



ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	Е Природничі науки, математика та статистика
Спеціальність	Е5. Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 рік підготовки, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/МКР
Розклад занять	час і місце проведення аудиторних викладені на сайті http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор, практичні: к.ф.-м.н. Чурсанова Марина Валеріївна, https://zfftt.kpi.ua/staff/chursanova/
Розміщення курсу	campus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

В результаті вивчення дисципліни «Вибрані розділи фізики твердого тіла» аспірант повинен знати основні поняття фізики твердого тіла, актуальні напрямки її сучасного розвитку; вміти орієнтуватися в сучасних тенденціях розвитку фізики твердого тіла, перспективах практичного застосування сучасних розробок, встановлення взаємозв'язків між різними галузями. Дисципліна дає загальні уявлення про сучасні технології, що базуються на принципах і закономірностях фізики твердого тіла, питання сучасних підходів і методи вивчення нанооб'єктів, низькорозмірних систем, сучасних методів модифікації твердих тіл з метою надання їм необхідних властивостей, а також методи їх контролю і діагностики.

Метою вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців стійких знань

та розуміння основних понять, актуальних задач та тенденцій розвитку в галузі фізики твердого тіла, уміння використовувати отримані знання при подальших наукових дослідженнях, а також у своїй практичній діяльності.

Предметом вивчення даної дисципліни є основні тенденції розвитку сучасної фізики твердого тіла, сучасні технології, що базуються на принципах і закономірностях фізики твердого тіла, сучасні методи вивчення нанооб'єктів, низькорозмірних систем, методи модифікації твердих тіл з метою надання їм необхідних властивостей, методи контролю і діагностики властивостей твердих тіл.

В результаті вивчення дисципліни аспірант набуде наступні компетентності, знання та навички (згідно до освітньої програми):

спеціальні (фахові) компетентності:

- ФК 1. 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.
- ФК 6. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

програмні результати навчання:

- ПРН 1. 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.
- ПРН 4. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.
- ПРН 5. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науководослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.
- ПРН 6. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження з фізики та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Передумовою для вивчення дисципліни є наявність ступеня магістра фізики. Дисципліна базується на знаннях фізики твердого тіла, фізики напівпровідників, діелектриків, сегнетоелектриків, металів, магнетиків, методів експериментальних досліджень, вищої математики та методів математичного моделювання, що викладаються під час навчання в бакалавраті та магістратурі. Необхідним також є базовий рівень володіння англійською мовою.

В структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою результати вивчення дисципліни використовуються для наукової складової, що передбачає проведення власного наукового дослідження та оформлення його результатів у вигляді дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин/ 5 кредитів ECTS.

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Всього		Розподіл навчального часу за видами занять					Семестрова атестація
	<i>кредитів</i>	<i>годин</i>	<i>Лекції</i>	<i>Практичні (семінарські) заняття</i>	<i>Індивідуальні заняття</i>	<i>Контр. (мод.) роб.</i>	<i>СРС</i>	
Денна	5	150	14	12		1	124	екзамен

Дисципліна «Вибрані розділи фізики твердого тіла» включає наступні теми:

1. Наноматеріали та нанотехнології.

Основні поняття нанонауки. Класифікація наноматеріалів. Нульвимірні, одновимірні, двовимірні та тривимірні наноматеріали. Органічні та неорганічні наноматеріали. Методи отримання та дослідження наноматеріалів. Структурні властивості наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах.

2. Вуглецеві наноструктури.

Вуглецеві наноматеріали: отримання, властивості та застосування. Природа вуглецевого зв'язку. Модифікації вуглецю. Графен. Фулерени. Вуглецеві нанотрубки. Методи одержання вуглецевих наноструктур. Електричні властивості нанотрубок. Механічні властивості нанотрубок.

3. Нанотехнології в електроніці

Вуглецеві наноматеріали у електроніці. Нанотехнології у пристроях накопичення енергії. Суперконденсатори. Текстильні суперконденсатори.

Нанотехнології у сонячних елементах.

4. Магнітні наноматеріали.

Магнітні наноматеріали. Магнітні властивості наночастинок. Вплив наноструктурування об'ємного матеріалу на магнітні властивості (використання явища суперпарамагнетизму).

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Поп М.М., Біланич В.С. Фізика та технології наноструктур: навчальний посібник. Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2024. 104 с. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/58149>
2. Сусліков Л. М., Дьордяй В. С. Фізика і технологія наноматеріалів : навчальний посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей. / рец. : П. П. Пуга, І. І. Небола. – Ужгород : Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/56783>
3. Коцюбинський В.О., Бойчук В.М. Наноматеріали у пристроях генерації енергії / “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – Івано-Франківськ, 2021. – 287 с. <http://lib.pnu.edu.ua:8080/handle/123456789/11637>
4. Коцюбинський В.О., Бойчук В.М. Магнітні властивості наноматеріалів/ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – Івано-Франківськ, 2021. – 357 с. <http://lib.pnu.edu.ua:8080/handle/123456789/11635>
5. Karim Khan, Ayesha Khan Tareen, Muhammad Aslam, Asif Mahmood, Qasim khan, Yupeng Zhang, Zhengbiao Ouyang, Zhongyi Guo, Han Zhang, Going green with batteries and supercapacitor: Two dimensional materials and their nanocomposites based energy storage applications / Progress in Solid State Chemistry, Volume 58, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2019.100254>.
6. Методи експериментальних досліджень. Мікроскопія. Курс лекцій : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. В. Чурсанова, М. О. Голяtkіна, І. В. Лінчевський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 164 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/69710>

Додаткова література:

1. Строїтелева Н.І., Кісельов Є.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник – ЗДІА, Запоріжжя, 2018. – 145 с.
2. Фізика наноматеріалів та композитів / В. І. Меньяло, В. Г. Міщенко, П. Ю. Долгорукий, М. Я. Себало. – Запоріжжя: ЗНУ, 2018. – 114 с. <https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=134058>
3. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки: підручник / Зенон Юрійович Готра, Іван Іванович Григорчак, Богдан Антонович Лукіянець, Віктор Петрович Махній, Сергій Володимирович Павлов, Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича; За ред. Зенон Юрійович Готра.– Чернівці : Технологічний Центр, 2014.– 838 с. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2018/Gotra_Nanoelektron_2014_839.pdf

4. В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун “Елементи фізики поверхні, нано- структур і технологій”, 2010, Запоріжжя: ЗНТУ, 365 с.
5. Проценко І. Ю. Наноматеріали і нанотехнології в електроніці : підручник / Іван Юхимович Проценко, Наталія Іванівна Шумакова ; Сум. держ. ун-т. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2017. – 150 с.
6. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
7. Поплавко Ю. М. П Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.
8. Поплавко Ю. М. П Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.
9. Поплавко Ю. М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб./ Ю. М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
10. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої/ Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.
11. В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун, А.П. Шпак “Нанофізика і нанотехнології”, Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 380 с.
12. Samer Bayda The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine/ Samer Bayda, Muhammad Adeel, Tiziano Tuccinardi, Marco Cordani, Flavio Rizzolio // Molecules 2020, 25(1), 112
13. Нові речовини. Частина 1. Від традиційних до нових матеріалів: навчальний посібник до курсу лекцій / О. Т. Богорош, С. О. Воронов, В. Й. Котовський, Н. О. Гордійко ; НТУУ «КПІ» ; під ред. О. Т. Богороша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 517 с.
14. Богорош, О. Т. Нові речовини. Частина 2. П'єзоелектричні та сегнетоелектричні матеріали: навчальний посібник / О. Т. Богорош, С. О. Воронов, В. Й. Котовський ; НТУУ «КПІ» ; під ред. О. Т. Богороша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 455 с.
15. Богорош, О. Т. Нові речовини. Частина 3. Нано- та біоматеріали і матеріали з унікальними властивостями: навчальний посібник до курсу лекцій / О. Т. Богорош, С. О. Воронов, В. Й. Котовський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 405 с.
16. Богорош, О. Т. Скло, сегнетоелектрики, графен, високотемпературні надпровідники : навчальний посібник / О.Т. Богорош, С.О. Воронов, Р.І. Петришин, В.М. Крамар, О.Г. Шайко-Шайковський ; Міністерство освіти і науки України ; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". - Чернівці : Чернівецький

національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. – 311 с.
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52383/1/Sklo.pdf>

17. Магнетики в електроніці. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньої програми «Мікро- та нанoeлектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, І. П. Голубєва, Ю. В. Діденко. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,44 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 365 с. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/afdc5c44-f80d-4343-b71a-903f9909fe78/content>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Тема 1. Наноматеріали та нанотехнології Основні поняття нанонауки. Класифікація наноматеріалів. Нульвимірні, одновимірні, двовимірні та тривимірні наноматеріали. Органічні та неорганічні наноматеріали. Методи отримання та дослідження наноматеріалів.
2	Структурні властивості наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах. Квантові точки. Нановолокна. Наноплівки. Пористі та біоморфні наноструктури. Перспективи застосування нанотехнологій і наноматеріалів в медицині, машинобудуванні, електроніці, інформаційних технологіях, енергетиці, сільському господарстві, наномеханічних пристроях тощо.
3	Тема 2. Вуглецеві наноструктури. Вуглецеві наноматеріали: отримання, властивості та застосування. Природа вуглецевого зв'язку. Модифікації вуглецю. Графен.
4	Фулерени. Вуглецеві нанотрубки. Методи одержання вуглецевих наноструктур. Електричні властивості нанотрубок. Механічні властивості нанотрубок.

5	Тема 3. Нанотехнології в електроніці Вуглецеві наноматеріали у електроніці. Нанотехнології у пристроях накопичення енергії. Суперконденсатори. Текстильні суперконденсатори.
6	Нанотехнології у сонячних елементах.
7	Тема 4. Магнітні наноматеріали. Магнітні наноматеріали. Магнітні властивості наночастинок. Вплив наноструктурування об'ємного матеріалу на магнітні властивості (використання явища суперпарамагнетизму).

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Класифікація наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах. 2-, 1- та 0-вимірні наноструктури.
2	Квантові точки. Нановолокна. Наноплівки. Пористі та біоморфні наноструктури.
3	Графен та його властивості.
4	Фулерени. Вуглецеві нанотрубки.
5	Нанотехнології для екологічних джерел електроживлення. Біорозкладні суперконденсатори.
6	Нанотехнології у сонячних елементах.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	82
2	Підготовка до МКР	12
3	Підготовка до екзамену	30

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- - правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.
- - правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- - політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;
- - політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Вибрані розділи фізики твердого тіла»;
- політика використання штучного інтелекту для академічної діяльності в КПП ім. Ігоря Сікорського https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/polityka-vykorystannia-shtuchnogo-intelektu_2023.pdf . В університеті визнається академічно нечесним такі способи використання моделей ШІ, які порушують принципи доброчесності та етики досліджень, наприклад:
 - Видання тексту, згенерованого ШІ або перефразованого ШІ вмісту інших джерел, за власну роботу. Використання ШІ для автоматичної генерації текстів або перефразування наявного контенту без належного вказання джерел порушує принципи авторства та вважається плагіатом.
 - Переопрацювання ШІ власної статті автора з метою повторного видання як нової статті. Використання ШІ для перетворення вже опублікованої роботи автора з метою створення вигляду нової публікації порушує Кодекс честі університету та самоідентифікацію в науковій роботі.

- Створення неправдивих даних і представлення їх як підтвердження власних досліджень (фабрикація даних). Генерація ШІ неправдивих даних та їх використання як підстави для наукових висновків є серйозним порушенням академічної доброчесності та може викликати негативні наслідки для якості досліджень та репутації дослідника.
- - при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: опитування за темою заняття, виступи з доповіддю, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

На першому занятті студенти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

Стартова складова (навчальна робота у семестрі)

1. – виступи на практичних заняттях;
2. - модульну контрольну роботу;

Екзаменаційна складова

3. - відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

Стартова складова

1) Практичні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 3. Максимальна кількість балів, які може отримати студент на практичних заняттях становить $6 \times 3 = 18$ балів.

Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінна відповідь оформлена у вигляді презентації - 3 бали;
- добра відповідь зі спрощеним оформленням - 2 бали;
- задовільні, достатні відповіді без оформлення - 1,5 бали.

Строк виконання кожного домашнього завдання – два тижні від дня його оголошення. У разі затримки здачі більш ніж на два тижні після встановленого дедлайну без поважної причини, одержаний бал за завдання знижується на 20%.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 22. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 22 = 22$ бали. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь з презентацією (не менше 90 % потрібної інформації) 20-22 бали;
- «добре», достатньо повна відповідь з презентацією (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 17-19 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 13-16 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0- 12 балів.

Строк виконання МКР – два тижні від дня її оголошення. У разі затримки здачі більш ніж на два тижні після встановленого дедлайну без поважної причини, одержаний бал знижується на 20%.

Заохочувальні та штрафні бали:

Заохочувальні бали можна заробити лише протягом навчального семестру.

- за підготовку тез та участь у всеукраїнській/міжнародній студентській конференції за темою сучасних напрямків у ФТТ студент отримує +5 балів;
- за підготовку та публікацію дослідницької/оглядової статті у фаховому журналі за темою сучасних напрямків у ФТТ студент отримує +10 балів.

Заохочувальні бали враховуються тільки на екзамені після отримання допуску.

Штрафні бали можна одержати за

- порушення принципів академічної доброчесності: бали за роботу, при здачі якої виявлені порушення принципів академічної доброчесності, анулюються;
- порушення принципів етики та доброчесності використання штучного інтелекту: бали за роботу анулюються.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 18 + 22 = 40 \text{ балів}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 60% від **Rc**, тобто **24 бали**.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює: **Re = 60 балів**

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$R = 40 + 60 = 100 \text{ балів.}$$

3). Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 30 балів. Всього $2 \times 30 = 60$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 55-60 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 45-54 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 36-44 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Наноматеріали: основні поняття, властивості та застосування
2. Розмірні ефекти в наноматеріалах
3. Тривимірні наноструктури
4. Двовимірні наноструктури
5. Одновимірні наноструктури
6. Нульвимірні наноструктури
7. Пористі та біоморфні наноструктури
8. Методи дослідження наноматеріалів
9. Модифікації вуглецю. Графен.
10. Модифікації вуглецю. Фулерени.
11. Модифікації вуглецю. Вуглецеві нанотрубки.
12. Вуглецеві наноматеріали у електроніці
13. Суперконденсатори.
14. Нанотехнології у сонячних елементах.
15. Магнітні наноматеріали

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 ВІД 01.10.2020 Р. «Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент кафедри Загальної фізики та моделювання фізичних процесів, к.ф.-м.н., Чурсанова Марина Валеріївна

Ухвалено: кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 1/06-25 від 25.06.25)

Погоджено Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 27.06.25)