

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики твердого тіла

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

Руслан БОВК

“ 02 ” вересня 2025 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Вибрані розділи сучасної фізики твердого тіла

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий)
галузь знань 10 – природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104 – фізика та астрономія
(шифр і назва)
освітня програма ОНП фізика та астрономія
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)
факультет фізичний

20 25 / 20 26 навчальний рік

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)

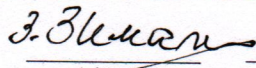
Золтан ЗИМАН, доктор фіз. - мат. наук, професор, професор

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)

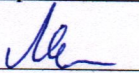
Програму погоджено методичною комісією

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)

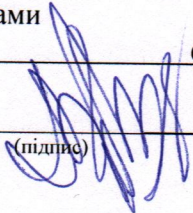
Програму погоджено з гарантом освітньої (наукової) програми (керівником проектної групи)

фізика

назва освітньої програми

Гарант освітньо-наукової програми
(керівник проектної групи)

фізика та астрономія


(підпис)

Руслан БОБК
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Вибрані розділи сучасної фізики твердого тіла”
складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки

_____ доктора філософії

(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 поняттям мікроскопії та спектроскопії, взаємодії рентгенівського та електронного випромінювання з кристалічними речовинами. Основна увага приділяється методам спектроскопії Оже, Мас-спектрометрії, ІЧ-спектроскопії, скануючої та просвічуючої електронної мікроскопії.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є оволодіння студентами теоретичними основами мікроскопії та спектроскопії, рентгеноспектрального аналізу, процесами взаємодії електронів та рентгенівського випромінювання з речовинами, а також вміння використовувати отримані знання для дослідження структури зразків.

1.3. Кількість кредитів - 6

1.4. Загальна кількість годин - 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й
Семестр
4-й
Лекції
48 год.
Самостійна робота
132 год.

1.6. Заплановані результати навчання

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

Компетентності, що мають бути сформовані:

Загальні

- СК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

Програмні результати навчання

- ПРН1. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.
- ПРН10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.
- ПРН11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.
- ПРН12. Мати навички застосовувати інформаційні технології, цифрові прилади та відповідне обладнання при проведенні експериментальних і теоретичних досліджень, а також навчальних занять із фізики та астрономії.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Методи мікроскопічного аналізу

Тема 1: Електронна мікроскопія

- 1.1. Принципи електронної мікроскопії
 - 1.1.1. Роздільна здатність і корисне збільшення мікроскопу
 - 1.1.2. Хід променів і формування зображення
 - 1.1.3. Типи електронних мікроскопів
- 1.2. Практика електронної мікроскопії
 - 1.2.1. Методи приготування об'єктів (електро- та хімічне полірування, сколювання, розщеплювання та мікротомування, іонне бомбардування; методи осадження у вакуумі, із парів і розчину; твердіння з розплаву).
 - 1.2.2. Деякі практичні способи роботи
- 1.3. Застосування електронної мікроскопії в дослідженні твердих тіл
 - 1.3.1. Реальна структура поверхні (метод реплік, декорування за Бассетом)
 - 1.3.2. Структура фольг і плівок
 - 1.3.3. Фазові перетворення у тонких шарах
 - 1.3.4. Вплив опромінювання на структуру речовини
 - 1.3.5. Корозія твердих тіл
 - 1.3.6. Дослідження процесів поверхневої дифузії

Тема 2: Автоелектронна та автоіонна мікроскопія

- 2.1. Основні характеристики та будова автоелектронного мікроскопа.
- 2.2. Принцип роботи, характеристики та будова автоіонного мікроскопа
- 2.3. Застосування автоелектронного та автоіонного мікроскопів
 - 2.3.1. Адсорбція та поверхнева дифузія сторонніх частинок
 - 2.3.2. Поверхнева самодифузія
 - 2.3.3. Високотемпературні фазові перетворення
 - 2.3.4. Реальна структура металічних кристалів на атомному рівні
 - 2.3.5. Кінетика росту кристалів
 - 2.3.6. Дослідження емісійних властивостей матеріалів
 - 2.3.7. Метало-плівкові системи як ефективні емітери
- 2.4. Розвиток автоіонного мікроскопа з атомним зондом

Розділ 2. Спектроскопічні методи

Тема 3: Оже - електронна спектроскопія

- 3.1. Ефект Оже
- 3.2. Апаратура та можливості методу Оже
- 3.3. Застосування методу Оже для дослідження поверхні

Тема 4: Мас-спектрометрія твердих тіл

- 4.1. Принципи мас-спектрометрії
- 4.2. Твердотільні мас-спектрометри та методи дослідження
- 4.3. Мас-спектрометричні дослідження поверхневих процесів

Тема 5: Вторинна іонна мас-спектрометрія

- 5.1. Взаємодія заряджених частинок із твердим тілом

- 5.2. Фізичні принципи методу та роботи апаратури
- 5.3. Застосування вторинної іонної мас-спектрометрії
- 5.3.1. Аналіз об'ємного складу твердих тіл
- 5.3.2 Хімічний склад поверхні
- 5.3.3. Поверхневі явища (адсорбція, дифузія, корозія, каталіз)
- 5.3.4. Пошаровий хімічний аналіз

Тема 6: Рентгено-спектральний аналіз

- 6.1. Фізичні основи методу
- 6.2. Рентгеноспектральна апаратура
- 6.3. Застосування рентгеноспектрального мікроаналізу

Розділ 3. Дифракційні методи

Тема 7: Дифракція електронів

- 7.1. Фізичні основи методу
- 7.2. Хід променів під час дифракції швидких і повільних електронів
- 7.3. Апаратурні схеми електронографів на швидких і повільних електронах
- 7.4. Застосування дифракції електронів (структура та процеси в тонких плівках; структура та зміни в приповерхневих шарах твердих тіл; можливості точного визначення параметрів ґратки; структура поверхні монокристалів; явища та процеси в моношарах на кристалічній поверхні).

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. Методи мікроскопічного аналізу						
Тема 1. Електронна мікроскопія. Принципи електронної мікроскопії Роздільна здатність і корисне збільшення мікроскопу. Хід променів і формування зображення Типи електронних мікроскопів. Практика електронної мікроскопії. Методи приготування об'єктів (електро- та хімічне полірування, сколювання, розщеплювання та мікротомування, іонне бомбардування; методи осадження у вакуумі, із парів і розчину; твердіння з розплавом)	28	8				20
Тема 2. Автоелектронна та автоіонна мікроскопії. Основні характеристики та будова автоелектронного мікроскопа Принцип роботи, характеристики та будова автоіонного мікроскопа. Застосування автоелектронного та автоіонного мікроскопів. Адсорбція та поверхнева дифузія сторонніх частинок. Поверхнева самодифузія. Високотемпературні фазові перетворення. Реальна структура металічних кристалів на атомному рівні. Кінетика росту кристалів. Дослідження емісійних властивостей матеріалів. Метало-плівкові системи	28	8				20

як ефективні емітери. Розвиток автоіонного мікроскопа з атомним зондом.						
Розділ 2. Спектроскопічні методи						
Тема 3. Оже - електронна спектроскопія. Ефект Оже. Апаратура та можливості методу Оже. Застосування методу Оже для дослідження поверхні	28	8				20
Тема 4. Мас-спектрометрія твердих тіл. Принципи мас-спектрометрії. Твердотільні мас-спектрометри та методи дослідження. Мас-спектрометричні дослідження поверхневих процесів.	26	8				18
Тема 5. Вторинна іонна мас-спектрометрія. Взаємодія заряджених частинок із твердим тілом. Фізичні принципи методу та роботи апаратури. Застосування вторинної іонної мас-спектрометрії. Аналіз об'ємного складу твердих тіл. Хімічний склад поверхні. Поверхневі явища (адсорбція, дифузія, корозія, каталіз). Пошаровий хімічний аналіз.	26	8				18
Тема 6. Рентгено-спектральний аналіз. Фізичні основи методу. Рентгеноспектральна апаратура. Застосування рентгеноспектрального мікроаналізу	22	4				18
Розділ 3. Дифракційні методи						
Тема 7. Дифракція електронів. Фізичні основи методу. Хід променів під час дифракції швидких і повільних електронів. Апаратурні схеми електронографів на швидких і повільних електронах. Застосування дифракції електронів (структура та процеси в тонких плівках; структура та зміни в приповерхневих шарах твердих тіл; можливості точного визначення параметрів ґратки; структура поверхні монокристалів; явища та процеси в моношарах на кристалічній поверхні).	22	4				18
Усього годин	180	48				132

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати тему Електронна мікроскопія. Принципи електронної мікроскопії	20
2	Опрацювати принципи роботи Автоелектронної та автоіонної мікроскопії. Основні характеристики та будова автоелектронного мікроскопа. Принцип роботи, характеристики та будова автоіонного мікроскопа. Застосування автоелектронного та автоіонного мікроскопів. Адсорбція та поверхнева дифузія сторонніх частинок.	20
3	Розібрати тему Оже - електронна спектроскопія. Ефект Оже. Апаратура	20

	та можливості методу Оже. Застосування методу Оже для дослідження поверхні	
4	Розібрати тему Мас-спектрометрія твердих тіл. Принципи мас-спектрометрії. Твердотільні мас-спектрометри та методи дослідження. Мас-спектрометричні дослідження поверхневих процесів.	18
5	Розібрати тему вторинна іонна мас-спектрометрія. Взаємодія заряджених частинок із твердим тілом. Фізичні принципи методу та роботи апаратури. Застосування вторинної іонної мас-спектрометрії. Аналіз об'ємного складу твердих тіл. Хімічний склад поверхні. Поверхневі явища (адсорбція, дифузія, корозія, каталіз). Пошаровий хімічний аналіз.	18
6	Розібрати тему рентгено-спектральний аналіз. Фізичні основи методу. Рентгеноспектральна апаратура. Застосування рентгеноспектрального мікроаналізу	18
7	Розібрати тему дифракція електронів. Фізичні основи методу. Хід променів під час дифракції швидких і повільних електронів. Апаратурні схеми електроніграфів на швидких і повільних електронах. Застосування дифракції електронів (структура та процеси в тонких плівках; структура та зміни в приповерхневих шарах твердих тіл; можливості точного визначення параметрів ґратки; структура поверхні монокристалів; явища та процеси в моношарах на кристалічній поверхні).	18
Усього годин		132

6. Індивідуальні завдання

Питання до залікової роботи

1. Задачі растрової електронної мікроскопії.
2. Застосування ІЧ-спектрів.
3. Застосування рентгеноспектрального мікроаналізу.
4. Методи дифракції електронів.
5. Основи методу методу Оже спектроскопії.
6. Особливості автоелектронних і автоіонних досліджень.
7. Особливості мас-спектрометричних досліджень.
8. Принципи електронної мікроскопії.
9. Специфіка досліджень скануючої тунельної мікроскопії.
10. Фізичні принципи методу мас-спектрометрії вторинних іонів.

7. Методи контролю

поточний (перевірка завдань самостійної роботи) та підсумковий (екзаменаційна робота)

8. Схема нарахування балів*

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								
Розділ 1		Розділ 2				Розділ 3		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
6	6	6	6	6	5	5		
Контрольна робота, передбачена навчальним планом		Індивідуальне завдання				Разом	Екзаменаційна робота	Сума
						40	60	100

T1, T2 ... – теми розділів.

*Студент допускається до виконання залікової роботи якщо загальна кількість балів набраним ним за результатами складання поточного контролю та контрольної роботи складає мінімум 20 балів, при цьому мінімальна кількість балів за виконання завдань поточного контролю дорівнює 10, мінімальна кількість балів за виконання контрольної роботи дорівнює 10.

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) на початку або в кінці кожної лекції. Якщо студент виконав завдання самостійної роботи, то він отримує 5 або 6 балів (див. схему нарахування балів, п.8). За виконання завдань самостійної роботи на поточному контролі студент може одержати максимум 40 балів. Мінімальна кількість балів поточного контролю, яка вважається успішною становить 20.

Екзаменаційна робота

Екзаменаційна робота проводиться по завершенні вивчення навчальної дисципліни. Кожен аспірант одержує два запитання. 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 залікової роботи згідно робочої програми навчальної дисципліни в 60 балів. Максимальна кількість балів, яку аспірант може одержати за виконання екзаменаційної роботи дорівнює 100 балам. Ці бали перераховуються у шкалу оцінювання результатів навчання студента п. 8 цієї програми шляхом множення кількості балів на коефіцієнт 0.6 (тобто 100 балів за залікову роботу дорівнює 60 балам загальної оцінки за виконання екзаменаційної роботи в системі нарахування балів). Залікова робота вважається виконаною успішно якщо аспірант за її виконання отримав не менш як 30 (з 60 можливих) балів виділених для її оцінювання в системі нарахування балів.

Критерії оцінювання знань з екзаменаційної 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. Зиман З.З.. Основи структурної кристалографії: Навчальний посібник. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2008. - 212 с.
2. Бадіян Є.Ю. Практична кристалографія: Навчальний посібник. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. - 144 с.
3. З.З. Зиман, А.Ф. Сіренко. Основи фізичного матеріалознавства: Навчальний посібник. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2005. - 288 с.
4. Основи фізичного матеріалознавства: навчальний посібник/ В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра - Суми: Сумський державний університет, 2015. - 466 с.

Допоміжна література

1. M. Ladd, R. Palmer. Structure Determination by X-ray Crystallography: Analysis by X-rays and Neutrons, Springer, 2013, 756 p.
2. E. Zolotoyabko. Basic Concepts of X-Ray Diffraction, Wiley-VCH, 2014, 312 p.
3. R. Guinebretiere. X-Ray Diffraction by Polycrystalline Materials, Wiley-ISTE, 2007, 384 p.
4. B.E. Warren, X-ray diffraction, Dover, 1990, 398 p.
5. R. E. Dinnebier, S. J. L. Billinge, Armel Le Bail, I. Madsen, L. M. D. Cranswick. Powder Diffraction: Theory and Practice, Royal Society of Chemistry, 2008, 605 p.
6. V. K. Pecharsky, P. Y. Zavalij, Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials, Springer US, 2009, 744 p.
7. A. Clearfield, J. Reibenspies, N. Bhuvanesh, Principles and Applications of Powder Diffraction, Wiley-Blackwell, 2008, 397 p.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення