

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики металів



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Резонансні методи досліджень твердого тіла**

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
освітній ступінь Бакалавр  
освітня програма Фізика  
спеціалізований вибірковий блок Фізика металів  
вид дисципліни Вибіркова **ВК 14**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	восьмий
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: доц. Кудін Володимир Григорович

Пролонговано: на 2022/2023 н.р.  (підпис, ПІБ, дата) «30» 09 2022 р.

на 20\_\_/20\_\_ н.р. (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2021

Розробник: Кудін Володимир Григорович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри фізики металів.

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Зав. кафедри фізики металів

  
(підпис)

(Курилюк В.В.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 11 від «10» червня 2021 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

Протокол № 4 від «22» червня 2021 року

Голова науково-методичної комісії  
(підпис)



(Оліх О.Я.)

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** — формування у студентів базових уявлень про різні явища резонансів, які спостерігаються в речовинах (в т.ч. в кристалічних тілах), методів спектроскопії, заснованих на них: ядерного магнітного резонансу (ЯМР), електронного парамагнітного резонансу (ЕПР), а також гамма спектроскопії (ефект Месбауера). Отримати уявлення про застосування цих явищ для визначення структури молекул і особливостей будови кристалічних тіл.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знати закони, що описують гармонічні коливання, поширення хвиль в просторі. Знати основні постулати квантової механіки, опис станів електронів і ядра в атомі. Знати статистичні закони розподілу.

2. Вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів математичного аналізу, диференційних рівнянь, математичної фізики, загальної фізики, квантової механіки, статистичної фізики для розв'язку практичних задач з курсу фізики твердого тіла.

3. Володіти елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, розв'язку алгебраїчних і диференційних рівнянь, побудови та аналізу графічних залежностей.

**3. Анотація навчальної дисципліни:** В рамках курсу «Резонансні методи досліджень твердого тіла» викладаються сучасні уявлення про явища ядерного магнітного резонансу (ЯМР), електронного парамагнітного резонансу (ЕПР), а також гамма спектроскопії (ефект Месбауера), методів спектроскопії, заснованих на цих явищах, методики обробки результатів для визначення особливостей структури молекул або атомного оточення. Мета вивчення дисципліни – ознайомлення студентів з теоретичними основами та сучасними проблемами фізики молекул. Навчальна задача курсу полягає в оволодінні сучасними методиками визначення особливостей молекулярної будови речовин. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи. Методи оцінювання: опитування під час лекцій, модульні контрольні роботи; захист лабораторних робіт, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – формування здатності застосовувати теоретичні знання з фізики твердого тіла до розв'язку практичних завдань при наукових дослідженнях.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП "Фізика", спеціалізований вибіркового блоку «Фізика металів»), дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальних:

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність приймати обгрунтовані рішення.

ЗК7. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК9. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

ЗК10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.

ЗК13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК15. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій,

використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

Фахових:

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК5. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

ФК6. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК12. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

### 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати методіку досліджень методами ЯМР і ЕПР спектроскопій, вміти виявляти особливості хімічних зв'язків в молекулах і твердих тілах, особливості кристалічної будови твердих тіл та основні закономірності динаміки кристалічної решітки твердих тіл.	Лекції, лабораторні роботи	Опитування під час лекцій; модульна контрольна робота; захист лабораторних робіт	30
1.2	Знати основи проведення гамма-спектроскопії, вплив структури твердого тіла на її результати.	Лекції, лабораторні роботи	Опитування під час лекцій; модульна контрольна робота; захист лабораторних робіт	30

### 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни	
	1.1	1.2
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних 8 фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.	+	
ПРН4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які		+

використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.		
ПРН8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.		+
ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.	+	
ПРН14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.	+	
ПРН19. Знати та розуміти необхідність збереження та примноження моральних, культурних та наукових цінностей і досягнень суспільства.		+
ПРН22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.	+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 за темами 1-7: РН 1.1 – 20 балів / 12 балів
2. Модульна контрольна робота 2 за темами 8-14: РН 1.2 – 20 балів / 12 балів
3. Захист лабораторних робіт: РН 1.1, 1.2 – 15 балів / 9 балів
4. Опитування під час лекцій: РН 1.1, 1.2 – 5 балів / 3 бали

#### - підсумкове оцінювання у формі іспиту.

Іспит проводиться в письмовій формі. Кожен екзаменаційний білет містить два теоретичні питання з необхідністю розгорнутої відповіді. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом за складання іспиту дорівнює 40. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит не може бути меншою 24 балів. Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше ніж 36 балів.

### 7.2. Організація оцінювання:

Модульні контрольні роботи 1 - 2 проводяться по завершенні тематичних лекцій з Розділів 1-2 відповідно. Захист лабораторних робіт, опитування в процесі лекцій проводиться упродовж семестру.

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
----------------------	--------

<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин		
		лекції	семінари/ практичні/ лабораторні	Самостійна робота
<b>Частина 1. Магнітні резонанси. Вступ.</b>				
1	<b>Тема 1.</b> Квантовомеханічний опис електронних станів в атомі. Квантові числа. Квантовомеханічний опис орбітального руху електрона в атомі. Власний механічний і магнітний моменти електрона. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції. Постійна Маделунга та розрахунок енергії іонних кристалів.	2		5
2	<b>Тема 2.</b> Енергія магнітного диполя в магнітному полі. Квантування кутового моменту. Співвідношення між магнітним і кутовим моментами. Гіромагнітне співвідношення. g-Фактор. Складові спіну ядра. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2		5
3	<b>Тема 3.</b> Зміна енергетичних станів електрона атома в зовнішньому магнітному полі. Класичний (механічний) опис поведінки частки з наявним магнітним моментом в зовнішньому магнітному полі. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2		5
4	<b>Тема 4.</b> Взаємодія магнітних диполів з електромагнітним випромінюванням. Спонтанне і індуковане випромінювання. Закони Ейнштейна. Класичний (механічний) опис поведінки магнітного моменту частки зовнішньому магнітному полі і при одночасному опроміненні електромагнітною хвилею. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2		5
6	<b>Тема 6.</b> Поведінка вектора намагніченості системи часток в зовнішньому магнітному полі і при одночасному опроміненні електромагнітною хвилею. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	4	2	5
7	<b>Тема 7.</b> Особливості будови електромагнітів для створення магнітних полів в дослідах ЯМР і ЕПР спектроскопії. Методики і будова ЯМР і ЕПР спектрометрів. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4	5
	<i>Контрольна робота 1</i>			
<b>Частина 2. Методики досліджень структури молекул методами ЯМР і ЕПР спектроскопії.</b>				
8	<b>Тема 8.</b> Статистичний опис розподілу часток за енергетичними рівнями. Розподіл Больцмана. Зміна заселеностей часток при зміні зовнішнього магнітного поля. Шляхи розсіяння енергії в ансамблі частинок, що взаємодіють. <b>С.Р.С.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2		5

9	<b>Тема 9.</b> Фур'є розклад випромінювання за компонентами. Найпростіші спінові детектори. Сучасна методики проведення ЯМР спектроскопії з використанням Фур'є аналізу. С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2		6
10	<b>Тема 10.</b> Хімічний зсув в ЯМР спектрах. С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2	4	6
11	<b>Тема 11.</b> Спектри ЯМР в полікристалах. Теорія моментів Ван-Флека. Приклади структурного аналізу методом ЯМР С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2	4	6
12	<b>Тема 12.</b> Розчеплення ліній ЯМР під впливом квадрупольної взаємодії. С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2		6
13	<b>Тема 13.</b> Інтерпретація спектрів ЕРП в кристалічних тілах С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2		6
14	<b>Тема 14.</b> Кінетичні ефекти. Час спін-спінової релаксації. Вплив повільного обертання молекул на спектр ЕПР. Спін-орбітальна взаємодія С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2		5
15	<b>Тема 15.</b> Ефект Месбауера. Гамма-спектроскопія. С.Р.С. Вивчення матеріалу лекції.	2		5
	<i>Контрольна робота 2</i>			
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	<b>75</b>

**Загальний обсяг 120 год., в тому числі:**

Лекцій – **30 год.**

Лабораторні заняття – **14 год.**

Консультації - **1 год.**

Самостійна робота - **75 год.**



## 9. Рекомендована література:

### *Основна:*

1. Воловенко Ю.М., Комаров І.В., Туров О.В., Хиля В.П. Спектроскопія ядерного магнітного резонансу: – К.: Київський університет, 2016. – 703 с.
2. Slichter C.P. Principles of Magnetics Resonance, Springer, 2010, — 651 p. <https://www.goodreads.com/book/show/9334175-principles-of-magnetic-resonanceJohn>
3. E. Wertz, James R. Bolton, Electron Spin Resonance: Elementary theory and Aractical application. — McGraw-Hill, New York, 1972, 550 с.

### *Додаткова:*

1. Ernst Richard R., Principles of Nuclear Magnetic Resonance in One and Two Dimensions, Springer, 1990, — 640 p. [https://www.goodreads.com/book/show/2509438.Principles\\_of\\_Nuclear\\_Magnetic\\_Resonance\\_in\\_One\\_and\\_Two\\_Dimensions](https://www.goodreads.com/book/show/2509438.Principles_of_Nuclear_Magnetic_Resonance_in_One_and_Two_Dimensions)
2. Malcolm H., Spin Dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance, Wiley, 2001, — 710 p.