у розбавлених феррорідинах, що знаходяться під впливом стаціонарного або періодичного у часі градієнтного магнітного поля. Класифіковано прецесійні режими сумісної магнітної та механічної динаміки та показано вплив режимів на потужність поглинання. Побудовано теорію динаміки невзаємодіючих частинок зі скінченою анізотропією. Визначено потужність енергетичних втрат як функцію параметрів системи. У наближенні, коли магнітні моменти наночастинок "вморожені" в них, побудовано детерміністичну теорію дрейфу таких частинок. Показано, що оскільки градієнтне магнітне поле генерує як трансляційний, так і обертальний рухи частинок, ці рухи пов'язані між собою. Встановлено, що в залежності від початкового положення зважених феромагнітних наночастинок існує чотири режими їх спрямованого транспорту в стаціонарному градієнтному магнітному полі. Результати НДР можуть бути використані в біомедицині та процесах сепарації наночастинок

### Реферат англійською:

Objects of research: conditions for the existence of directed transport of ferromagnetic nanoparticles and the dependence of their drift speed and power loss on the Reynolds numbers, external magnetic field characteristics, degree of spin current polarization, dipole interaction, magnetic anisotropy field, film defect structure, temperature, and other parameters. The subject of research is the directed transport (drift) of ferromagnetic nanoparticles and magnetic skyrmions, which is caused by the reaction of the medium, and energy processes in them. The aim of the research is to develop the theory of directed transport of ferromagnetic nanoparticles in a viscous liquid and magnetic skyrmions in ferromagnetic films, as well as to determine the power loss in these systems. Research methods: methods of micromagnetism, mathematical physics, numerical methods. The deterministic dynamics of single-domain ferromagnetic nanoparticles in dilute ferrofluids under the influence of a stationary or time-periodic gradient magnetic field is studied theoretically. The precession modes of compatible magnetic and mechanical dynamics are classified and the influence of the modes on the absorption power is established. A theory of the dynamics of noninteracting particles with finite anisotropy is constructed. The power loss is determined as a function of the system parameters. In the approximation when the magnetic moments of the nanoparticles are "frozen" in them, a deterministic theory of the drift of such particles is built. It is shown that since the gradient magnetic field generates both translational and rotational motions of the particles, these motions are interconnected. It is established that, depending on the initial position of the suspended ferromagnetic nanoparticles, there are four modes of their directed transport in a stationary gradient magnetic field. The results of the Project can be used in biomedicine and nanoparticle separation processes

**Індекс УДК:**537.311.31, 537.624

**Коди тематичних рубрик:** 29.19.27

**Керівники роботи**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:** Денисов Станіслав Іванович

**Науковий ступінь:** д. ф.-м. н.

**Вчене звання:** професор

**Ідентифікатор ORCID ID:**

**Додаткова інформація:**

## VIII. Наукова (науково-технічна) продукція (НТП)

**Назва НТП українською:** Метод опису поглинання енергії змінного магнітного поля, що враховує скінченну анізотропію. Метод керування трансляційним рухом наночастинок що використовує градієнтне поле змінне у часі

**Назва НТП англійською:** A method for describing the energy absorption of an alternating magnetic field that takes into account finite anisotropy. A method for controlling the translational motion of nanoparticles using a time-varying gradient field

**НТП, яку передбачалося створити:**

**Причини, через які НТП не було створено:**

**Отримані результати:** Методи, теорії

**Галузь застосування:** фізика, біомедицина, промисловість

**Реєстраційний номер картки технології:**

**Опис НТП:** Метод опису поглинання енергії змінного магнітного поля наночастинкою має істотно більше прикладне значення для методу гіпертермії (метод терапії ракових пухлин на основі локального нагрівання), ніж попередні результати, отримані раніше, у більш грубих моделях. Контрольованість процесу нагрівання є ключовим питанням для методу гіпертермії, тому оцінки оптимальних параметрів, які зроблені в рамках проєкту, є дуже затребуваними. Запропонований підхід до керування трансляційним рухом ФНЧ переважає аналоги завдяки розгляду більш загального випадку: коли градієнтне поле є не стаціонарним, а змінним у часі. Зокрема такий підхід надає можливість комбінувати процеси концентрації ФНЧ з процесами їх нагрівання. Також періодичний характер градієнтного поля генерує керовані додатковими стаціонарними полями нові режими транспорту. Відповідно, отримуємо більше можливостей стосовно прецизійного керування транспортом наночастинок

**Соціально-економічна спрямованість НТП:** Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту, Поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

**Вплив НТП на довкілля:**

**Впровадження НТП:** Не впроваджено

**Практична реалізація НТП**

- **Початок етапу:**
- **Закінчення етапу:**

**Споживачі продукції:**

**Перспективні ринки:**

**Характер співробітництва з інвестором**

- **Потрібний обсяг інвестицій, тис. грн.:**
- **Права, що надаються інвестору після завершення роботи:**
- **Наявність бізнес-плану:**
- **Техніко-економічне обгрунтування:**
- **Потенціальний обсяг продажу, тис. грн.:**

**Очікуваний термін окупності (років):**

**Додаткова інформація:**

## IX. Бібліографічний опис

1. Denisov S.I., Lyutyy T.V., Liutyi A.T. Drift of suspended single-domain nanoparticles in a harmonically oscillating gradient magnetic field // J. Phys. D: Appl. Phys. 55, 045001 (2022). https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac2db6

2. Denisov S.I., Moskalenko M.M., Lyutyy T.V., Baryba M.Yu. Numerical analysis of the nanoparticle dynamics in a viscous liquid: Deterministic approach // J. Nano- Electron. Phys. 13, 06027 (2021). https://doi.org/10.21272/jnep.13(6).06027

3. Denisov S.I., Lyutyy T.V., Liutyi A.T. Dynamics of suspended nanoparticles in a time-varying gradient magnetic field: Analytical results // J. Nano- Electron. Phys. 12, 06028 (2020). https://doi.org/10.21272/jnep.12(6).06028

4. Denisov S.I., Lyutyy T.V., Pavlyuk M.O. Directed transport of suspended ferromagnetic nanoparticles under both gradient and uniform magnetic fields // J. Phys. D: Appl. Phys. 55, 045001 (2020). https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab97da

5. Lyutyy T.V., Hryshko O.M., Yakovenko M.Yu. Uniform and nonuniform precession of a nanoparticle with finite anisotropy in a liquid: Opportunities and limitations for magnetic fluid hyperthermia // J. Magn. Magn. Matter. 473, 198-204 (2019). https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.10.074

6. Lyutyy T.V., Denisov S.I., Hänggi P. Dissipation-induced rotation of suspended ferromagnetic nanoparticles // Phys. Rev. B 100, 134403 (2019). https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.134403

7. Denisov S.I., Bystrik Yu.S. Exact stationary solutions of the Kolmogorov–Feller equation in a bounded domain // Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. 74, 248-259 (2019). https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.03.023

8. Lyutyy T.V., Reva V.V., Petrenko N.S., Pavlyuk M.O. Forced precession of a ferromagnetic nanoparticle with a finite anisotropy suspended in a liquid: Nonlinear aspects // J. Nano- Electron. Phys. 11, 05021 (2019). https://doi.org/10.21272/jnep.11(5).05013

## X. Заключні відомості

**Керівник юридичної особи** Васильєв Анатолій Васильович
к. т. н.

**Перелік осіб-виконавців**

Бистрик Юрій Сергійович
(к. ф.-м. н.)

Денисов Станіслав Іванович
(д. ф.-м. н., 01.04.07)

Денисова Олена Станіславівна
(к. ф.-м. н.)

Лютий Тарас Володимирович
(к. ф.-м. н.)

Педченко Богдан Олександрович

Рева Владислав Валерійович
(к. ф.-м. н.)

**Відповідальний за підготовку облікових документів** Остапова О.П.

**Телефон** +38 (054) 268-44-02

**Реєстратор**

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності**

