

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики твердого тіла



Декан фізичного факультету

Руслан БОВК

“ ” 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Резонансні методи досліджень

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)
галузь знань Е – природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)
спеціальність Е5 – фізика та астрономія
(шифр і назва)
Освітня програма ОНП “Фізика”
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни за вибором
(обов’язкова / за вибором)
факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету (інституту, центру)

“ 29 ” серпня 20 25 року, протокол № 10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

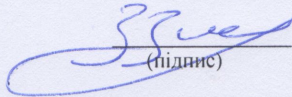
Дмитро РОХМІСТРОВ, канд. фіз. - мат. наук, доцент, доцент

Програму схвалено на засіданні кафедри

фізики твердого тіла

Протокол від “ 28 ” серпня 20 25 року № 9

Завідувач кафедри фізики твердого тіла


(підпис)

Золтан ЗИМАН
(прізвище та ініціали)

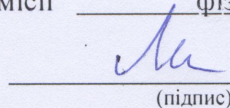
Програму погоджено методичною комісією

фізичного

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 28 ” серпня 20 25 року № 5

Голова методичної комісії фізичного факультету


(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/) програми (керівником проектної групи)

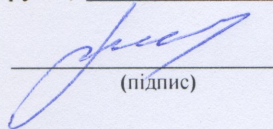
фізика

назва освітньої програми

Гарант освітньої (наукової) програми

(керівник проектної групи)

фізика


(підпис)

Дмитро РОХМІСТРОВ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Резонансні методи досліджень” складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки

магістра

(назва рівня вищої освіти)

спеціальності 104 – фізика та астрономія

спеціалізації

фізика

1. Опис навчальної дисципліни

- 1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є навчити студентів основним принципам дії резонансних методів дослідження структури твердих тіл. Основна увага приділяється ядерному магнітному, електронному парамагнітному, п'єзо-, піроелектричним, феро-, аніферомагнітному, а також резонансам, які виникають при інших умовах під час фізичних досліджень, особливостям фізичних характеристик, умовам одержання, а також сучасному обладнанню, яке використовується для фізичних досліджень.
- 1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є оволодіння студентами теоретичними основами резонансних методів, процесами взаємодії електричного та магнітного полів, радіочастотного, оптичного, ІЧ та рентгенівського випромінювання з речовиною, які носять характер резонансу; основним характеристикам коливального контуру, структурним рівням, а також електронній будові конденсованих речовин.
- 1.3. Кількість кредитів - 6
- 1.4. Загальна кількість годин - 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
36 год.
семінарські
24 год.
Самостійна робота
120 год.

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Компетентності, що мають бути сформовані:

Інтегральна:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії (ІК).

Загальні

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК 1).
- Здатність проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК 3).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 4).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 6).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 9).
- Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності (ЗК 11).
- знати теорії резонансних методів аналізу конденсованих середовищ, теоретичні основи та практичні методи резонансних досліджень, основні методи дослідження структури конденсованих тіл за допомогою резонансних методів досліджень;
- вміти використовувати одержані теоретичні знання підчас проведення фізичних досліджень конденсованих тіл, розраховувати фізичні характеристики та параметри, які впливають з аналізу резонансних кривих та умов виникнення резонансу.

Фахові

- Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (ФК 1).
- Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії (ФК 2).
- Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями (ФК 8).
- Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси (ФК 9).

Програмні результати навчання

- Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем (ПРН 1).
- Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів (ПРН 5).
- Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані (ПРН 10).
- Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач (ПРН 11).
- Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження (ПРН 13).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи фізики резонансних явищ

Тема 1. Резонанс коливальних. Вимушені коливання. Математичний та фізичний маятники. Гармонічний осцилятор. Затухаючі коливання. Добротність контуру.

Тема 2. Резонанс струмів та напруги. Резонансна частота. LC, RLC - кола. Використання резонансу струмів та напруги в електроніці.

Тема 3. Параметричний резонанс.

Тема 4. Акустичний резонанс.

Розділ 2. Резонансні методи досліджень структури середовищ

- Тема 1. Ядерний магнітний резонанс. Хімічний зсув. Спін-спінова взаємодія. Спектрометри ЯМР. Використання методу ЯМР для дослідження локальної структури ядра.
- Тема 2. Ядерний магнітний резонанс твердого тіла.
- Тема 3. Подвійний електрон-електронний резонанс.
- Тема 4. Електронний парамагнітний резонанс. Форма та розщеплення ліній в спектрах ЕПР. g-фактор. Вільні радикали. ЕПР-спектрометри. Використання методу ЕПР для вивчення дози поглинання іонізуючого випромінювання у біологічних зразках.
- Тема 5. Квадрупольний ядерний магнітний резонанс.
- Тема 6. Циклотронний резонанс електронів у металах.
- Тема 7. Пароелектричний резонанс.
- Тема 8. Феромагнітний и антиферомагнітний резонанс.
- Тема 9. Поверхневий плазмонний резонанс.
- Тема 10. П'єзоелектричний резонанс.
- Тема 11. Непружнє резонансне розсіювання рентгенівських променів.
- Тема 12. Резонансне розсіювання світла малими частинками.
- Тема 13. Резонансне поглинання ІЧ випромінювання. ІЧ-спектроскопія.
- Тема 14. Ефект де Гааза-ван Альфена. Дослідження будови поверхні Ферми.
- Тема 15. Скін-ефект.
- Тема 16. Гамма-резонанс. Ефект Мессбауера.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Основи фізики резонансних явищ						
Тема 1. Резонанс коливань. Вимушені коливання. Математичний та фізичний маятники. Гармонічний осцилятор. Затухаючі коливання. Добротність контуру	8	1	1			6
Тема 2. Резонанс струмів та напруги. Резонансна частота. LC, RLC - кола. Використання резонансу струмів та напруги в електроніці	8	1	1			6
Тема 3. Параметричний резонанс	8	1	1			6
Тема 4. Акустичний резонанс.	8	1	1			6
Разом за розділом 1	32	4	4			24
Розділ 2. Резонансні методи досліджень структури середовищ						
Тема 1. Ядерний магнітний резонанс. Хімічний зсув. Спін-спінова взаємодія. Спектрометри ЯМР. Використання методу ЯМР для дослідження локальної структури ядер	10	2	2			6
Тема 2. Ядерний магнітний резонанс твердого тіла	10	2	2			6
Тема 3. Подвійний електрон-електронний резонанс	8	1	1			6
Тема 4. Електронний парамагнітний резонанс. Форма та розщеплення ліній в спектрах ЕПР. g-фактор. Вільні радикали. ЕПР-спектрометри. Використання методу ЕПР для вивчення дози поглинання іонізуючого випромінювання у біологічних зразках	9	1	2			6

Тема 5. Квадрупольний ядерний магнітний резонанс	9	2	1			6
Тема 6. Циклотронний резонанс електронів у металах.	10	2	2			6
Тема 7. Пароелектричний резонанс	9	2	1			6
Тема 8. Феромагнітний и антиферомагнітний резонанс	9	2	1			6
Тема 9. Поверхневий плазмонний резонанс	9	2	1			6
Тема 10. П'єзоелектричний резонанс.	9	2	1			6
Тема 11. Непружне резонансне розсіювання рентгенівських променів	9	2	1			6
Тема 12. Резонансне розсіювання світла малими частинками	9	2	1			6
Тема 13. Резонансне поглинання ІЧ випромінювання. ІЧ-спектроскопія	6	2	1			3
Тема 14. Ефект де Гааза-ван Альфена. Дослідження будови поверхні Ферми	7	2	1			4
Тема 15. Скін-ефект	7	2	1			4
Тема 16. Гамма-резонанс. Ефект Мессбауера	6	2	1			3
Залікова робота	12	2				10
Разом за розділом 2	148	32	20			96
Усього годин	180	36	24			120

4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Механічний резонанс. Залежність параметрів коливального контуру	1
2	Резонансні кола в електроніці. Основні параметри та залежності	1
3	Дослідження локальної структури будови речовини за допомогою Ядерного магнітного резонансу	1
4	Дослідження локальної структури будови твердих тіл за допомогою Ядерний магнітний резонансу твердого тіла	1
5	Дослідження локальної структури будови речовини за допомогою подвійного електрон-електронного резонансу	2
6	Особливості застосування Електронного парамагнітного резонансу для дослідження електронної структури речовини.	2
7	Дослідження локальної структури будови речовини за допомогою квадрупольного ядерного магнітного резонансу	1
8	Застосування циклотронного резонансу електронів у мас-спектрометричних дослідженнях	2
9	Дослідження фізичних властивостей речовини за допомогою пароелектричного резонансу	1
10	Основні параметри феромагнітного та антиферомагнітного резонансу	2
11	Основні шляхи та задачі використання поверхневого плазмонного резонансу у фізичних дослідженнях	1
12	Дослідження фізичних властивостей кристалів за допомогою п'єзоелектричного резонансу	1
13	Використання непружного резонансного розсіювання рентгенівських променів у фізичних дослідженнях	1
14	Дослідження розмірів наночастинок за допомогою резонансного розсіювання світла малими частинками	1
15	Дослідження структури твердих тіл за допомогою ІЧ-спектроскопії	1
16	Методи дослідження будови поверхні Ферми	1
17	Скін-ефект	1
18	Гамма-резонанс. Ефект Мессбауера	1
19	Резонансне розсіювання світла малими частинками	1
20	Використання резонансних методів у наукових дослідженнях	1

	Разом	24
--	-------	----

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Вивести рівняння руху системи математичного та фізичного маятників	6
2.	Вивчити питання амплітудно-частотних характеристик LC, RLC - кіл	6
3.	Встановити основні закономірності та характеристики виникнення параметричного резонансу	6
4.	Вивчити основні параметри резонансного контуру в акустиці	6
5.	Розібрати питання будови спектрометрів ЯМР та основних параметрів спектрів	6
6.	Розібратись в особливостях ЯМР твердого тіла та напрямках використання	6
7.	Вивчити особливості виникнення подвійного електрон-електронного резонансу та шляхи його використання у фізичних дослідженнях	6
8.	Розібрати питання будови спектрометрів ЕПР та основних параметрів спектрів. Проробити теоретичний матеріал стосовно електронного парамагнітного резонансу	6
9.	Розібратись в особливостях роботи та практичного використання квадрупольного ядерного магнітного резонансу	6
10.	Розібрати питання циклотронного резонансу електронів в металах та його застосування в мас-спектрометрії	6
11.	Розібрати питання особливостей пароелектричного резонансу та його використання для дослідження структури твердих тіл	6
12.	Розібрати питання застосування феромагнітного та антиферомагнітного резонансів для дослідження властивостей магнітно-впорядкованих структур	6
13.	Розібрати питання принципу дії поверхневого плазмонного резонансу та його застосування у сенсорах	6
14.	Вивчити п'єзоелектричний резонанс та його основні характеристики	6
15.	Розібрати питання використання пружного та непружного резонансного розсіяння рентгенівських променів для дослідження структури конденсованих середовищ	6
16.	Розібрати питання резонансного розсіяння світла малими частинками для дослідження параметрів наночастинок	6
17.	Розібрати питання резонансного поглинання ІЧ випромінювання. ІЧ-спектроскопія	3
18.	Розібрати питання використання ефекту де Гааза-ван Альфена для дослідження будови поверхні Ферми	4
19.	Вивчити Скін-ефект та його застосування в наукових дослідженнях	4
20.	Розібрати питання гамма-резонансу. Ефект Мессбауера	3
21.	Підготовка до залікової роботи	10
	Разом	120

6. Індивідуальні завдання

Перелік питань до залікової роботи

Розділ 1

1. Резонанс коливань. Вимушені коливання. Математичний та фізичний маятники. Гармонічний. осцилятор. Затухаючі коливання. Добротність контуру.
2. Резонанс струмів та напруги. Резонансна частота. LC, RLC - кола. Використання резонансу. струмів та напруги в електроніці.
3. Параметричний резонанс.
4. Акустичний резонанс.

Розділ 2

1. Ядерний магнітний резонанс. Хімічний зсув. Спін-спінова взаємодія. Спектрометри ЯМР. Використання методу ЯМР для дослідження локальної структури ядер.
2. Ядерний магнітний резонанс твердого тіла.

3. Подвійний електрон-електронний резонанс.
4. Електронний парамагнітний резонанс. Форма та розщеплення ліній в спектрах ЕПР. g-фактор. Вільні радикали. ЕПР-спектрометри. Використання методу ЕПР для вивчення дози поглинання іонізуючого випромінювання у біологічних зразках.
5. Квадрупольний ядерний магнітний резонанс.
6. Циклотронний резонанс електронів у металах.
7. Пароелектричний резонанс.
8. Феромагнітний и антиферомагнітний резонанс.
9. Поверхневий плазмонний резонанс
10. П'єзоелектричний резонанс.
11. Непружне резонансне розсіювання рентгенівських променів.
12. Резонансне розсіювання світла малими частинками.
13. Резонансне поглинання ІЧ випромінювання. ІЧ-спектроскопія.
14. Ефект де Гааза-ван Альфена. Дослідження будови поверхні Фермі.
15. Скін-ефект.
16. Гамма-резонанс. Ефект Мессбауера.

7. Методи контролю

поточний (перевірка завдань самостійної роботи), контрольна робота (письмово), курсова робота (письмово) та підсумковий (екзамен)

8. Схема нарахування балів*

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				
Розділ 1	Розділ 2			
T1-T4	T5-T20			
12	48			
Контрольна робота	Курсова робота	Разом	Залікова робота	Сума
		60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

*Студент допускається до виконання залікової роботи якщо загальна кількість балів набраним ним за результатами складання поточного контролю складає мінімум 30 балів.

Критерії оцінювання результатів навчання студента

Поточний контроль

Поточний контроль результатів навчання студента проводиться шляхом перевірки виконання студентами завдань для самостійної роботи (письмово виконаних у конспектах). Якщо студент виконав завдання самостійної роботи, то він отримує від 1 до 3 балів. За виконання завдань самостійної роботи на поточному контролі студент може одержати максимум 60 балів. Мінімальна кількість балів поточного контролю, яка вважається успішною становить 30.

Залікова робота

Залікова робота проводиться по завершенні вивчення навчальної дисципліни під час проведення підсумкового семестрового контролю (зимової сесії). Кожен студент одержує по одному запитанню з кожного розділу. Кожне запитання оцінюється максимум у 50 балів. Загальна максимальна кількість балів за виконання контрольної роботи становить 100 балів, які трансформуються у кількість балів, виділених для оцінювання екзаменаційної роботи згідно робочої програми навчальної дисципліни в 40 балів. Максимальна кількість балів, яку студент може одержати за виконання залікової роботи дорівнює 100 балам. Ці бали перераховуються у шкалу оцінювання результатів навчання студента п. 8 цієї програми шляхом множення кількості балів на коефіцієнт 0.4 (тобто 100 балів за залікову роботу дорівнює 40 балам загальної оцінки за виконання залікової роботи в системі нарахування балів). Залікова робота вважається виконаною успішно якщо студент за її виконання отримав не

менш як 20 (з 40 можливих) балів виділених для її оцінювання в системі нарахування балів.

Критерії оцінювання знань з залікової роботи:

Розподіл балів за типом змісту роботи (100 балів):

- Теоретичний матеріал – 50 балів.
- Ілюстративний матеріал, формули, схеми, графіки – 30 балів.
- Логічна послідовність подання матеріалу, аналіз формул, графічних даних – 20 балів.
- "100 – 90 балів" – студент міцно засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, основні положення наукових першоджерел та рекомендованої літератури, логічно мислить і будує відповідь, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем, демонструє високий рівень засвоєння практичних навичок;
- "89 – 70 балів" – студент добре засвоїв теоретичний матеріал, володіє основними аспектами з першоджерел та рекомендованої літератури, аргументовано викладає його; має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту або при аналізі практичного;
- "69 – 50 балів" – студент в основному опанував теоретичними знаннями навчальної дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, плутає поняття, додаткові питання викликають невпевненість або відсутність стабільних знань; відповідаючи на запитання практичного характеру, виявляє неточності у знаннях, не вміє оцінювати факти та явища, пов'язувати їх із майбутньою діяльністю;
- "49 – 0 балів" – студент не опанував навчальний матеріал дисципліни, не знає наукових фактів, визначень, майже не орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відсутні наукове мислення, практичні навички не сформовані.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. Фізичні методи дослідження в хімії: навчальний посібник для самостійної роботи (для студентів спеціальності «Хімія» хімічного факультету) / уклад.: М. М. Олійник, М. В. Горічко, О. М. Швед та ін. – Вінниця: ДонНУ, 2015. – 198 с.
2. Основи фізико-хімічних методів аналізу / О. Гаркович, Г. Ф. Джурка. – Полтава : Полтав. держ. пед. ун-т імені В. Г. Короленка, 2001. – 124 с.
3. Прикладна ІЧ-спектроскопія: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. П. Черних, Л. А. Шемчук, С. В. Власов та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В. П. Черних. Х.: НфаУ, 2014. 245 с.
4. Курик М. Фізика твердого тіла / М. Курик, В. Цмоць. – К. Вища шк., 1985. – 343 с.
5. Бушок Г. Ф., Венгер Є. Ф., Курс фізики: У 3 кн. Кн. 3. Оптика. Фізика атома та атомного ядра, К.: Вища шк., 2003. - 311 с.
6. Семененко С. В., Фізичні методи дослідження молекул, Рубіжне: ІХТ ЧНУ ім. В. Даля, 2007. – 87 с.

Допоміжна література

1. J. Keeler, Understanding NMR spectroscopy, Wiley, 2005, 211 p.
2. H. Gunther, NMR Spectroscopy: Basic Principles, Concepts and Applications in Chemistry, Wiley-VCH, 2013, 734 p.
3. J. M. Hollas, Modern Spectroscopy, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 2004, 483 p.
4. E. de Hoffmann, V. Stroobant, Mass Spectrometry. Principles and Applications, Wiley-Interscience, 2007, 502 p.

5. D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, Introduction to Spectroscopy, Brooks Cole, 2000, 680 p.
6. G. Gauglitz, D. S. Moore, Handbook of Spectroscopy, 4 Volume Set, 2014, 1993 p.
7. P. Bertrand, Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy: Fundamentals, Springer, 2020, 444 p.
8. R. S. Macomber, Complete Introduction to Nuclear Magnetic Resonance and NMR Spectroscopy, Wiley-Interscience, 1997, 357 p.
9. A. H. Huizer, W. J. van der Hart, Hermann Hartmann, Karl-Peter Wanczek (eds.), Ion Cyclotron Resonance Spectrometry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1978, 326 p.
10. R. B M Schasfoort, R. Schasfoort, A. Marquart, P. Schuck, E. T. Gedig, R. Karlsson, K. Wagner, N. T. Ditto, D. Apiyo, S. R. Blum, Handbook of surface plasmon resonance, Royal Society of Chemistry, 2017, 524 p.
11. N. D. Veksler, H. Uberall, Resonance Acoustic Spectroscopy, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993, 282 p.
12. O. Yalcin, Ferromagnetic resonance – theory and applications, InTech, 2013, 247 p.