

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА»

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Структурні методи дослідження у фізиці твердого  
тіла**

Освітньо-наукова програма 104 «Фізика та астрономія»

Освітній рівень третій (освітньо-науковий)

Спеціальність 104 «Фізика та астрономія»

Галузь знань 10 «Природничі науки»

Затверджено на засіданні  
кафедри фізики і хімії твердого тіла  
Протокол № 1 від “26” серпня 2021 р.

## ЗМІСТ

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

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	<b>Структурні методи дослідження у фізиці твердого тіла</b>
<b>Рівень вищої освіти</b>	Доктор філософії
<b>Викладач (-і)</b>	Никируй Любомир Іванович – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри фізики і хімії твердого тіла
<b>Контактний телефон викладача</b>	+380956991785
<b>Е-mail викладача</b>	<a href="mailto:lyubomyr.nykyruy@pnu.edu.ua">lyubomyr.nykyruy@pnu.edu.ua</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Очний
<b>Обсяг дисципліни</b>	3 кредити ECTS, 90 год.
<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>	
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Дисципліна «Структурні методи дослідження у фізиці твердого тіла» є дисципліною за вибором для спеціальності 104 Фізика та астрономія для третього (доктор філософії) освітньо-наукового рівня вищої освіти, яка викладається в 3 семестрі в обсязі 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується деталізації можливості інструментів нанотехнологій та використання цього інструментарію для виготовлення та характеристик наномасштабних матеріалів. Аспіранти ознайомлюються вас із практичними методиками формування та дослідження наноматеріалів, теоретичними підходами пояснення їх властивостей, навичками та інструментами, які дозволяють перетворити новітні ідеї зі сфери нанотехнологій у фізичну форму та які дозволять візуалізувати і проаналізувати характеристики наномасштабних об'єктів.</p> <p>Для вивчення курсу аспіранти повинні знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, квантової механіки, фізики твердого тіла; вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів статистичної фізики, комп'ютерних технологій та з курсів, що стосувалися технологічних підходів для розв'язку практичних завдань; володіти навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, побудови та аналізу графічних залежностей.</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p>Мета курсу: Оволодіння сучасними методиками інженерії нанооб'єктів, опису властивостей та технологіями їх отримання та аналізу, а також формування в аспірантів вмінь та навиків практичної роботи для розв'язання проблемних завдань.</p> <p>Завдання курсу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Класифікація нанооб'єктів та наноструктур, акцентування на їх практичному застосуванні, окреслення передових напрямків дослідження наноматеріалів;</li> <li>✓ Ознайомлення із методиками отримання нанорозмірних структур: методи епітаксії та літографії, акцентування на PVD, CVD технологіях;</li> <li>✓ Ознайомлення із сучасними методами експериментального дослідження характеристик нанооб'єктів: АСТ, СЕМ, ТЕМ, Х-променеві дифракційні методи дослідження, оптичні спектральні методики;</li> <li>✓ оволодіння базовими методами квантово-механічних підходів для опису властивостей наноструктур;</li> <li>✓ отримання практичних навиків роботи із сучасними програмними пакетами, що дозволяють виконувати статистичну обробку експериментальних даних SEM, ASM, EDX, EDS аналізів;</li> <li>✓ короткий екскурс в історію виникнення і розвитку наноструктур.</li> </ul>	

<b>4. Компетентності</b>					
ЗК01. Здатність до проведення самостійних досліджень для отримання нових знань і розуміння фізичного та астрономічного всесвіту на сучасному рівні.					
ЗК06. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).					
ЗК10. Здатність розробляти та управляти науковими проектами в умовах обмеженого часу та ресурсів..					
ФК02. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень державною та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень.					
ФК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології до аналізу великого обсягу даних, методи комп'ютерного моделювання, спеціалізоване програмне забезпечення та електронні ресурси у науковій та навчальній діяльності.					
ФК05. Здатності у використанні наукового обладнання та технологій.					
<b>5. Результати навчання</b>					
ПРН01. Мати та здобувати знання у фізиці, включаючи методики проведення експериментів і технологій. Знання повинні бути достатніми для проведення наукових досліджень рівня світових досягнень і направленими на їх розширення та поглиблення.					
ПРН05. Готувати і виконувати експериментальні, теоретичні дослідження в галузі фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.					
ПРН07. Реалізовувати наукові проекти, для переосмислення наявного та створення нового цілісного знання.					
ПРН09. Застосовувати сучасні методи аналізу для встановлення структури та фазового складу синтезованих сполук, вивчення кінетики та механізмів фізичних процесів.					
<b>6. Організація навчання курсу</b>					
Обсяг навчальної дисципліни 90 год.					
Вид заняття			Загальна кількість годин		
лекції			14 год		
семінарські заняття / практичні / лабораторні			16 год		
самостійна робота			60 год		
Ознаки курсу					
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий		
<b>3</b>	<b>104 Фізика та астрономія</b>	2	вибірковий		
Тематика курсу					
Тема, план	Форма заняття	Література	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
Тема 1. Методи мікроскопії. Аберация лінз. Роздільна здатність оптичних та електронних мікроскопів. Роль	Лекція, практичне заняття	[7,8,12,15,17]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом

поверхні та особливості наноструктурних об'єктів					
Тема 2. Сучасний інструментарій для структурних досліджень. Правило Бреґґа. ТЕМ-аналіз. Дифракція електронів. Обернена ґратка	Лекція, практичне заняття	[1, 2, 6, 7]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом
Тема 3. Сучасний інструментарій для структурних досліджень - 2. Вторинне розсіювання електронів. Бреґівське розсіювання. Динамічне розсіювання	Лекція, практичне заняття	[2, 6-8, 14-18]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом
Тема 4. Сучасний інструментарій для структурних досліджень – 3. Подвійна дифракція. Функції контрасту. HRTEM	Лекція, практичне заняття	[1, 2, 8]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом
Тема 5. EDS метод. Трансмісійна електронна мікроскопія. Кріо-трансмісійна електронна мікроскопія. Принципи комп'ютерної томографії	Лекція, практичне заняття	[8,17]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом
Тема 6. X-променеві методи дослідження. X-променевий спектральний аналіз. Оптичні спектральні вимірювання. Особливості застосування X-променевих та оптичних спектральних методів до астрономічних досліджень	Лекція, практичне заняття	[1-9, 11-13]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом

Тема 7. Тонкоплівкові структури: Методи PVD та CVD. Фотолітографія. Електронно-променева літографія. Самоорганізація	Лекція, практичне заняття	[2, 10, 11, 14]	Опрацювати лекційний матеріал, підготуватися до практичного заняття	10	До наступного заняття за розкладом
Підсумкове заняття	Підсумкова робота			30	

### 7. Система оцінювання курсу

Загальна система оцінювання курсу	<p><b>100 бальна:</b>  <b>60 балів</b> підсумовуються за виконані практичні завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Завдання: «Методи осадження з парової фази» - <b>10 балів.</b></li> <li>- Завдання: «Автокореляційна функція для опису морфології поверхні» - <b>20 балів.</b></li> <li>- Завдання «HRTEM – дослідження нанорозмірних структур» - <b>20 балів.</b></li> <li>- Завдання «X-променеві методи дослідження та обробка даних» - <b>10 балів.</b></li> </ul> <p>На <b>40 балів</b> – оцінюється виконання тестів у системі дистанційного навчання.  Деякі теми можуть поєднуватися (замінятися) із тестами у системі дистанційного навчання. Кількість балів за тести еквівалентна кількості балів за практичну роботу.</p> <p><b>Зараховано-“відмінно”</b> – студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, достовірний рівень розвитку умінь та навичок, правильне й обґрунтоване формулювання практичних висновків, наводить повний обґрунтований розв’язок прикладів та задач, аналізує причинно-наслідкові зв’язки; вільно володіє науковими термінами;</p> <p><b>Зараховано-“добре”</b> – студент демонструє повні знання навчального матеріалу, але допускає незначні пропуски фактичного матеріалу, вміє застосувати його до розв’язання конкретних прикладів та задач, у деяких випадках нечітко формулює загальною правильні відповіді, допускає окремі несуттєві помилки та неточності розв’язках;</p> <p><b>Зараховано-“задовільно”</b> – студент володіє більшою частиною фактичного матеріалу, але викладає його не досить послідовно і логічно, допускає істотні пропуски у відповіді, не завжди вміє правильно застосувати набуті знання до розв’язання конкретних прикладів та задач, нечітко, а інколи й невірно формулює основні твердження та причинно-наслідкові зв’язки;</p> <p><b>Незараховано</b> – студент не володіє достатнім рівнем необхідних знань, умінь, навичок, науковими термінами/</p>
Вимоги до практичної роботи	Практичне заняття проводиться з метою формування у аспірантів практичних умінь і навичок з предмету, формулювання та вирішення прикладних завдань, їх перевірка та оцінювання. За метою і структурою практичні заняття є ланцюжком, який пов’язує теоретичне навчання і

	<p>навчальну практику з дисципліни, а також передбачає попередній контроль знань. Оцінка за кожне практичне заняття підсумовується і враховується при виставленні підсумкової оцінки з дисципліни.</p> <p>Практичні завдання виконуються із використанням прикладних програмних пакетів GAMESS US (відкритий код), Vurai (відкритий код), Wien 2k (наявна комерційна версія) та програмах обробки / аналізу розрахованих значень (Avogadro, Chemcraft, GaussSum, Molden, Xcrysden тощо – із відкритим кодом для академічного застосування)</p>
Умови допуску до підсумкового контролю	

### **8. Політика курсу**

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;

- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації».


Засвоєння пропущеної теми лекції з поважної причини перевіряється під час складання підсумкового контролю. Пропуск лекції з неповажної причини відпрацьовується студентом відповідно вимог (опрацювання робочого матеріалу, виконання тестових завдань у системі дистанційного оцінювання знань, тощо).

Поточні негативні бали, отримані аспірантом під час засвоєння відповідної теми на практичному занятті перескладаються до складання підсумкового контролю з обов'язковою відміткою у журналі обліку роботи академічних груп.

### **9. Рекомендована література**

1. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки навч. Посібник, 2-ге вид., перероб. і доп. К.:Либідь,2002 .-392 с.
2. Д.М.Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Львів:"Львівська політехніка",2009 .-580 с.
3. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
4. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Квантовая механика: Нерелятивистская теория. М.: Наука, 1974.
5. Є.С. Крячко, Є.Ю. Ремета, Теорія функціонала густини в атомній фізиці, УФЖ, Огляди. 2014. Т. 9, № 1.
6. Васильев А. Н., Михайлин В. В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.:МГУ,1987 .-192 с.
7. Шпак А. П.,Куницький Ю. А.,Коротченков О. О., Смик С. Ю. Квантові низькорозмірні системи К.:Академперіодика,2003 .-310 с.
8. В.П.Кладько. Рентгенооптичні ефекти в багатошарових періодичних квантових структурах: монографія. К.:Наукова Думка,2006 .-287 с.
9. Ткач М. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти. Чернівці:ЧНУ,2003 .-312 с.
10. Павлишин Володимир Іванович, Довгий С.О. Мінералогія:Вступ до мінералогії. Кристалохімія, морфологія і анатомія мінералів. Мікромінералогія і наномінералогія: підручник. К.:КНТ,2008 .-536 с.
11. З. М. Праттон, Введение в физику поверхности. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 256 С.
12. P. Hofmann, Surface Physics. An Introduction, 2013, 293 P.
13. Э.Зенгуил “Физика поверхности”. М., Мир, 1990, 536 стр.

14. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
15. Основы нанотехнологий и наноматериалов : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.А. Азаренков, А.А. Веревкин, Г.П. Ковтун. – Харьков, 2009.
16. Введение в нанотехнологии: текст лекций / А.И. Грабченко, Л.И. Пупань, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 288 с.
17. Фреїк Д.М., Чобанюк В.М., Никируй Л.І. Фізика твердого тіла. Кристалічна структура. Фізичний практикум Навчальний посібник. – Івано-Франківськ. В-во Прикарпатського національного університету. – 2009. – 120 с.
18. Наноматериалы и нанотехнологии / В.М. Анищик и др.; под ред. В.Е.Борисенко, Н.К. Толочко. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2008. – 375 с.
19. Vacuum Technology Know How Pfeiffer Vacuum GmbH, March 2009.

Викладач \_\_\_\_\_  Никируй Л.І.