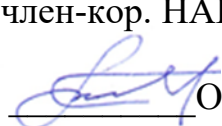


**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МАГНЕТИЗМУ ІМЕНІ В.Г. БАР'ЯХТАРА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(ІМАГ НАН УКРАЇНИ)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
ІМаг НАН України
член-кор. НАН України

 **Олександр ТОВСТОЛИТКІН**
«13» лютого 2025 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)

НЗ МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ТЕОРЕТИЧНІЙ ФІЗИЦІ

(шифр та назва дисципліни)

для аспірантів

спеціальності 104 Фізика та астрономія

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

Розробник:

старший науковий співробітник _____ Ігор ГЕРАСИМЧУК
(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

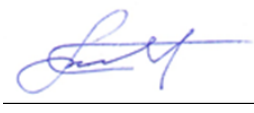
Голова Вченої ради _____ Олександр ТОВСТОЛИТКІН
(підпис)

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
<u>2024</u> / <u>2025</u>	Товстолиткін О.І.		№5-24, 13.06.2024
20___ / 20___			
20___ / 20___			
20___ / 20___			



МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ТЕОРЕТИЧНІЙ ФІЗИЦІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити: 120 годин (денна: 56 годин – лекції, 64 години – СРС)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен/МКР
Розклад занять	http://ukr.imag.kiev.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фіз.-мат. наук, старший наук. співроб. Герасимчук Ігор Вікторович, E-mail: igor.gera@gmail.com
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс: http://ukr.imag.kiev.ua , група в Telegram

Програма навчальної дисципліни

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

Опис дисципліни. Програму навчальної дисципліни «Математичні методи в теоретичній фізиці» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Фізика» підготовки доктора філософії спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Вивчення цілісного курсу Теоретичної фізики сприяє формуванню в аспірантів наукового світогляду і сучасного природничого мислення, а викладання Математичних методів в теоретичній фізиці враховує фахову орієнтацію майбутнього науковця. В результаті вивчення дисципліни «Математичні методи в теоретичній фізиці» аспірант повинен знати основні поняття теоретичної фізики, актуальні напрями її сучасного розвитку, основні математичні методи та моделі, які застосовуються при дослідженні проблем теоретичної фізики; вміти орієнтуватися в сучасних тенденціях розвитку теоретичної фізики, перспективах практичного застосування сучасних розробок,

встановлення взаємозв'язків між різними галузями. Дисципліна дає загальні уявлення про сучасні математичні підходи і методи до вивчення фізичних об'єктів. Передбачено контроль якості отриманих знань у вигляді опитувань на лекціях, тестових завдань та модульної контрольної роботи.

Мета навчальної дисципліни. Метою навчальної дисципліни є розширення та поглиблення об'єму знань з теоретичної фізики та вдосконалення теоретичного апарату та методик розв'язання задач математичної фізики у аспірантів, а також підготовка майбутнього науковця-фахівця, який буде здатний коректно проводити теоретичну інтерпретацію одержаних експериментальних результатів на основі апарату математичної фізики.

Предмет навчальної дисципліни: математичні методи та моделі, що застосовуються в теоретичній фізиці.

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.

РН04. 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.

РН05. 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.

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

Пререквізити. Для успішного засвоєння курсу «Математичні методи в теоретичній фізиці» студент має опанувати наступні дисципліни першого (бакалаврського) рівня: «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Спеціальні розділи математичного аналізу», всі розділи дисципліни «Методи математичної фізики» і всі розділи дисципліни «Теоретична

фізика».

Постреквізити. Навчальна дисципліна «Математичні методи в теоретичній фізиці» є однією з основ формування наукової складової структурно-логічної схеми освітньої програми. Компетентності, знання, уміння та досвід, отримані в процесі вивчення дисципліни «Математичні методи в теоретичній фізиці», є необхідними для якісного ґрунтовного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин		
	Всього	У тому числі	
		Лекції	СР
Тема 1. Роль теорії в пізнанні світу.	4	2	2
Тема 2. Модель ідеального газу.	4	2	2
Тема 3. Елементи квантової статистичної фізики.	4	2	2
Тема 4. Кристалічна структура твердих тіл.	6	2	4
Тема 5. Елементи теорії пружності.	4	2	2
Тема 6. Коливання атомів в кристалах.	4	2	2
Тема 7. Динаміка електронів у кристалах.	4	2	2
Тема 8. Діелектрики, напівпровідники, метали.	4	2	2
Тема 9. Статистика електронів та дірок у напівпровідниках.	4	2	2
Тема 10. Фазові переходи першого та другого роду. Метод середнього поля.	6	2	4
Тема 11. Магнітне впорядкування.	6	2	4
Тема 12. Надпровідність.	6	2	4
Тема 13. Лінійні та нелінійні хвилі.	14	6	8
Тема 14. Солітони. Прямі методи інтегрування солітонних рівнянь.	16	8	8
Тема 15. Метод оберненої задачі розсіяння (МОЗР).	16	8	8
Тема 16. Рівняння Клейна–Гордона та пов’язані з ним моделі.	14	6	8
Разом	116	52	64
МКР	2	2	
Екзамен	2	2	
Всього годин	120	56	64

Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Landau L.D., Lifshitz E.M., Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory, Vol. 3 (3rd ed.), Butterworth-Heinemann, 1981, 689 p.
2. Landau L.D., Lifshitz E.M., Statistical Physics, Vol. 5 (3rd ed.), Butterworth-Heinemann, 1980, 564 p.

3. Landau L.D., Pitaevskii L.P., Lifshitz E.M., Electrodynamics of Continuous Media, Vol. 8 (2nd ed.), Butterworth-Heinemann, 1984, 480 p.
4. Давидов О.С., Квантова механіка, К.: Академперіодика, 2012, 706 с.
5. Федорченко А.М., Теоретична фізика. У 2-х т. Т.2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика, К.: Вища школа, 1993, 415 с.
6. Alwyn S., Nonlinear Science. Emergence and Dynamics of Coherent Structures, Oxford University Press, 2003, 496 p.
7. Герасимчук В.С., Ребенчук Т.В., Герасимчук І.В., Метод оберненої задачі розсіювання та його застосування: навч. посібник; друге видання, випр. та доповнене, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 112 с.
8. В.А. Львов, А.О. Косогор, Д.Л. Попадюк «Просто про складне: звичайні диференціальні рівняння» – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2022. – 151 с. ISBN 978-965-933-169-4.

Додаткова література

8. Локтев В.М., Лекції з теорії надпровідності, К.: ІТФ НАН України, 2011, 276 с.
9. Блажиєвський Л.Ф., Операторні методи квантової теорії: Текст лекцій, Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1993, 64 с.
10. Поплавко Ю.М., Фізика твердого тіла. Т.1, Т.2, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017.
11. Gurevich A.G., Melkov G.A., Magnetization Oscillations and Waves, CRC Press, New York, 1996, 464 p.
12. Боголюбов М.М., Лекції з квантової статистики. Питання статистичної механіки квантових систем, Київ: Рад. школа, 1949, 228 с.
13. Стасюк І.В., Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл, Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013, 392 с.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Электродинамика сплошных сред, М.: Физматгиз, 1982.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теория упругости, М.: Физматгиз, 1987.
16. Займан Дж., Принципы теории твердого тела, Изд. 2-е, М.: Мир, 1974.
17. Абрикосов А.А., Основы теории металлов, М.: Наука, 1987.
18. Кресин В.З., Сверхпроводимость и сверхтекучесть, М.: Наука, 1978.
19. Ахиезер А.И., Барьяхтар В.Г., Пелетминский С.В., Спиновые волны, М.: Наука, 1967.
20. Косевич А.М., Ковалев А.С., Введение в нелинейную физическую механику, К.: Наук. думка, 1989, 304 с.
21. Newell A., Solitons in Mathematics and Physics, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1985, 260 p.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СР)
1	Роль теорії в пізнанні світу. Теоретичні моделі фізичних процесів. Квантова і класична фізика. Квазікласичне наближення. [1–4,12]
2	Модель ідеального газу. Ферміони і бозони. Вторинне квантування. [1,2,4]
3	Елементи квантової статистичної фізики. Розподіли Бозе і Фермі. Вироджений електронний газ, енергія Фермі. Конденсація Бозе-Ейнштейна. [1,2,4]

4	Кристалічна структура твердих тіл. Близькій і дальній порядок. Структура кристалів. Трансляційна симетрія, вектор трансляції. Елементарна комірка. Решітки Браве і решітки з базисом. Кристалічні групи. Рідкі кристали. Аморфні речовини, металеві стекла. [1,2,4,5,12,16,17]
5	Елементи теорії пружності. Звукові хвилі. Дислокації в кристалах. Пружна та пластична деформація кристалів. [1,4,5,10,15]
6	Коливання атомів в кристалах. Фонони акустичні та оптичні. Квазічастинки в фізиці конденсованих середовищ. Фононна теплоємність. [4,6,15–17]
7	Динаміка електронів у кристалах. Зворотна решітка Браве: визначення та приклади. Зони Бріллюена. Гранична умова Борна-Кармана. Теорема Блоха. Наближення слабого і сильного поля. Динаміка блохівського електрона. [4,6,10,15–17]
8	Діелектрики, напівпровідники, метали. Щільність станів електронів у металі з довільним законом дисперсії. Енергія зв'язку металів. Ковалентні кристали. Іонні кристали. [4,6,15–17]
9	Статистика електронів та дірок у напівпровідниках. Рівні домішок в напівпровідниках. Глибокі та мілкі рівні. Власна та домішкова провідність напівпровідників. [1,4,5,15–17]
10	Фазові переходи першого та другого роду. Метод середнього поля. Теорія Ландау фазових переходів. Критичні флуктуації, теорія подібності (скейлінг). [1,4,8,17–19]
11	Магнітне впорядкування. Обмінна взаємодія спінів атомів. Елементи феноменологічної теорії магнетизму. Сегнетоелектрики, рідкі кристали. [3,11,14,19]
12	Надпровідність. Історія питання. Рівняння Гінзбурга-Ландау. Надпровідники першого і другого роду, вихри Абрикосова. Жорсткі надпровідники. Застосування надпровідників. [8,17,18]
13	Основні принципи розповсюдження лінійних хвиль. Фазова та групова швидкість. Дисперсія. Задача Коші для рівняння дифузії: осцилюючий розв'язок та кноїдальні хвилі. [6,7,11,20,21]
14	Нелінійність і дисперсія середовища як необхідна умова існування солітонів. [6,11,20,21]
15	Нелінійні рівняння з дисипацією: рівняння Бюргерса. Перетворення Коула-Хопфа. [6,20,21]
16	Канонічні інтегровні моделі нелінійної теорії хвиль: рівняння Кортевега-де Вріза (КдВ), рівняння синус-Гордона, нелінійне рівняння Шредінгера (НРШ). [6,11,20,21]
17	Задача Фермі-Паста-Улама та солітон Забускі-Крускала. [6,20,21]
18	Білінійна форма інтегровних нелінійних рівнянь у частинах похідних. Метод Хіרותи. [6,20,21]
19	Побудова N-солітонних розв'язків за допомогою перетворення Беклунда. [6,20,21]
20	Метод оберненої задачі розсіювання (МОЗР). Знаходження рівняння КдВ із необхідної та достатньої умов сумісності пари Лакса. Схема інтегрування нелінійних рівнянь у частинах похідних МОЗР на прикладі рівняння КдВ. [6,7,20,21]
21	Пряма й обернена задачі розсіювання. Загальні відомості з квантової теорії розсіювання. Залежність даних розсіювання від часу. [6,7,20,21]
22	Неперервний і дискретний спектри задачі на власні значення. Рівняння Гельфанда-Левітана-Марченка. [6,7,20,21]

23	Обчислення даних розсіювання за заданим потенціалом рівняння Шредінгера. Аналітичні властивості власних функцій і даних розсіювання. Безвідбиткові потенціали. [6,7,20,21]
24	Модель Скірма в теорії поля. Рівняння синус-Гордона. Лоренц-інваріантні розв'язки рівняння синус-Гордона. Топологічні солітони. [6,7,20,21]
25	Застосування методу Хіроти та перетворення Беклунда до рівняння синус-Гордона. [6,20,21]
26	Взаємодія солітонів рівняння синус-Гордона. Бризери. [6,20,21]

Самостійна робота аспіранта

З метою чіткої організації самостійної роботи аспірантів і задля підвищення якості засвоєння навчального матеріалу та вироблення ґрунтовних навичок наукової діяльності пропонуються індивідуальні завдання у формі самостійної підготовки конспектів та рефератів із вибраних тем. 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	Обсяг СР, годин
1	Підготовка до аудиторних занять	20
2	Підготовка до МКР	20
3	Підготовка до екзамену	24
Загалом		64

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Рекомендовані методи навчання: вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, розв'язування стандартних і проблемних задач під час самостійної роботи та при виконанні домашніх завдань. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, опрацювання методів та алгоритмів розв'язування завдань дисципліни є самостійна робота. Вона включає опрацювання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, до МКР і до екзамену.

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- *правила відвідування занять*: згідно розкладу і згідно загально-інститутського розпорядку. Присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті не оцінюються. Відповідно до РСО даної дисципліни (підрозділ 8 силабусу) заохочувальні бали нараховуються за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях;
- *правила поведінки на заняттях*: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача та в інтернеті здійснюється за умови вказівки викладача;
- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів*: студент має можливість отримувати заохочувальні бали за відповідні види навчальної активності на

лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни;

- *політика дедлайнів та перескладань*: згідно загально-інститутського розпорядку; якщо аспірант не з'явився на МКР без поважної причини, його результат оцінюється у 0 балів;
- *політика щодо академічної доброчесності*;
- *інші вимоги*, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Інституту магнетизму.

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: опитування за темою заняття та за результатами самостійної роботи, модульна контрольна робота (МКР).

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

Семестровий контроль: екзамен.

Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система та інститутська шкала.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

На першому занятті аспіранти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (РСО) дисципліни.

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

- 1) за роботу на аудиторних заняттях – максимум **34 бали**;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР) – максимум **26 балів**;
- 3) за відповіді на екзамені – максимум **40 балів**.

Система рейтингових (вагових) балів та критеріїв оцінювання:

1) *Аудиторні заняття*. Ваговий коефіцієнт дорівнює 1. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на аудиторних заняттях, становить $26 \times 1 = \mathbf{26 \text{ балів}}$. Нарахування балів на одному аудиторному занятті за опитування за темою заняття та за результатами самостійної роботи:

- відмінні відповіді – 1 бал;
- добрі відповіді – 0,7–0,9 бали;
- задовільні відповіді – 0,2–0,6 бали.

Також, за активність на аудиторних заняттях і наявний конспект лекцій можна отримати максимум **8 балів**.

2) *Модульна контрольна робота (МКР)*. Ваговий коефіцієнт дорівнює 26. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 26 = \mathbf{26 \text{ балів}}$. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 24–26 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 17–23 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10–16 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) – 0 балів.

3) *Екзамен*. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюється у 20 балів. Максимальна кількість балів за екзамен становить $2 \times 20 = \mathbf{40 \text{ балів}}$. Нарахування балів за відповіді на екзамені:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 36–40 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 28–35 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 20–27 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) – 0 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:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за інститутською шкалою

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
90–100	Відмінно
75–89	Добре
60–74	Задовільно
Менше 60	Незадовільно
Не виконано умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Складено доктором фіз.-мат. наук, старшим науковим співробітником Герасимчуком Ігорем Вікторовичем