

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
ВІДДІЛЕННЯ ФІЗИКИ ЯДРА  
КАФЕДРИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Проректор з наукової роботи  
/Студеняк І.П./  
\_\_\_\_\_ 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ПОЗИТРОННА СПЕКТРОСКОПІЯ


Рівень вищої освіти	третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика і наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика і наноматеріали
Статус дисципліни	вибіркова
Мова навчання	українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Позитронна спектроскопія» для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії галузі знань **10 Природничі науки** спеціальності **105 Прикладна фізика і наноматеріали** освітньої програми **Прикладна фізика і наноматеріали**.

**Розробники:** Гайсак І.І., доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри  
прикладної фізики

протокол № 7 від «23» вересня 2020 р.

Завідувач кафедри  Небола І.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 1 від «23» вересня 2020 р.

Голова науково-методичної комісії  Карбованець М.І.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 7	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 210	<b>1</b>	<b>1</b>
Кількість модулів – 2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи аспіранта – 4	<b>1, 2</b>	<b>1, 2</b>
	Лекції:	
	<b>40</b>	<b>16</b>
	Практичні (семінарські):	
	<b>44</b>	<b>8</b>
Вид підсумкового контролю: 1-й семестр – залік 2-й семестр - екзамен	Лабораторні:	
	-	-
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	<b>126</b>	<b>186</b>

## 2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Позитронна спектроскопія» є формування системи знань та навиків в області застосування технологій до дослідження структури конденсованих систем та наноматеріалів.

Відповідно до освітньо-наукової програми, вивчення дисципліни «Позитронна спектроскопія» сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

– **інтегральна компетентність:** здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та професійної практики.

– **загальні компетентності:** здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1); навички використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-2); здатність проведення самостійних досліджень на сучасному рівні (ЗК-3); здатність до пошуку, обробки на аналізі інформації з різних джерел (ЗК-4); здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК-5); здатність комунікації на фахову тематику з нефхівцями (ЗК-10).

– **фахові компетентності:** здатність застосовувати фізичні знання для систематизації різноманітних пов'язаних фактів і явищ (ФК-1); здатність визначати завдання фізичного дослідження (ФК-2); здатність вирізняти із накопичених спостережень відтворювані експериментальні факти (ФК-3); здатність створювати та порівнювати між собою фізичні та математичні моделі фізичних об'єктів, процесів та явищ (ФК-4); здатність оцінювати моделі з точки зору їх відповідності фізичним об'єктам процесам та явищам, для пояснення яких застосовуються дані моделі (ФК-5); вміння здійснювати комп'ютерне моделювання фізичних процесів, у тому числі із застосуванням існуючого програмного забезпечення (ФК-6); володіння експериментальними методиками дослідження наноструктурованих матеріалів (ФК-7); знайомство з інформаційними технологіями та електронікою (ФК-8); володіння теоретичними методами, що застосовуються для дослідження низьковимірних систем і наноматеріалів (ФК-10).

## 3. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньо-наукової програми, вивчення навчальної дисципліни «Позитронна спектроскопія» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знати сучасні передові концептуальні та методологічні знання в галузі фізики, прикладної фізики та суміжних галузей знань.	ПРН 1.1.
Знати фундаментальні праці провідних зарубіжних вчених та наукових шкіл у галузі дослідження.	ПРН 1.2.
Вміти формулювати загальну методологічну базу власного наукового дослідження.	ПРН 2.2.
Вміти проводити комплексні дослідження в галузі науково-дослідницької та інноваційної діяльності, які приводять до отримання нових знань.	ПРН 2.3.
Вміти формулювати наукову проблему з огляду на стан її наукової розробки та сучасні наукові тенденції.	ПРН 2.5.
Вміти формулювати робочі гіпотези та моделі досліджуваної проблеми.	ПРН 2.6.
Вміти аналізувати наукові праці в галузі прикладної фізики, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання.	ПРН 2.7.

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Позитронна спектроскопія»:

<b>Очікувані результати навчання з дисципліни</b>	<b>Шифр ПРН</b>
Знати основну термінологію в області теорії позитронної спектроскопії твердого тіла і наноматеріалів .	ПРН 1.1.
Знати фізичні принципи основних методів гамма спектроскопії.	ПРН 1.1
Знати мікроскопічні моделі дефектів у твердих тілах та сплавах.	ПРН 1.2
Знати особливості утворення позитронію у твердих тілах на температурних, частотних та інших залежностях їх фізичних параметрів.	ПРН 1.2
Вміти планувати проведення експериментальних робіт по дослідженню різних типів дефектів у твердих тілах і наноматеріалах.	ПРН 2.2
Вміти розраховувати параметри спектроскопічних характеристик на основі отриманих експериментальних даних.	ПРН 2.3
Володіти методами побудови моделей, що описують доплер ефект в процесі анігіляції позитрона.	ПРН 2.5
Вміти генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких і практичних задач в області гамма спектроскопії.	ПРН 2.6
Вміти застосовувати фізичні теорії для опису та інтерпретації фізичних процесів у різних матеріалах.	ПРН 2.6
Вміти аналізувати наукову літературу по застосування позитронної спектроскопії в дослідженнях будови речовини та її моделюванню.	ПРН 2.7

#### **4. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ**

##### **РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ**

##### **Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання**

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- модульний контроль,
- підсумковий контроль.

##### **Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання**

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування;
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- тестування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форми підсумкового семестрового контролю: залік, екзамен. До заліку або екзамену допускаються аспіранти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	70	100
5	10	10	5		

T1, T2, T3, T4 – теми

### Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	70	100
10	10	5	5		

T1, T2, T3, T4 – теми

### Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	11	30	11	30
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)		-		
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні		-		
Письмове тестування при тематичному оцінюванні				
Презентація		-		
Реферат		-		
Есе		-		
Модульна контрольна робота		70		70
<b>Разом</b>	<b>11</b>	<b>100</b>	<b>11</b>	<b>100</b>

### Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота проводиться у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю балів.

Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною становить 60 балів.

### **Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю**

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Позитронна спектроскопія» здійснюється у формі заліку та екзамену.

Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються за двобальною шкалою: „зараховано, „незараховано”.

Підсумкова оцінка " зараховано"/"не зараховано" визначається наступними критеріями:

- " зараховано" - якщо аспірант достатньо чітко і грамотно відповідає на питання в межах матеріалу викладеного у рамках лекційних занять, може показати та обґрунтувати взаємозв'язок різних частин матеріалу, пройденого у межах матеріалу навчальної дисципліни; демонструє здатність до мислення, при відповіді на питання розмірковує, спираючись на отримані у рамках курсу знання, не допускає істотних неточностей у відповіді, правильно вибудовує логіку вирішення типових завдань;

- "незараховано" - якщо аспірант викладає основні питання недостатньо чітко або допускає істотні помилки при їх викладі, не може пояснити зв'язків у рамках викладеного матеріалу, аспірант не знає значної частини програмного матеріалу, не може дати точних визначень понять, пройдених у рамках курсу, дає розпливчаті формулювання і не володіє в належній мірі термінологією, плутається при відповіді на додаткові питання, не володіє прийомами вирішення типових завдань.

Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються за чотирибальною шкалою: „відмінно”, „добре”, „задовільно”, „незадовільно”.

Оцінка „відмінно” (А; 90-100) виставляється в тому разі, коли аспірант бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння фізичної суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, вміння грамотно обробляти результати експериментальних вимірювань з метою отримання заданої точності отриманих даних, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв'язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” (В, С; 74-89) виставляється тоді, коли аспірант виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів математичним апаратом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” (D, E; 60-73) виставляється в тому разі, коли аспірант в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в усьому матеріалі курсу, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, допускає неточності при використанні математичного апарату, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв'язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” (FX, F; 1-59) виставляється тоді, коли аспірант не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння фізичної сутності основних понять та термінів навчальної дисципліни, допускає плутанину, слабо володіє математичним апаратом, не може застосовувати набуті знання для розв'язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням аспіранта результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	Залік	ECTS	
		Оцінка	Характеристика
90-100	зараховано	A	відмінно
82-89		B	добре
74-81		C	добре
64-73		D	задовільно
60-64		E	задовільно
35-59	незараховано	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34		F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Аспірант, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незараховано» або «незадовільно з обов'язковим повторним навчанням» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік або екзамен.

Результати підсумкового контролю знань вносяться до відомості обліку успішності.

## 5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 5.1. Зміст навчальної дисципліни

#### Модуль 1. Позитрон і позитроній.

**Тема 1. Предмет і структура курсу.** Ядерно-фізичні методи дослідження речовини. Мюонний метод дослідження речовини.  $\mu$ SR-метод у вивченні розподілу магнітних полів в речовині. Застосування ядерного магнітного резонансу в медицині і біології. Процес утворення електрон-позитронних пар.

**Тема 2. Поведінка позитрона в речовині.** Джерела позитронів. Бета-розпад. Формування низькоенергетичних позитронних пучків на прискорювачах. Процес анігіляції позитрона на льоту. Термалізація позитрона в речовині. Дифузія позитрона. Утворення позитронія.

**Тема 3. Властивості позитронія.** Спінова структура і енергетичний спектр позитронія. Орто- і пара-позитроній. Теоретичний опис спектральних характеристик позитронію. Час життя позитронію в пустоті і в середовищі.

**Тема 4. Розпад позитронію.** Особливості розпаду орто- і пара-позитронію. Розпад на льоту і в стані спокою. Вимірювання часу життя позитронію в речовині. Визначення імовірності анігіляції в три гамма кванти. Доплерівське розширення. Кутові кореляції.

#### Модуль 2. Застосування позитрон анігіляційної спектроскопії.

**Тема 1. Напівпровідниковий гамма спектрометр.** Енергетична роздільна здатність. Відношення пік/компон. Ефективність по піку повного поглинання.

**Тема 2. Дефекти в твердих тілах.** Точкові, лінійні, двовимірні та об'ємні дефекти. Радіаційні дефекти. Радіаційне розпухання.

**Тема 3. Дослідження структури металів.** Загальні можливості позитрон анігіляційної спектроскопії. Вплив дефектів на позитронну анігіляцію. Спектрометрія часу життя позитронію. Спектрометрія доплерівського розширення. Дослідження структури сталі.

**Тема 4. Дослідження рідин.** Позитроній в радіаційній хімії рідин. Механізми утворення радіолітичного водню і позитронію у воді. Рекombінаційно-дифузна модель утворення позитронію у воді. Дослідження властивостей і будови поверхневих шарів рідини.

## 5.2. Структура навчальної дисципліни

### Денна форма навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання: денна					
	Усього	у тому числі				
Лекції		практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота	
<b>1-й семестр</b>						
<b>Модуль 1</b>						
Тема 1. Предмет і структура курсу.	24	4	4			16
Тема 2. Поведінка позитрона в речовині	24	4	6			14
Тема 3. Властивості позитронія	26	6	6			14
Тема 4. Розпад позитронію.	26	6	6			14
Модульна контрольна робота	2					
Разом за модуль	100	20	22			58
<b>2-й семестр</b>						
<b>Модуль 2</b>						
Тема 1. Напівпровідниковий гамма спектрометр.	26	4	4			18
Тема 2. Дефекти в твердих тілах.	28	4	6			18
Тема 3. Дослідження структури металів.	28	6	6			16
Тема 4. Дослідження рідин	28	6	6			16
Модульна контрольна робота	2					
Разом за модуль	110	20	22			68
<b>Разом за семестр</b>	<b>210</b>	<b>40</b>	<b>44</b>			<b>126</b>

## Заочна форма навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання: заочна					
	Усього	у тому числі				
Лекції		практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота	
<b>1-й семестр</b>						
<b>Модуль 1</b>						
Тема 1. Предмет і структура курсу.	24	2				22
Тема 2. Поведінка позитрона в речовині	26	2	2			22
Тема 3. Властивості позитронія	26	2	2			22
Тема 4. Розпад позитронію.	24	2				22
Модульна контрольна робота	2					
Разом за модуль	100	8	4			88
<b>2-й семестр</b>						
<b>Модуль 2</b>						
Тема 1. Напівпровідниковий гамма спектрометр.	28	2	2			24
Тема 2. Дефекти в твердих тілах.	28	2	2			24
Тема 3. Дослідження структури металів.	28	2				26
Тема 4. Дослідження рідин	26	2				24
Модульна контрольна робота	2					
Разом за модуль	110	8	4			98
<b>Разом за семестр</b>	<b>210</b>	<b>16</b>	<b>8</b>			<b>186</b>

## 5.3. Теми практичних (семінарських, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Енергетичний спектр мезонного атома.	2	
2.	Зв'язані спінові канали при описі позитронію.	2	
3.	Процес утворення електрон-позитронних пар.	2	
4.	Кінематика бета розпаду.	4	2
5.	Формування позитронних пучків.	4	2
6.	Процес анігіляції орто- та пара-позитронія.	2	
7.	Процес термалізації позитрона в різних середовищах.	2	
8.	Дифузія позитрона в твердих тілах.	2	
9.	Доплер ефект при анігіляції позитрона.	4	2
10.	Комп'ютерне моделювання ефективності реєстрації гамма кванта.	2	
11.	Комп'ютерна обробка спектрометричних даних.	4	2
12.	Радіаційні дефекти в металах.	4	
13.	Залежність часу життя позитронію від середовища.	4	
14.	Кінематика трьох фотонного розпаду позитронію.	4	
15.	Рекомбінаційно-дифузійна модель утворення позитронію у воді	2	
<b>Разом</b>		<b>44</b>	<b>8</b>

#### 5.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Енергетичний спектр мюонію.	4	6
2.	Кінематика радіаційного гальмування позитрона в середовищі.	4	6
3.	Поведінка позитронію в магнітних полях.	4	6
4.	Кінематика процесу утворення електрон-позитронних пар.	6	8
5.	Генерація бета активних нуклідів на прискорювачах електронів..	6	8
6.	Процеси термалізації позитрона в середовищі.	4	6
7.	Розсіяння Баба.	4	6
8.	Процес утворення позитронію.	4	8
9.	Опис позитронію в нерелятивістській потенціальной моделі.	4	6
10.	Трьох фотонний розпад позитронію.	6	8
11.	Утворення негативного іону позитронію.	4	6
12.	Процеси переходу позитронію із триплетного стану в синглетний.	4	6
13.	Молекула позитронію. Хімія позитронія.	4	6
14.	Методи виміру часу життя позитронію.	4	6
15.	Ефект Доплера для розпадів орто та пара позитроніїв.	4	6
16.	Позитроній як об'єкт пошуку Нової фізики.	4	6
17.	Комп'ютерне моделювання взаємодії гамма квантів з речовиною.	4	6
18.	Напівпровідникові гамма спектрометри.	6	8
19.	Електронне забезпечення напівпровідникових детекторів для високої роздільної здатності по часу.	6	8
20.	Дефекти в твердих тілах.	6	8
21.	Радіаційні дефекти матеріалів в ядерних реакторах.	4	6
22.	Спеціалізовані пакети для обробки гамма спектрів.	6	8
23.	Пакет GEANT4 для моделювання взаємодії іонізаційного випромінювання з речовиною.	4	8
24.	Метод спектроскопії по часу життя позитронію.	4	8
25.	Метод спектроскопії по величині доплеровського зсуву.	6	8
26.	Характеристики поведінки позитронію у воді.	6	8
27.	Спектроскопія поверхневих шарів рідини.	4	6
	<b>Разом</b>	<b>126</b>	<b>186</b>

#### 6. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проектор.

Обладнання: персональні ком'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

## 7. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основна література

1. V. Slugen, "What kind of information can we obtain from positron annihilation spectroscopy?". Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, -2006 -94pp. ISSN 1018-5593.
2. F. Tuomisto and I. Makkonen Defect identification in semiconductors with positron annihilation: Experiment and theory". *Reviews of Modern Physics*. **85**: (2013)1583–1631.
3. В.И. Графугин, Е.П. Прокопьев Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества. // УФН, Т. 172. №1., (2002)67-83.

### Допоміжна література

1. В.М. Бяков, Л.Т. Бугаэнко, Е.П. Калязин Радиационная химия водных систем. М.: Наука, 1973.
2. А.Б. Дудник и др. Цифровой спектрометр времени жизни позитронов на основе метода совпадений // ВАНТ. 2013. №2(84). с.157-164.
3. J. Heikinheimo Applications of positron annihilation spectroscopy in nuclear materials research. Thesis for Doctoral Science(technology). Aalto University 2017. -66p.  
<https://www.researchgate.net/publication/336413679>