

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

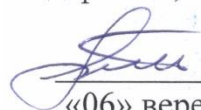
Інститут магнетизму Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ІМаг НАН України та МОН України

д.ф.-м.н., професор



Олександр ТОВСТОЛИТКІН

«06» вересня 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)

В 7 МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

(шифр та назва дисципліни)

для аспірантів

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

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

Київ – 2022

Розробник:

доктор фіз.-мат. наук, с.н.с. _____ Голуб Володимир Олегович
(підпис)

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол від 30.08.2022р. № 1

Голова науково-методичної ради _____ Ольга САЛЮК
(підпис)

Робочу програму затверджено Вченою радою ІМаг НАН України та МОН України

Протокол від 06 вересня 2022 № 5-22

Голова Вченої ради _____ Олександр ТОВСТОЛИТКІН
(підпис)

Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником освітньої програми): Прикладна фізика та наноматеріали 06 вересня 2022 р.

Гарант освітньої програми _____ Олександр ТОВСТОЛИТКІН
(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
2023 / 2024	Товстолиткін О.І.		№ 7-23, 27.07.2023
20___ / 20___			
20___ / 20___			
20___ / 20___			



МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

(для здобувачів III (освітньо-наукового) рівня вищої освіти)

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	За вибором
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити: 90 годин (денна: 12 годин – лекції, 24 годин – лабораторні, 54 години – СР)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік
Розклад занять	Час і місце проведення аудиторних занять викладено на сайті Інституту магнетизму НАН України та МОН України http://ukr.imag.kiev.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Голуб Володимир Олегович Електронна пошта golub@imag.kiev.ua
Розміщення курсу	http://ukr.imag.kiev.ua

Програма навчальної дисципліни

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

Опис дисципліни.

Навчальна дисципліна «Методи експериментальної фізики» 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 освітньої-наукової програми 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» і викладається українською мовою на другому році навчання. Дисципліна спрямована на формування уявлень та отримання систематичних знань про сучасні методи експериментальних досліджень у фізиці магнітних матеріалів (тунельна, атомно-, магнітно- та електро-силова зондова мікроскопія, електронний та ядерний спіновий резонанс, Брілюєнівське розсіювання світла, магнітометрія, магнітооптичні методи дослідження, рентгеноструктурний аналіз (XRD), зокрема, малокутове розсіювання рентгенівських променів (SAXS), рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (XPS)), які забезпечують діагностику широкого кола фізичних властивостей новітніх функціональних та конструкційних матеріалів,

включаючи матеріали сучасної електроніки та сонячної енергетики, а також методи виготовлення і діагностики нано- та макрооб'єктів (магнетронне напилення, електронно-променеве напилення тощо), принципами роботи з технологічним та вимірювальним обладнанням, принципами роботи різних датчиків (температури, магнітного поля, переміщення тощо), а також комп'ютерні методи обробки експериментальних даних.

Мета дисципліни – підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, пов'язані з дослідженням фізичних об'єктів і систем, процесів і явищ та їх технічними застосуваннями, надання аспірантам необхідних відомостей про методи експериментальних досліджень у фізиці (у розділах нанофізики, електрики та магнетизму).

Завдання – сформулювати у аспірантів базові уявлення про експериментальні методи дослідження фізичних об'єктів, сучасні підходи отримання інформації з аналізу експериментальних результатів, моделювання, порівняння з існуючими теоретичними моделями та застосування отриманих знань для розв'язання прикладних задач фізики конденсованого стану, магнетизму та квантової інформатики.

Програмні результати навчання.

Компетентності:

ЗК 3. Здатність розроблення та реалізації дослідницько-інноваційних проектів, включаючи проведення самостійних досліджень на професійному рівні.

ЗК 4. Здатність застосовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології у різних видах професійної діяльності.

ЗК 5. Здатність знаходити, обробляти й аналізувати необхідну інформацію для вирішення проблем й прийняття рішень.

ФК 01. Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, комбінувати та зв'язувати їх методи, інтерпретувати одержані результати з метою виявлення властивостей та характеристик досліджуваних об'єктів в галузі прикладної фізики та нанотехнологій

ФК 02. Здатність визначати завдання фізичного експерименту, самостійно проводити експериментальні дослідження за допомогою сучасного обладнання та вимірювальної апаратури, накопичувати та аналізувати дані, оцінювати можливі похибки та невизначеності.

ФК 03. Здатність осмислювати та аналізувати результати експериментальних досліджень, встановлювати зв'язок з теоретичними моделями, вирізняти із накопичених спостережень відтворювані експериментальні факти. Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в галузі прикладної фізики для вирішення наукових і практичних проблем

ФК 05. Здатність обирати методи та критерії оцінки дослідження відповідно до цілей та завдань наукового проекту, інтерпретувати результати наукових досліджень, проводити їх коректний аналіз та узагальнення.

ФК 07. Здатність розуміти та застосовувати цифрові технології та прикладні математичні пакети для розв'язування фізичних задач, аналізу результатів експериментальних досліджень, моделювання фізичних процесів та систем.

ФК 08 Здатність проводити дослідження складних систем, їх системний та синергетичний аналіз, використовувати моделі та методи моделювання в наукових дослідженнях.

Результати навчання:

ПРН 1. Системні знання у галузі фізики та інших природничих наук, включаючи оволодіння методами наукового дослідження при здійсненні професійної діяльності.

ПРН 2. Системні знання поглибленого рівня в галузі прикладної фізики, наукомістких технологій, нових речовин і матеріалів, методів дослідження їх властивостей, зокрема, знання сучасних досягнень та інноваційних прикладних рішень, в тому числі на стику різних галузей науки.

ПРН 3. Знання методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень, основних принципів системного та синергетичного аналізу, розуміння методів моделювання та фізичних моделей в прикладній фізиці.

ПРН 6. Вміння орієнтуватися в наукових проблемах у професійній сфері, знаходити оптимальні шляхи їх розв'язання.

ПРН 7. Вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові складні ідеї, які заслуговують на рецензовану публікацію на національному або міжнародному рівні.

ПРН 8. Вміння обирати теоретичні й експериментальні методи дослідження, відповідні методи системного і синергетичного аналізу, застосовувати моделі та методи моделювання та інноваційні підходи для розв'язання складних завдань і проблем в науково-дослідній та/або інноваційних сферах.

ПРН 10. Вміння збирати та інтерпретувати наукову та фахову інформацію, з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та пошукових систем.

ПРН 13. Вміння формулювати свої професійні висновки, особисті результати і досягнення та розумно їх обґрунтовувати для фахової та не фахової аудиторії.

ПРН 18. Уміти використовувати сучасні інформаційні та комунікативні технології при спілкуванні, обміні інформацією, зборі, аналізі, обробці, інтерпретації джерел.

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 «Вибрані розділи фізики твердого тіла», «Фазові переходи і критичні явища», «Навчальна дисципліна з магнетизму», «Спінтроніка», «Методологія наукових досліджень» та «Вибрані методи комп'ютерного аналізу» третього рівня освіти. Необхідним є базовий рівень володіння англійською мовою для читання посібників та оригінальних статей в англійськомовних журналах.

Знання, отримані аспірантами з дисципліни «Методи експериментальної фізики» 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. Методи отримання сучасних магнітних матеріалів та їх характеристика.	12	2	2	8
Тема 3. Електричні та магнітотранспортні властивості матеріалів.	12	2	4	8
Тема 4. Магнітні параметри матеріалів та методи їх вимірювання.	18	2	6	10
Тема 5. Магніторезонансні методи дослідження магнітних	20	2	8	10

об'єктів.				
Тема 6. Методи візуалізації магнітної структури матеріалів.	16	2	6	8
Разом	88	12	24	52
Залік	2			2
Всього годин	90	12	24	54

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 спінтроники. 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.

Допоміжна література.

6. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. Лекции по магнетизму. – М., Физматлит, 3-е изд., 2005. – 512 с.
7. 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.
8. A.P. Guimaraes. Principles of Nanomagnetism. – Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2008. – 222 p.
9. Cottam M.G. Light scattering in magnetic solids / M.G. Cottam, D.J. Lockwood – Wiley New York, 1985. – 272 p.
10. Modern Techniques for Characterizing Magnetic Materials, Editors Yimei Zhu, Springer New York, NY. - 2005. <https://doi.org/10.1007/b101202>.
11. 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	Тема 1. Магнітні матеріали та їх застосування в науці та сучасних технологіях. 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	Тема 2. Методи отримання сучасних магнітних матеріалів та їх характеристикація. Методи одержання нанооб'єктів (нанопорошків, фулеренів, нанотрубок та наноструктурованих матеріалів). Методи виготовлення тонких плівок. Вплив технологічних параметрів (склад атмосфери, температура і т.п.) на їх властивості. Методи та засоби контролю процесу напilenня. Методи осадження: фізика процесів. [1,3,8]
3	Тема 3. Електричні та магнітотранспортні властивості матеріалів. Електричні та магнеторезистивні властивості матеріалів. Огляд основних механізмів провідності. Магнітоопір. Види магнітоопору. Електричні, транспортні та магнітотранспортні властивості нанооб'єктів та наносистем. Методи вимірювання електрофізичних параметрів. [4,5,10]
	Тема 4. Магнітні параметри матеріалів та методи їх вимірювання. Магнетизм, магнітні властивості речовин. Типи магнітного упорядкування. Методи вимірювання магнітних параметрів: вібраційна та торсіонна магнітометрія, магнітні ваги, СКВІД магнітометрія. [3,8,10]
	Тема 5. Магніторезонансні методи дослідження магнітних об'єктів. Метод електронного спінового резонансу: пара- та феромагнітний резонанси. Резонансні умови, ширина та інтенсивність лінії. Спектри спінових хвиль. Брілюєнівське розсіювання світла. [1,3,9,10]
	Тема 6. Методи візуалізації магнітної структури матеріалів. 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 виготовлення плівкових структур за допомогою електропроменевого та магнетронного осадження. [1,3,8].
2	Лабораторне заняття 2. Вимірювання фізичних параметрів багатокомпонентних структур (товщина, склад, однорідність тощо) [1,3,8].
3	Лабораторне заняття 3. Вимірювання транспортних властивостей тонких плівок [2,4,10].
4	Лабораторне заняття 4. Вимірювання магнітотранспортних властивостей тонких плівок та багатошарових структур [2,5,10].

5	Лабораторне заняття 5. Дослідження гістерезисних магнітних властивостей феромагнітних матеріалів [3,5,8,10].
6	Лабораторне заняття 6. Вимірювання температурних залежностей магнітної сприйнятливості в системах суперпарамагнітних наночастинок [3,5,8].
7	Лабораторне заняття 7. Дослідження температурної поведінки ефективного магнітного моменту та величини обмінної взаємодії в низьковимірних магнетиках. [3,10].
8	Лабораторне заняття 8. Дослідження фазових перетворень в магнітних матеріалах за допомогою температурних залежностей магнітної сприйнятливості [3,11].
9	Лабораторне заняття 9. Лабораторне заняття 8. Дослідження фазових перетворень в магнітних матеріалах за допомогою вимірювання електричного опору зразків. [3,5,11].
10	Лабораторне заняття 10. Дослідження парамагнітного резонансу з надтонким розщепленням ліній. [1].
11	Лабораторне заняття 11. Дослідження феромагнітного резонансу 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 сформувані 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 (PCO)

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) Лабораторні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 4. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на лабораторних заняттях становить $12 \times 4 = 48$ балів. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінні відповіді 4 балів;
- дуже добрі, добрі відповіді 3,2 балів;
- задовільні, достатні відповіді 1 бал.

2) 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.

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

Нарахування балів за відповідь на заліку:

- 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 залік автоматом.

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

Поточний контроль: тести

Календарний контроль: контроль виконання самостійної роботи та завдань лабораторних занять проводиться двічі на семестр у формі тестів 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.

Рейтинг аспірантів 2 курсу з курсу «Методи експериментальної фізики» складається з балів, які вони отримують за:

- 1) СР
- 2) Лабораторні 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 лабораторних занять.

Аспірантам, які успішно виконують завдання самостійної роботи та лабораторних 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.

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 наплення 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 торсіонна 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.

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