

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Волинський національний університет імені Лесі Українки
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

КАФЕДРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА
ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

СИЛАБУС
вибіркового освітнього компонента
ТЕМАТИЧНИЙ КУРС З МАГІСТЕРСЬКОЇ ПРОГРАМИ ЗА ВИБОРОМ
підготовки доктора філософії (PhD)

Луцьк – 2026

Силабус освітнього компонента «Тематичний курс з магістерської програми за вибором» підготовки доктора філософії (PhD).

Розробник: Мирончук Галина Леонідівна, директор навчально-наукового фізико-технологічного інституту, доктор фізико-математичних наук, професор.

Погоджено

Гарант освітньо-наукової програми:



(Новосад О.В.)

Силабус освітнього компонента затверджено на засіданні кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій

протокол № 8 від 29.01.2026 р.

Завідувач кафедри:  (Галян В.В.)

© Мирончук Г.Л., 2026

I. Опис освітнього компонента

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітньо-наукова програма, освітній рівень	Характеристика освітнього компонента
Денна очна форма навчання	Е Природничі науки, математика та статистика Е5 Фізика та астрономія Теоретична та експериментальна фізика конденсованих середовищ Третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти	Нормативна
Кількість годин/кредитів 120/4		Рік навчання <u>2</u>
ІНДЗ: <u>немає</u>		Семестр 4-ий
		Лекції 10 год.
		Практичні (семінари) 14 год.
		Самостійна робота 88 год.
		Консультації 8 год.
	Форма контролю: залік	
Мова навчання		українська

II. Інформація про викладача

Прізвище, ім'я та по батькові
 Науковий ступінь
 Вчене звання
 Посада
 Контактна інформація

Мирончук Галина Леонідівна
 доктор фізико-математичних наук
 професор
 директор ННФТІ - професор
 0996468617,
myronchuk.halyna@vnu.edu.ua
<http://94.130.69.82/cgi-bin/timetable.cgi?n=700>

Дні занять (посилання на електронний розклад)

III. Опис освітнього компонента

1. Анотація курсу.

Здобувач освіти вибирає зі структури ОК один блок (або ОК4.1, або ОК4.2, або ОК4.3) Даний курс спрямований на те, щоб здобувач освіти міг вибрати курс з переліку дисциплін магістерської програми. Він спрямований на те, щоб здобувач освіти міг заповнити прогалини в знаннях 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.

2. Мета і завдання освітнього компонента.

Метою курсу є забезпечити достатнє знання фізичних принципів для формування висококваліфікованих дослідників у галузі фізики, здатних проводити наукові дослідження для вирішення критичних проблем.

Завдання, яке вирішує ОК - детальне розуміння застосовних методів для дослідження та передових академічних запитів. Науковий керівник радить ЗО, які ОК варто відвідати, залежно від їхньої відповідності обраному дослідницькому напрямку, а також для найкращого сприяння інтеграції в конкурентне середовище. Також заохочується пошук широких знань у галузі фізики за межами власного напрямку досліджень.

3. Soft skills

Критичне та аналітичне мислення.

Моделювання та абстрагування.

Розв'язання комплексних проблем.

Креативність та інноваційність.

Комунікаційні навички (здатність аргументовано захищати власну позицію та чітко пояснювати її логіку колегам).

Самоорганізація та тайм-менеджмент (ефективне планування часу для виконання завдань та самостійного опрацювання матеріалу).

4. Структура освітнього компонента.

Назви змістових модулів і тем	Усього	Лек.	Практ.	Сам. Роб.	Конс.	*Форма контролю/ Бали
ВОК 4.1. Фізика конденсованого стану						
Тема 1. Основи термодинаміки конденсованого стану	14	2		11	1	ДС,ПР/
Тема 2. Періодичність структур і властивостей	16	2	2	11	1	ДС,ПР/ 10
Тема 3. Взаємодія електронів з атомами кристалічної ґратки. Енергетичний спектр електронів.	16	2	2	11	1	ДС,ПР/ 10
Тема 4. Статичні властивості твердих тіл.	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 5. Кінетичні властивості твердих тіл	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 6. Оптичні явища в твердих тілах	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 7. Фізика низькорозмірних систем та наноструктур	14		2	11	1	ДС, ПР /10

Тема 8. Надпровідність та впорядковані стани	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Контрольна робота						30
Всього годин/Балів	120	10	14	88	8	
Всього балів						100
ВОК 4.2. Фізика напівпровідників						
Тема 1. Основи зонної теорії	14	2		11	1	ДС, ПР/
Тема 2. Властивості напівпровідників та їх пояснення з точки зору зонної теорії.	16	2	2	11	1	ДС, ПР/ 10
Тема 3. Кінетичні явища у напівпровідниках	16	2	2	11	1	ДС, ПР/ 10
Тема 4. Оптичні явища у напівпровідниках	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 5. Технологія напівпровідників	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 6. Контактні явища та фізика гетероструктур	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 7. Розмірні ефекти та наноструктури	14		2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 8. Невпорядковані та аморфні напівпровідники	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Контрольна робота						30
Всього годин/Балів	120	10	14	88	8	
Всього балів						100
ВОК 4.3. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів						
Тема 1. Розв'язування рівнянь в Maple. Побудова графіків.	14	2		11	1	ДС, ПР/
Тема 2. Програмування та чисельні розрахунки з Maple.	16	2	2	11	1	ДС, ПР/ 10
Тема 3. Задачі електростатики.	16	2	2	11	1	ДС, ПР/ 10
Тема 4. Задачі магнітостатики	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 5. Задачі квантової механіки	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 6. Моделювання процесів теплопровідності та дифузії	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 7. Моделювання хвильових процесів та оптики	14		2	11	1	ДС, ПР /10
Тема 8. Стохастичне моделювання та метод Монте-Карло	15	1	2	11	1	ДС, ПР /10
Контрольна робота						30

Всього годин/Балів	120	10	14	88	8	
Всього балів						100

*Форма контролю: ДС – дискусія, ПР – практична робота.

Самостійна робота студента над засвоєнням матеріалу з освітньої компоненти передбачає: опрацювання лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, підготовку до практичних робіт, виконання домашніх завдань, підготовку до контрольної роботи.

Завдання для самостійного опрацювання.

ОК 4.1. Фізика конденсованого стану

1. Закони термодинаміки і статистичний зміст функцій стану. Рівняння стану. Термодинамічні параметри, потенціали та їх основні співвідношення. Термодинамічні та фізичні умови конденсації рідин, аморфізації та кристалізації твердих тіл

2. Періодичність властивостей трансляційно-симетричних структур і фізичний зміст оберненої ґратки Інваріантність рівняння Шрьодінгера відносно трансляцій в кристалічній ґратці. Теорема Блоха. Зведення k-станів до зони Бриллюена. Циклічні граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок k-станів.

3. Дифракція електронів на атомах ґратки ідеального кристалу. Енергетична дисперсія квазівільних електронів поблизу брегівських площин відбивання. Метод сильного зв'язку для розрахунку зонної структури локалізованих електронів

4. Класифікація твердих тіл за структурою зон і типами хімічних зв'язків. Енергія зв'язку в кристалах. Правило Юм-Розері та модель жорстких зон. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах та носіїв заряду в напівпровідниках. Енергетичний розподіл та щільність k-станів.

5. Стаціонарний стан рухомих частинок. Кінетичне рівняння Больцмана. Електропровідність та перенос енергії за наявності градієнта температур. Термоелектричні властивості та вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах. Ефект Холла.

6. Магнетизм матеріалів. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Правила Хунда. Парамагнетизм. Закон Кюрі. Магнітна структура і взаємодія електронів. Упорядкування магнітних моментів і закон Кюрі-Вейса. Феромагнетизм і обмінна взаємодія. Антиферої феромагнетизм. Доменна структура магнітних матеріалів

7. Надпровідність. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар. Основний стан надпровідника. Енергетична щілина і спектр елементарних збуджень та незгасаючі струми в надпровідниках. Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти в надпровідниках. Надпровідники I і II роду

ОК 4.2. Фізика напівпровідників

1. Рівняння Шредінгера для кристала: адіабатичне й одноелектронне наближення, наближення сильно зв'язаних електронів. Заповнення енергетичних зон електронами. Класифікація твердих тіл за зонною теорією. Ефективна маса електрона. Домішкові рівні у напівпровідниках. Власна і домішкова електропровідність у напівпровідниках.

2. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках: власний напівпровідник, домішковий напівпровідник.

3. Теорія розсіяння носіїв заряду. Розсіяння носіїв на теплових коливаннях атомних решіток. Розсіяння носіїв на іонізованих домішках. Розсіяння носіїв на нейтральних домішках.

4. Температурна залежність електропровідності напівпровідників. Гальваномагнітні явища у напівпровідниках

5. Захоплення та рекомбінація носіїв заряду. Поглинання світла напівпровідниками. Фотопровідність напівпровідників. Залежність фотопровідності від інтенсивності освітлення, температури

6. Отримання кристалів з рідкої фази. Вирощування кристалів з розплаву: методи нормальної спрямованої кристалізації; методи витягування кристалів з розплаву; вирощування кристалів методом зонної плавки. Вирощування монокристалів з розчину. Вирощування кристалів з газової фази.

7. Поняття про нанотехнології. Молекулярно-променева епітаксія. Осадження плівок з металоорганічних сполук. Деякі особливості фізики наноструктур. Практичне застосування надградок і квантових точок.

ОК 4.3. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів

1. Числові та аналітичні розрахунки в Maple. Розв'язування алгебричних рівнянь, нерівностей та систем рівнянь.

2. Диференціювання та інтегрування з Maple. Побудова графіків. Чисельне та аналітичне розв'язування диференціальних рівнянь

3. Програмування в Maple. Загальна постановка та форми запису задач лінійного програмування. Двоїстість у задачах лінійного програмування. Цілочислові задачі лінійного програмування. Пакети розширення системи Maple для розв'язування задач лінійного програмування

4. Кінематика точки в полі дії сили тяжіння. Задача двох тіл.

5. Візуалізація гармонічних коливань. Подвійний математичний маятник

6. Потенціал та електричне поле системи точкових зарядів. Еквіпотенціальні поверхні. Потенціал та напруженість електричного поля неперервного розподілу зарядів.

7. Рух частинки в магнітному полі. Квантово-механічний рух частинки крізь потенціальний бар'єр. Частинка в скінченній потенціальній ямі. Задача про атом водню.

IV. Політика оцінювання

Політика оцінювання результатів навчання здобувачів освіти регламентується положенням про поточне та підсумкове оцінювання знань здобувачів вищої освіти Волинського національного університету імені Лесі Українки від 26 червня 2025 року (<https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/06/2025.-Про-поточне-і-підсумк.оцінювання.pdf>).

Відвідування лекцій студентом не оцінюється. Однак, для засвоєння студентам рекомендується відвідувати лекційні заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для розв'язування задач на практичних заняттях, виконання домашніх завдань та завдань, що пропонуються на контрольних заходах. Відвідування практичних занять є обов'язковим.

Поточна оцінка формується з:

- 1) оцінювання виконання завдань на практичних заняттях: 10 балів;
- 2) оцінки за контрольну роботу (на контрольній пропонується п'ять завдання типових до тих, що виконувались на практичних заняттях, кожне завдання оцінюється у 6 балів).

Завдання практичного заняття вважаються виконаними вчасно, якщо здобувач освіти надав викладачу звіт з їх виконання не пізніше наступної практичної роботи.

У випадку пропуску практичних занять (з поважних причин) здобувач освіти має право відпрацювати пропущені заняття на консультаціях та добрати ту кількість балів, яку було визначено на пропущені теми.

Згідно Порядку визнання результатів навчання, отриманих у формальній, неформальній та/або інформальній освіті у Волинському національному університеті імені Лесі Українки (https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/2024_Viznannya_rezultativ_VNU_im_L.U._red.pdf) студентів можуть бути зарахованими результати навчання, які отримані у формальній, неформальній та/або інформальній освіті.

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись положень Кодексу академічної доброчесності Волинського національного університету імені Лесі Українки (<http://ra.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Kodeks-akademichnoyi-dobrochesnosti.pdf>), і розуміють, що за його порушення несуть особисту відповідальність.

V. Підсумковий контроль

Формою підсумкового семестрового контролю є залік. Оцінювання здійснюється за накопичувальною шкалою.

Залік виставляється за результатами поточної роботи за умови, що здобувач освіти виконав ті види навчальної роботи, які визначено силабусом. У дату складання заліку записується у відомість сума поточних балів, які здобувач освіти набрав під час поточної роботи.

У випадку, якщо здобувач освіти протягом поточної роботи набрав менше як 60 балів, він складає залік під час ліквідації академічної заборгованості. У цьому випадку бали, набрані під час поточного оцінювання анулюються. Максимальна кількість балів на залік під час ліквідації академічної заборгованості 100 балів. Під час ліквідації академічної заборгованості студенту необхідно виконати п'ять завдань, типові до тих, що виконувались на практичних роботах. При цьому кожне завдання оцінюється максимум у 20 балів.

У день складання заліку за основною сесією заборонено проводити додаткові опитування здобувача освіти, а також здобувач освіти не має права доздавати будь-який вид робіт, передбачений силабусом освітнього компоненту.

Перелік питань на залік

ОК 4.1. Фізика конденсованого стану

1. Сформулюйте основні положення теорії фазових переходів Ландау та поняття параметра порядку
2. Поясніть фізичний зміст оберненої ґратки та побудову зон Бріллюена для різних типів кристалічних структур
3. Опишіть наближення майже вільних електронів та сильного зв'язку в зонній теорії твердого тіла
4. Проаналізуйте поняття ефективної маси електрона та її тензорний характер у анізотропних кристалах
5. Порівняйте моделі Ейнштейна та Дебая для опису теплоємності кристалічної ґратки
6. Опишіть механізми виникнення діамагнетизму парамагнетизму та феромагнетизму з точки зору квантової теорії
7. Виведіть кінетичне рівняння Больцмана та умови його застосовності до опису явищ переносу
8. Поясніть фізичну природу ефекту Холла та магнітоопору у металах і напівпровідниках
9. Охарактеризуйте види екситонів у твердих тілах та їх роль у поглинанні світла
10. Опишіть квантові розмірні ефекти у низькорозмірних системах (квантові ями дрони точки)
11. Поясніть мікроскопічний механізм виникнення надпровідності (теорія БКШ) та утворення куперівських пар
12. Охарактеризуйте властивості графену та топологічних ізоляторів як нових класів матеріалів

ОК 4.2. Фізика напівпровідників

1. Порівняйте зонні структури прямозонних та непрямоzonних напівпровідників та їх вплив на оптичні властивості

2. Проаналізуйте температурну залежність положення рівня Фермі у власному та домішковому напівпровідниках
3. Опишіть статистику розподілу носіїв заряду та поняття виродженого напівпровідника
4. Охарактеризуйте основні механізми розсіювання носіїв заряду (на фонах домішок) та їх вплив на рухливість
5. Поясніть природу краю власного поглинання та ефекту Франца-Келдиша у напівпровідниках
6. Опишіть види люмінесценції (фото- електро- катодолюмінесценція) та механізми рекомбінації
7. Порівняйте методи вирощування монокристалів за Чохральським та методом зонної плавки
8. Опишіть технологічні етапи планарної технології (літографія травлення легування)
9. Проаналізуйте енергетичну діаграму контакту метал-напівпровідник та умови утворення бар'єру Шоттки
10. Поясніть фізику утворення двовимірного електронного газу (2DEG) на межі гетеропереходу
11. Охарактеризуйте спін-залежні явища переносу та ефект гігантського магнітоопору
12. Опишіть особливості електронного транспорту в мезоскопічних системах та явище кулонівської блокади

ОК 4.3. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів

1. Опишіть алгоритми чисельного розв'язування диференціальних рівнянь у середовищі Maple
2. Поясніть методи візуалізації фізичних полів (векторних та скалярних) за допомогою засобів комп'ютерної графіки
3. Сформулюйте алгоритм моделювання розподілу електростатичного потенціалу методом сіток
4. Опишіть чисельний розрахунок магнітного поля системи провідників на основі закону Біо-Савара-Лапласа
5. Проаналізуйте метод чисельного розв'язання стаціонарного рівняння Шредінгера для одновимірної потенціальної ями
6. Опишіть алгоритм моделювання проходження хвильового пакету через потенціальний бар'єр
7. Поясніть принцип моделювання процесів теплопровідності та розв'язання рівняння Фур'є для двовимірної області
8. Опишіть методіку моделювання дифракції світла та розрахунку розподілу інтенсивності хвильового поля
9. Сформулюйте основні принципи методу Монте-Карло та його застосування для обчислення визначених інтегралів

10. Опишіть алгоритм моделювання випадкових блукань частинки та процесів дифузії

11. Поясніть особливості стохастичного моделювання фазових переходів (наприклад модель Ізінга)

12. Проаналізуйте точність та стійкість чисельних методів при моделюванні динамічних фізичних систем

Шкала оцінювання знань здобувачів освіти

Оцінка в балах	Лінгвістична оцінка
90–100	Зараховано
82–89	
75–81	
67–74	
60–66	
0–59	Незараховано (необхідне перескладання)

VI. Рекомендована література

ОК 4.1. Фізика конденсованого стану

1. Галян В. В., Шевчук М. В., Іващенко І.А. Фізика твердого тіла: навч. посіб. для студ. навч. закл. вищої освіти. Луцьк : Вежа-Друк. 2022. 156 с. Рекомендовано НМР ВНУ імені Лесі Українки (протокол № 4 від 31.03.2022 р., гриф Рекомендовано). ISBN 978- 966-940-401-5 (2,4 авт. арк.)

2. Свідзинський А. В. Математичні методи теоретичної фізики. Том 2. / А.В. Свідзинський. – Луцьк: Вежа, 2004. – 428 с. 3. Свідзинський А. В. Мікроскопічна теорія надпровідності: монографія. – Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2011. – 422 с.

4. Франів А. Фізика низьких температур : навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 362 с.

5. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.

6. Подопригора Н.В. Фізика твердого тіла: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів / Подопригора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М. – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.

7. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетики [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні. – Київ : Політехніка, 2017. – 416 с.

8. Поплавко, Ю. М. Фізика твердого тіла. Т. 2. Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи [Електронний ресурс] : [в 2 т.] : підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» / Ю. М. Поплавко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні. – Київ : Політехніка, 2017. – 379 с.

9. Pethick C. J., Smith H. Bose–Einstein Condensation in Dilute Gases. – Cambridge university press, 2002. 10. Griffin A. Bose condensation in atomic gases // Proc. of the Intern. School of Physics “Enrico Fermi”. – 1999. – Vol. 140. – P. 1. 11. The Oxford Solid State Basics by Steven H. Simon – 21 video lectures <http://podcasts.ox.ac.uk/series/oxford-solid-state-basics>.

ОК 4.2. Фізика напівпровідників

1. Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників. К.: ВПЦ "Київський університет", 2007. Т. 1. 338 с.

2. Ільченко В. І., Обухова Т. Ю. Фізика напівпровідників: Конспект лекцій (Частина I)[Електронний ресурс]: К : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. Доступ за адресою: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/37599/1/Fizyka_napivprovidnykiv-1.pdf

3. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів: навчальний посібник . – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 243 с.

4. Поплавко Ю.М., В.І. Ільченко, Воронов С.А., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. Частина IV. Напівпровідники: Навчальний посібник. Київ, видавництво «Політехніка» Національного Технічного університету України, 2010. 342 с.

5. Федосов С. А., Замуруєва О. В. [та ін.]. Фізика напівпровідників : курс лекцій у 3 ч. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. Ч. 1. 45 с.; 2016. Ч. 2. 60 с.; 2016. Ч. 3. 39 с.

6. Федосов С. А., Замуруєва О. В., Сахнюк В. Є., Захарчук Д. А., Коваль Ю. В. Фізика напівпровідників : задачі = Semiconductor Physics : Problems. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 24 с.

7. Одержання та фізичні властивості напівпровідників у системах Ag-In(Ga)-Si(Ge)-S(Se)₂ : монографія / Мирончук Г.Л., Кітик І.В., Замуруєва О.В. – Луцьк : Вежа-Друк, 2019. 157 с. Рекомендовано СНУ ім. Лесі Українки (протокол № 15 від 28.11.2019 р.).

8. M.Ya. Rudysh, P.A. Shchepanskyi, G.L. Myronchuk, M. Piasecki, O.S. Martyniuk. Vibrational, thermodynamic and acoustic properties of AgAlS₂ crystal. Physica B: Condensed Matter 654 (2023) 414731 <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.414731> (Scopus)

9. Tuan V. Vu, O.V. Marchuk, O.V. Smitiukh, V.A. Tkach, D. Myronchuk, G.L. Myronchuk, O.Y. Khyzhun High-temperature orthorhombic phase of $\text{Cu}_2\text{HgGeS}_4$: Electronic structure and principal optical constants as evidenced from the experiment and theory. *Journal of Solid State Chemistry*. 313 (2022) 123313 <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2022.123313> (Scopus)

10. O. V. Smitiukh, O. V. Marchuk, Y. M. Kogut, V. O. Yukhymchuk, N. V. Mazur, G. L. Myronchuk, S. M. Ponedelnyk, O. I. Cherniushok, T. O. Parashchuk, O. Y. Khyzhun, K. T. Wojciechowski, A. O. Fedorchuk Effect of rare-earth doping on the structural and optical properties of the Ag_3AsS_3 crystals. *Optical and Quantum Electronics* 54(4) (2022) 224 DOI: 10.1007/s11082-022-03542-w (Scopus)

ОК 4.3. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів

1. Сахнюк В.Є., Вілігурський О.М., Бірук О.М., Замуруєва О.В. СКМ MAPLE у фізиці: коливання: метод. рек. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 64 с.

2. Frank Y. Wang. *Physics with Maple: The Computer Algebra Resource for Mathematical Methods in Physics*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2006. 610 p.

3. Frank E. Harris. *Mathematics for Physical Science and Engineering Symbolic Computing Applications in Maple and Mathematica*. University of Utah, Salt Lake City, UT and University of Florida, Gainesville, FL. 2014. 780 p.

4. Електронний ресурс:

<https://www.maplesoft.com/support/help/view.aspx?path=HelpOverview>

5. Махней О. В. Лабораторний практикум у Maple: методичні рекомендації до проведення лабораторних занять. Івано-Франківськ : Видавничо-дизайнерський відділ Центру інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. 32 с.

6. Кобильник Т. П. Системи комп'ютерної математики: Maple, Mathematica, Maxima. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ ДДПУ імені Івана Франка, 2008. 315 с.

7. Попов Б. О. Розв'язування математичних задач у системі комп'ютерної алгебри Maple V. К. : ВіР, 2001. 312 с. 8. Гірник М. О., Костенко А. В., Лучко М. В., Плеша М. І. Maple 7. Основи практичного застосування. Львів : ВНТЛ-Класика, 2002. 174 с.