

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Факультет *фізико-технічний*

Кафедра *матеріалознавства і новітніх технологій*

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Резонансні методи досліджень**

Освітня програма	Магістр
Спеціальність	104 Фізика і астрономія
Галузь знань	10 Природничі науки.

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 7 від “02” лютого 2022 р.

## ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Результати навчання (компетентності)
5. Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
7. Політика курсу.
8. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Резонансні методи досліджень
<b>Викладач (-і)</b>	Яцура Михайло Михайлович
<b>Контактний телефон викладача</b>	Роб. 59 -61- 43
<b>E-mail викладача</b>	Yatcura 1940 @ gmail.com
<b>Формат дисципліни</b>	Нормативна
<b>Обсяг дисципліни</b>	6 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	1 год. на тиждень, ауд. 211
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Навчальна дисципліна «Резонансні методи досліджень» є одним із освітніх компонентів, що формують інтегральні компетентності та забезпечують отримання комплексу професійних знань випускників магістратури сп. «Прикладна фізика та наноматеріали» університету.</p> <p>«Резонансні методи досліджень» об'єднують в собі два сучасні і об'єктивні методи дослідження матеріалів - ядерну гамма-резонансну спектроскопію (ЯГРС) та рентгенівську спектроскопію. В основі ЯГРС лежить резонансне поглинання <math>\gamma</math>-випромінювання ядрами за умови відсутності втрати <math>\gamma</math>-фотоном енергії на віддачу, що і послужило основою створення ЯГРС (даний вид спектроскопії ще називають Мессбауерівською спектроскопією). Рентгенівську спектроскопію поділяють на емісійну рентгенівську спектроскопію і рентгенівську спектроскопію поглинання. І один і другий метод дають об'єктивну і надійну інформацію про електричні і магнітні властивості кристалів, про їх електронну будову та хімічні зв'язки в кристалах.</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p><b>Мета:</b> забезпечення студентів глибокими знаннями теоретичних основ ЯГРС і рентгенівської спектроскопії, які необхідні для свідомої постановки фізичного експерименту при вивченні нових матеріалів та матеріалів, що можуть змінювати свої властивості під дією різних зовнішніх чинників.</p> <p><b>Цілі:</b> засвоєння студентами основ теорії резонансного поглинання <math>\gamma</math>-променів атомними ядрами, природи характеристичного рентгенівського випромінювання та його поглинання речовиною; набуття навичок застосування теоретичних знань до розв'язку складних практичних задач з ви-користанням ЯГРС та рентгенівської спектроскопії</p>	
<b>4. Результати навчання (компетентності)</b>	
<p><b>Інтегральна компетентність</b></p> <p>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.</p> <p><b>Загальні компетентності</b></p> <p>K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.  K02. Здатність застосовувати знання у практичній ситуаціях.  K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.  K04. Здатність бути критичним і самокритичним.  K07. Навички здійснення безпечної діяльності.  K08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.  K10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.  K11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо.</p>	

K14. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

K15. 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.

K16. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації, вміння застосовувати здобуті фундаментальні знання при розробці нових наукових методик в новітніх промислових технологіях, зразках нової техніки і апаратури.

K17. Здатність до пошуку, опрацювання та узагальнення професійної та науково-технічної інформації, робити усні та письмові звіти, популяризувати сучасні фізичні концепції серед нефахівців.

### **Спеціальні (фахові) компетентності.**

K18. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

K19. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

K20. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

K21. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

K22. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

K24. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

K25. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

K26. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

K27. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

K28. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

K29. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

K30. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

K31. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

K32. Здатність застосовувати основні фізичні теорії і методи теоретичної фізики для опису фізичних законів і конкретних фізичних явищ.

K33. Здатність застосовувати здобуті фундаментальні знання при розробці нових наукових методик в новітніх промислових технологіях, зразках нової техніки і апаратури.

K34. Здатність сучасних уявлень про основні теоретичні чи експериментальні методи проведення наукового дослідження фізичних об'єктів та технологічного процесу їхнього створення.

K35. Здатність визначати оптимальні умови виконання експерименту для досягнення поставленої фізичної мети і формулювати технічні вимоги до компонентів експериментальної методики.

K36. Здатність приймати участь в розробці нових методів і методичних підходів в науково-інноваційних дослідженнях та інженерно-технологічній діяльності.

K37. Здатність використовувати знання іноземної мови для вивчення наукової фізичної літератури та у професійному спілкуванні з іноземними колегами.

#### **Очікувані програмні результати навчання**

ПР02. Знати і розуміти фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій, та методи дослідження властивостей речовин і матеріалів.

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР10. Вміти планувати дослідження, обрати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.

ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПР13. 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.

ПР17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.

ПР24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

### **5. Організація навчання курсу**

#### Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
Лекції	18
Практичні роботи	26
Лабораторні роботи	20
Самостійна робота	116
Вид підсумкового контролю	Залік

#### Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
3-ий	104 Фізика та астрономія	2-ий	Вибірковий

#### Тематика курсу

Тема, план	Форма заняття	Література	Завданн я, год	Вага оцінк и	Термін виконання
<b>Тема 1. Основи теорії γ-резонансної спектроскопії.</b> Із історії відкриття і розвитку	Лекція	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять

<p>ядерної <math>\gamma</math>-резонансної спектроскопії (ЯГРС). Вклад в розвиток ЯГРС вітчизняних вчених. Взаємодія <math>\gamma</math>-променів з речовиною. Форма ліній випромінювання та поглинання. Втрата енергії на віддачу і доплерівське розширення. Сутність ефекту Мессбауера.</p>					
<p><b>Тема 2. Параметри <math>\gamma</math>-резонансних спектрів.</b> Імовірність ефекту Мессбауера. Температурний зсув та дифузне розширення лінії. Ізомерний (хімічний) зсув <math>\gamma</math>-лінії. Квадрупольне розщеплення лінії. Магнітна надтонка взаємодія (ядерний Зееман-ефект). Комбінована магнітна і електрична надтонка взаємодія. Розширення ліній обумовлене електричними і магнітними взаємодіями.</p>	Лекція	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<p><b>Тема 3. Методика експерименту.</b> Спектрометри зі сталою і змінною швидкостями. Джерела <math>\gamma</math>-променів та їх характеристики. Детектори <math>\gamma</math>-фотонів. Техніка низьких і високих температур. Виготовлення поглиначів. Стандартизація спектрів за швидкостями. Розрахунок параметрів спектрів.</p>	Лекція	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<p><b>Тема 4. Обробка <math>\gamma</math>-резонансних спектрів.</b> Застосування <math>\gamma</math>-резонансної спектроскопії для дослідження металів, сплавів і неорганічних сполук на основі заліза. Ефект Мессбауера в металічному залізі, його сплавах, окислах, феритах, борідах, карбідах тощо. Застосування ефекту Мессбауера в біології і медицині.</p>	Лекція	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<p><b>Тема 5. Основи теорії рентгівського випромінювання.</b> Історичний огляд розвитку рентгівської спектроскопії. Вклад вітчизняних вчених в розвиток рентгівської спектроскопії у сучасній фізиці твердого тіла. Класична і квантова теорія природи рентгівського випромінювання. Характерні особливості неперервного і характеристично-</p>	Лекція	Згідно списку літератури	4 год.	1-10	Згідно розкладу занять

го спектрів рентгенівських променів. Розкладання рентгенівського випромінювання в спектр. Метод плоского кристала. Методи Іоганна і Кошуа. Загальна характеристика кристалів для спектрографів. Будова і принцип роботи рентгенівських спектрографів і спектрометрів. Короткохвильовий рентгенівський спектрометр (КРУС). Довгохвильовий рентгенівський універсальний спектрометр (ДРУС).					
<b>Тема 6. Тонка структура рентгенівських емісійних спектрів і спектрів поглинання.</b> Вплив хімічних зв'язків на основні лінії рентгенівського спектра. Ширина емісійних смуг і визначення числа електронів на зовнішніх рівнях атома. Знаходження рівня фермі за рентгенівськими спектрами. Тонка структура спектрів поглинання. Спектри поглинання кристалічних твердих тіл. Природа головного краю поглинання. Методи експериментального дослідження спектрів поглинання.	Лекція	Згідно списку літератури	4 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 7. Якісний і кількісний рентгенівський аналіз. Застосування рентгенівських спектрів до дослідження стану речовини.</b> Визначення складу проби. Метод внутрішнього стандарту. Метод зовнішнього стандарту. Абсорбційний аналіз. Сучасні методи дослідження стану речовини за рентгенівськими спектрами. Рентгенівські спектри металів і сплавів та їх електронна будова.	Лекція	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 1. Резонансне поглинання <math>\gamma</math>-променів.</b> Втрата енергії на віддачу і доплерівське розширення. Сутність ефекту Мессбауера	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 2.</b> Ізомерний (хімічний) зсув $\gamma$ - лінії і його зв'язок зі структурою і станом речовини	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 3.</b> Квадрупольне розщеплення лінії і його зв'язок зі структурою і станом речовини	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 4.</b> Магнітна надтонка взаємодія (ядерний Зеєман-	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять

ефект). Комбінована магнітна і електрична надтонка взаємодія. Розширення ліній обумовлене електричними і магнітними взаємодіями					
<b>Тема 5.</b> . Ефект Мессбауера в металічному залізі, його сплавах, окислах, феритах, борідах, карбідах, аморфних металевих сплавах.	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 6.</b> Класична та квантова теорія природи рентгенівського випромінювання. Характерні особливості рентгенівського випромінювання з неперервним і характеристичним спектром	Практична	Згідно списку літератури	6 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 7.</b> Будова і принцип дії рентгенівських спектрометрів. Короткохвильовий рентгенівський спектрометр (КРУС). Довгохвильовий рентгенівський універсальний спектрометр (ДРУС)	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 8.</b> Параметри рентгенівських емісійних спектрів та спектрів поглинання, їх тонка структура. Зв'язок параметрів спектрів зі структурою та електронною будовою речовини	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 9.</b> Якісний і кількісний рентгенівський аналіз. Методи внутрішнього і зовнішнього стандартів. Абсорбційний аналіз	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 10.</b> Отримання та побудова $K\beta_1$ -смуги атомів заліза, в одній із простих його сполук. Розрахунок параметрів отриманої смуги	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 11.</b> Отримання та побудова K-краю Fe в одній із простих сполук заліза. Розрахунок параметрів отриманого краю	Практична	Згідно списку літератури	2 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 1. Вступне заняття.</b> Схема $\gamma$ -експерименту спостереження ефекту Мессбауера. Ознайомлення з будовою і принципом дії спектрометра ЯГР. Джерела $\gamma$ -квантів. Підготовка поглиначів до експерименту. Детектори $\gamma$ -квантів. Підготовка ЯГРС-установки до експерименту.	Лабораторна робота	Згідно списку літератури	5 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 2. Отримання ЯГРС</b> аморфного металічного сплаву $Fe_{80}Si_6B_{14}$ та його бробка. Ізомерний (хімічний) зсув $\gamma$ -лінії, квадрупольне і надтонке магнітне	Лабораторна робота	Згідно списку літератури	5 год.	1-10	Згідно розкладу занять



розщеплення та їх зв'язок із внутрішнім станом сплаву речовини.					
<b>Тема 3. Методи розкладання</b> характеристичного випромінювання в спектр. Ознайомлення з будовою і принципом роботи коротко-хвильового і довго-хвильового рентгенівських спектрометрів. Отримання $K_{\alpha}$ -ліній Fe в $Fe_{80}Si_6B_{14}$ і їх інтерпретація.	Лабораторна робота	Згідно списку літератури	5 год.	1-10	Згідно розкладу занять
<b>Тема 4. Якісний і кількісний рентгенівський аналіз.</b> Визначення складу аморфного сплаву $Fe_{80}Si_6B_{14}$ методом внутрішнього стандарту. Знайомство з абсорбційним аналізом. Сучасні рентгенівські апарати для визначення якісного і кількісного складу речовини.	Лабораторна робота	Згідно списку літератури	5 год.	1-10	Згідно розкладу занять

### 6. Система оцінювання курсу

Загальна система оцінювання курсу	Для перевірки знань, умінь і навичок студентів при вивченні навчальної дисципліни використовуються такі форми контролю: - поточний; - підсумковий (залік). Поточний контроль передбачає оцінювання колоквиумів, синтезів, лабораторних робіт студентів та результатів тестування. Підсумковий контроль здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю.
Вимоги до письмової роботи.	Письмова робота з будь-якого виду занять, повинна бути належним чином оформлена, повинна містити умову поставленого завдання (задачі), пояснення, рисунки, формули, графіки тощо. Письмова робота повинна бути грамотно написана і читабельна. При оцінці роботи студента на практичному /семінарському занятті враховується: розуміння студентом теоретичного матеріалу, пов'язаного з темою, яка обговорюється на занятті, вміння теоретично обґрунтовувати хід розв'язку задачі, вміння викладати свої думки письмово (у випадку письмової роботи), правильність і послідовність викладання своїх думок (розв'язку задачі), самостійно висловлювати ідеї і вміння відстоювати їх, вміння застосовувати теоретичні положення теми до розв'язку конкретних задач, застосування ілюстрацій (презентацій) впродовж доповіді на семінарі, участь (активність) студента при

	розв'язку задач та в дискусії при обговоренні питань на семінарі.
Семінарські заняття	-
Умови допуску до підсумкового контролю	Студент допускається до складання заліку, якщо впродовж семестру він за весь курс набрав сумарно 25 балів і вище. Студент не допускається до складання заліку, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав менше 25 балів. У цьому випадку студенту у відомості робиться запис "не допущений" і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу декана факультету за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання студентом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, перескладання змістових модулів, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок за змістові модулі. Напередодні заліку викладач подає доповідну декану про недопуск студентів академічної групи. Відмітка про недопуск у відомості робиться при наявності розпорядження декана.
<b>7. Політика курсу</b>	
<p>Курс передбачає роботу студентів групою (практичні і семінарські заняття) і ВНЗ.</p> <p>Робота в студентській аудиторії повина бути дружньою, творчою, відкритою до дискусій, конструктивною.</p> <p>Усі завдання, передбачені програмою, повинні бути виконані студентом у встановлені терміни.</p> <p>Будь-які роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (-20%).</p> <p>Пропуски практичних/семінарських та лабораторних занять без поважних причин виключаються</p> <p>Студент повинен бути готовим до кожного із практичних/семінарських і лабораторних занять.</p> <p>Якщо студент не готовий до якогось із практичних/семінарських або лабораторних занять, то таке заняття повинно бути відпрацьоване у встановленому порядку;</p> <p>Практичні/семінарські і лабораторні заняття, пропущені з поважних причин, повинні бути відпрацьовані у встановленому порядку.</p> <p>Студент повинен самостійно займатися в бібліотеці або в інтернет режимі.</p>	
<b>8. Рекомендована література</b>	
<b>Основна</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Яцура М.М., Гасюк І.М., Гамарник А.М. Фізичні основи <math>\gamma</math>-резонансної спектроскопії. – Ів.-Франківськ.: Плай, 2012.</li> <li>2. Шпинель В.С. Резонанс гамма-лучей в кристалах. – М.: Наука, 1969</li> </ol>	

3. Химическое применение мессбауэровской спектроскопии. Под ред. Гольданского В.И. – М.: Мир , 1970.
3. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. – Москва.: ГИТТЛ, 1957.
4. Немошкаленко В.В. Рентгеновская эмиссионная спектроскопия металлов и сплавов. – Киев.: Наукова думка, 1972.
5. Зварич М. Емісійні рентгенівські спектри заліза в аморфних сплавах на ос-нові Fe-Si-V. Магістерська робота. –Ів.-Франківськ.: Прикарпатський Уні-верситет ім. В. Стефаника, 2015.

#### **Додаткова**

6. Практика ефекта Мессбауэра. Под общей редакцией Р.Н. Кузьмина. - Изд-во Московского университета, 1989.
7. Суздалев И.П. Динамические эффекты в гамма-резонансной спектроскопии. - М.: Атомиздат, 1979.
8. Лосев Н.Ф. Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. - Москва: Наука, 1969.
9. Эффект Мессбауэра. Сб. статей. Под. ред. Ю. Кагана. - Москва.: Изд-во иностранной литературы, 1962.
10. Электронная структура переходных металлов, их сплавов и интерметаллических соединений.
11. Блохин М.А. Методы рентгеноспектральных исследований. ГИТТА: Москва, 1958.
12. Материалы II международного симпозиума ISESTM. - Киев: Наукова думка.
13. Каипов Д.К. Ядерный гамма-резонанс и сопутствующие ему процессы. – Алма-Ата: Наука, 1976
14. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. – Новосибирск: Наука, 1982.
15. Баринский Р.Л. Рентгеноспектральное определение заряда атомов в молекулах. – М.: Наука, 1966.

**Викладач: Яцура Михайло Михайлович**