


**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Інститут магнетизму Національної академії наук України та Міністерства  
освіти і науки України

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор  
ІМаг НАН України та МОН України  
д.ф.-м.н., професор

 Олександр ТОВСТОЛИТКІН  
«30» червня 2023 р.



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)**

**В 5 МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ**

**В ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

(шифр та назва дисципліни)

для аспірантів

спеціальності 104 Фізика та астрономія

третього освітнього (освітньо-  
наукового) рівня вищої освіти – доктора  
філософії

**Розробник:**

Завідувач відділу теорії магнітних явищ та

магнітної динаміки конденсованих середовищ  Володимир ГОЛУБ

(підпис)

**Робочу програму узгоджено науково-методичною радою**

Протокол від 28.06.2023р. № 1

Голова науково-методичної ради  Ольга САЛЮК

(підпис)

Робочу програму затверджено Вченою радою ІМаг НАН України та МОН України

Протокол від 29 червня 2023 № 6-23

Голова Вченої ради  Олександр ТОВСТОЛИТКІН

(підпис)

**Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником освітньої програми):** Фізика 30 червня 2023 р.

(назва освітньої програми)

Гарант освітньої програми  Юрій ДЖЕЖЕРЯ

(підпис)

Пролонговано Вченою радою ІМаг НАН України та МОН України:

навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради ІМаг НАН України та МОН України	підпис	№ протоколу, дата протоколу
20___/ 20___			
20___/ 20___			
20___/ 20___			
20___/ 20___			



Інститут магнетизму Національної академії наук України та  
Міністерства освіти і науки України

# МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ В ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>Третій (освітньо-науковий)</b>
<b>Галузь знань</b>	10 Природничі науки
<b>Спеціальність</b>	104 Фізика та астрономія
<b>Освітня програма</b>	Фізика
<b>Статус дисципліни</b>	За вибором
<b>Форма навчання</b>	Очна (денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	2 курс, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	3 кредити: 90 годин (денна: 12 годин – лекції, 24 годин – лабораторні, 54 години – СР)
<b>Семестровий контроль/контрольні заходи</b>	Екзамен
<b>Розклад занять</b>	Час і місце проведення аудиторних занять викладено на сайті Інституту магнетизму НАН України та МОН України
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Лектор: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Голуб Володимир Олегович Електронна пошта <a href="mailto:golub@imag.kiev.ua">golub@imag.kiev.ua</a>
<b>Розміщення курсу</b>	<a href="http://ukr.imag.kiev.ua">http://ukr.imag.kiev.ua</a>

## Програма навчальної дисципліни

### Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

#### Опис дисципліни.

Навчальна дисципліна «Методи отримання та обробки даних в фізичних дослідженнях» є складовою освітньо-наукової програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем «доктор філософії». Дисципліна належить до переліку навчальних дисциплін для здобуття універсальних компетентностей дослідника циклу професійної підготовки освітньо-наукової програми 104 «Фізика та астрономія» і викладається українською мовою на другому році навчання. Дисципліна спрямована на формування уявлень та отримання систематичних знань про сучасні методи аналізу та обробки експериментальних даних (тунельної, атомно-, магнітно- та електро-силової зондової мікроскопії, електронного та ядерного спінового резонансу, Брілюєнівського розсіювання світла, магнітометрії, магнітооптичних методів дослідження, рентгеноструктурного аналізу (XRD), зокрема, малокутового розсіювання рентгенівських променів (SAXS), рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (XPS)) у фізиці магнітних матеріалів для діагностики широкого кола фізичних властивостей новітніх функціональних та конструкційних матеріалів, включаючи матеріали сучасної електроніки та сонячної енергетики, а також дає базові знання про методи виготовлення і діагностики нано- та макрооб'єктів (магнетронне напилення, електронно-променеве напилення тощо), принципами роботи технологічного та вимірювального обладнання.

**Мета дисципліни** – підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні фундаментальні і практичні проблеми, пов'язані з дослідженням процесів і явищ. Що відбуваються в реальних фізичних об'єктах і системах, надання аспірантам необхідних відомостей про методи обробки експериментальних даних у фізиці (у розділах нанофізики, електрики та магнетизму).

**Завдання** – сформувані у аспірантів базові уявлення про методи обробки даних, отриманих при дослідженні фізичних об'єктів, сучасні підходи отримання інформації з аналізу експериментальних результатів та результатів комп'ютерного моделювання, використання сучасних теоретичних моделей та застосування отриманих знань для розв'язання реальних задач фізики конденсованого стану, магнетизму та квантової інформатики.

#### Програмні результати навчання.

##### Компетентності:

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

##### Результати навчання:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та/або астрономії, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

PH04. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

PH05. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

PH12. Оцінювати ефективність чисельних методів та розробляти оптимальні алгоритми при комп'ютерному моделюванні фізичних процесів.

### **Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення даної дисципліни базується на дисциплінах «Загальна фізика», «Фізика твердого тіла», «Фізика магнітних явищ» першого та другого рівнів вищої освіти. Аспірант також має оволодіти дисциплінами «Актуальні проблеми фізики магнітних явищ», «Сучасні методи моделювання в фізиці магнітних явищ», «Методологія наукових досліджень», «Взаємодія випромінювання зречовиною» та «Спін-залежні явища в нанорозмірних структурах» третього рівня освіти. Необхідним є базовий рівень володіння англійською мовою для читання посібників та оригінальних статей в англомовних журналах.

Знання, отримані аспірантами з дисципліни «Методи отримання та обробки даних в фізичних дослідженнях» використовуються при підготовці наукових доповідей та наукових статей, а також при захисті дисертації.

### **Зміст навчальної дисципліни**

Назви тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	Лабораторні заняття	СР
Тема 1. Магнітні матеріали та їх застосування в науці та сучасних технологіях..	10	2	-	8
Тема 2. Огляд сучасних методів отримання магнітних матеріалів та методи аналізу їх структурних характеристик.	12	2	2	8
Тема 3. Аналіз електричних та магнітотранспортних властивості матеріалів.	12	2	4	8
Тема 4. Основи аналізу магнітні параметрів матеріалів.	18	2	6	10
Тема 5. Методи аналізу магніторезонансних характеристик магнітних об'єктів.	20	2	8	10
Тема 6. Методи отримання інформації про магнітну структуру матеріалів.	16	2	6	8
<b>Разом</b>	<b>88</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>52</b>
Залік	2			2
<b>Всього годин</b>	<b>90</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>54</b>

## Навчальні матеріали та ресурси

### Базова література.

1. Magnetic nanostructures, in: H. Zabel, M. Farle (Eds.), Spin Dynamics and Spin Transport, Springer-Verlag, Berlin, 2013.
2. О.І. Товстолиткін, М.О. Боровий, В.В. Курилюк, Ю.А. Куницький. Фізичні основи спітроніки. Навчальний посібник. – Вінниця, Нілан-ЛТД, 2014. – 500 с.
3. J.M.D. Coey. *Magnetism and Magnetic Materials*. – Cambridge, Cambridge University Press, 2010. – 614 p.
4. An Introduction to Physical Measurements: With Appendices on Absolute Electrical Measurements, Etc Hardcover, Wentworth Press, 2019.- 378 p.
5. Adrian C. Melissinos, Jim Napolitano. *Experiments in Modern Physics*, 2nd Edition, Academic Press 2003. – 640p.
6. Bilayered soft/hard magnetic nanowires as in-line writing heads/ Vivian M. Andrade , Sofia Caspani , Alejandro Rivelles , Sergey A. Bunyaev , Vladimir O. Golub , João P. Araujo , Gleb N. Kakazei , Célia T. Sousa , Mariana P. Proenca // *Materials and Design*, 2022, 222, 111024

### Допоміжна література.

7. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. Лекции по магнетизму. – М., Физматлит, 3-е изд., 2005. – 512 с.
8. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії. Навчальний посібник. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2011. – 133 с.
9. A.P. Guimaraes. *Principles of Nanomagnetism*. – Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2008. – 222 p.
10. Cottam M.G. *Light scattering in magnetic solids* / M.G. Cottam, D.J. Lockwood – Wiley New York, 1985. – 272 p.
11. *Modern Techniques for Characterizing Magnetic Materials*, Editors Yimei Zhu, Springer New York, NY. -2005. <https://doi.org/10.1007/b101202>.
12. M. Acet, L. Manosa, A. Planes, Magnetic-field-induced effects in martensitic Heusler-based magnetic shape-memory alloys, in: K.H.J. Buschow (Ed.), *Handbook of Magnetic Materials*, 19 Elsevier, North Holland, 2011, pp. 231–289.

## Навчальний контент

### Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна частина дисципліни складена з лекційного матеріалу, лабораторних робіт та контрольних заходів у вигляді МКР. При викладанні дисципліни рекомендується побудувати ознайомлення аспірантів з предметом таким чином, щоб вони не тільки отримували ту чи іншу інформацію стосовно курсу, який вивчається, але й відчували зв'язок між різними темами модуля, а також місце модуля в процесі роботи над дисертацією. Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно-орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

### Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СР)
1	<b>Тема 1. Магнітні матеріали та їх застосування в науці та сучасних технологіях.</b> Вступ. Фізичний експеримент як інструмент пізнання світу. Джерела інформації у фізичному експерименті (датчики фізичних величин). Наномасштабні об'єкти: класифікація та властивості, огляд методів виготовлення та діагностики. Застосування нанооб'єктів у промисловості, електроніці, медицині. [1–10].
2	<b>Тема 2. Огляд сучасних методів отримання магнітних матеріалів та методи</b>

	<b>аналізу їх структурних характеристик.</b> Методи одержання нанооб'єктів (нанопорошків, фулеренів, нанотрубок та наноструктурованих матеріалів). Методи виготовлення тонких плівок. Методи осадження: фізика процесів. Вплив технологічних параметрів (склад атмосфери, температура і т.п.) на їх властивості. Методи та засоби обробки структурних даних. [1,3,8]
3	<b>Тема 3. Аналіз електричних та магнітотранспортних властивості матеріалів.</b> Електричні та магнеторезистивні властивості матеріалів. Огляд основних механізмів провідності. Магнітоопір. Види магнітоопору. Електричні, транспортні та магнітотранспортні властивості нанооб'єктів та наносистем. Методи аналізу експериментальних даних вимірювання електрофізичних параметрів. [4,5,10]
4	<b>Тема 4. Основи аналізу магнітні параметрів матеріалів.</b> Магнетизм, магнітні властивості речовин. Базові методи вимірювання магнітних параметрів: вібраційна та торсіонна магнітометрія, магнітні ваги, СКВІД магнітометрія. Основи аналізу магнітних даних [3,8,10]
5	<b>Тема 5. Методи аналізу магніторезонансних характеристик магнітних об'єктів.</b> Метод електронного спінового резонансу: пара- та феромагнітний резонанси. Резонансні умови, ширина та інтенсивність лінії. Спектри спінових хвиль. Брілюєнівське розсіювання світла. [1,3,9,10]
6	<b>Тема 6. Методи отримання інформації про магнітну структуру матеріалів.</b> Скануюча (растрова) електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія нанооб'єктів. Загальні принципи. Скануюча тунельна мікроскопія, скануюча атомно силова мікроскопія, скануюча електросилова мікроскопія, скануюча магнітосилова мікроскопія, скануюча ближньопольова оптична мікроскопія. [5,7,10]

#### Лабораторні заняття

№	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СР)
1	Лабораторне заняття 1. Методи характерізації плівкових структур та визначення їх структурних характеристик. [1,3,8].
2	Лабораторне заняття 2. Методи визначення фізичних параметрів багатокомпонентних структур [1,3,8].
3	Лабораторне заняття 3. Аналіз транспортних властивостей тонких плівок [2,4,10].
4	Лабораторне заняття 4. Методи отримання інформації про магнітотранспортні властивостей тонких плівок та гранулярних та багатошарових структур [2,5,10].
5	Лабораторне заняття 5. Аналіз даних магнітометрії феромагнітних матеріалів [3,5,8,10].
6	Лабораторне заняття 6. Основи аналізу магнітних даних для систем суперпарамагнітних наночастинок [3,5,8].
7	Лабораторне заняття 7. Низьковимірні магнетики та основи магнітохімії. [3,10].
8	Лабораторне заняття 8. Визначення основних характеристик фазових перетворень за даними магнітометрії [3,11].
9	Лабораторне заняття 9. Визначення основних характеристик фазових перетворень в магнітних матеріалах за даними транспортних вимірювань. [3,5,11].
10	Лабораторне заняття 10. Парамагнітний резонанс в реальних кристалах. [1].
11	Лабораторне заняття 11. Феромагнітного резонанс в плівкових матеріалах.[1].
12	Лабораторне заняття 12. Аналіз магнітної структури з даних скануючої магнітної силової мікроскопії. [5,7].

## Контрольні роботи

Метою контрольної роботи є перевірка вмінь аспірантів самостійно розв'язувати наукові задачі, вмінь використання відповідних теоретичних, експериментальних методів та програмних продуктів.

Перевірка практичних навичок відбувається у вигляді контрольної роботи, завданнями до якої є складання презентації власних наукових досліджень. Перевірка знання теоретичного матеріалу на контрольних заходах відбувається у вигляді усних запитань викладача та відповідей аспіранта з окремих розділів програми.

### Самостійна робота аспіранта

має на меті розвиток творчих здібностей та активізацію їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток морально-вольових зусиль. Метою проведення самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його, а також сформувати навички до щоденної роботи.

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	30
2	Підготовка до МКР	12
3	Підготовка до заліку	12

## Політика та контроль

### Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-інститутського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-інститутського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-інститутського розпорядку);

### Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді заліку. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і інститутська шкала.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) за роботу на лабораторних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на заліку.

Система рейтингових балів

1) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 12. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить  $1 \times 12 = 12$  балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 11-12 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 8-10 балів;



- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 6-7 балів;

- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

2) Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього  $2 \times 20 = 40$  балів.

Нарахування балів за відповідь на екзамені:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;

- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;

- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;

- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Рейтингова шкала з курсу «Методи експериментальної фізики» складає  $R_D = R_C = 100$  балів.

Якщо аспірант протягом семестру набрав понад 60 балів, він може отримати екзамен автоматом.

Для виставлення фінальних оцінок рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

#### Поточний контроль: тести

Календарний контроль: контроль виконання самостійної роботи, проводиться двічі на семестр у формі тестів як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і інститутська шкала.

Рейтинг аспірантів 2 курсу з курсу «Методи експериментальної фізики» складається з балів, які вони отримують за СР та практичні заняття.

#### Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Аспірантам, які успішно виконують СР (самостійна робота аспірантів), можуть нараховуватися за семестр максимум 30 балів. СР полягає у самостійній роботі із вивчення лекційного матеріалу та підготовки до практичних занять.

Аспірантам, які успішно виконують завдання самостійної роботи та практичних занять, можуть нараховуватися за семестр максимум 70 балів.

Сума вагових балів контрольних заходів з курсу «Методи експериментальної фізики» протягом семестру складає  $R_C = 100$  балів.

Рейтингова шкала з курсу «Методи експериментальної фізики» складає  $R_D = R_C = 100$  балів.

Якщо аспірант протягом семестру набрав понад 60 балів, він може отримати залік автоматом.

Для виставлення фінальних оцінок рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

#### Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за інститутською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
90-100	Відмінно
75-89	Добре
60-74	Задовільно
Менше 60	Незадовільно
Не виконано інші умови допуску до заліку	Не допущено

Якщо ж аспірант протягом семестру набрав менше 60 балів, він має виконати контрольну роботу.

Якщо аспірант набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити шляхом складання залікової контрольної роботи у вигляді тесту. При цьому, стартовий рейтинг не враховується.

Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за даною тематикою не передбачена.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):**

**Складено** доктором фізико-математичних наук, Голубом Володимиром Олеговичем

## **Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента) «Методи експериментальної фізики»**

### Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Датчики фізичних величин, що використовуються для характеристики магнітних матеріалів.
2. Класифікація та властивості наномасштабних об'єктів.
3. Методи отримання нанооб'єктів.
4. Методи характеристики нанооб'єктів.
5. Застосування нанооб'єктів в промисловості, електроніці, біології, медицині.
6. Методи отримання тонких плівок.
7. Вплив технологічних параметрів на властивості тонких плівок.
8. Методи та засоби контролю процесу напилення плівок.
9. Транспортні властивості матеріалів та методи їх вимірювання.
10. Магнітотранспортні властивості матеріалів та методи їх вимірювання.
11. Магнетизм та магнітні властивості речовини. Типи магнітного впорядкування.
12. Методи вимірювання магнітних параметрів: вібраційна та торсійна магнітометрія, магнітні ваги, СКВІД магнітометрія.
13. Магнітооптичний ефект Керра та Фарадея.
14. Метод електронного парамагнітного резонансу.
15. Феромагнітний резонанс.
16. Спінові хвилі в магнетиках.
17. Дослідження спектру спінових хвиль методом Брілюєнівського розсіювання світла.
18. Скануюча та просвічуюча електронна мікроскопія.
19. Скануюча тунельна мікроскопія.
20. Скануюча атомно-силова та магніто-силова мікроскопія.
21. Скануюча ближньопольова оптична мікроскопія.