



ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 – Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 рік підготовки, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС
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, http://intellect.zfft.kpi.ua/profile/hmv14
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 (композитів), 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 отриманні 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:

- СК01. 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.
- СК06. 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:

- РН01. 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.
- РН04. 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.
- РН05. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.
- РН06. 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 на 1 – 4 курсах та в 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 120 годин/ 4 кредити ECTS.

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Всього		Розподіл навчального часу за видами занять					Семестрова атестація
	кредитів	годин	Лекції	Практичні (семінарські) заняття	Індивідуальні заняття	Контр. (мод.) роб.	СРС	
Денна	4	120	18	18		1	84	екзамен

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

1. Особливості структури та властивості твердих тіл.

Основні типи зв'язків у твердих тілах. Дифракція у кристалах. Динаміка кристалічної ґратки.

Електронні властивості твердих тіл

Теплові властивості твердих тіл. Делокалізовані і локалізовані стани електронів у кристалах. Метали.

Магнітні властивості твердих тіл.

Класифікація магнетиків. Природа діамагнетизму. Природа парамагнетизму. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія, спінові хвилі, магнони.

2. Наноматеріали та нанотехнології.

Класифікація наноматеріалів. Поверхнева енергія. Тиск під викривленою поверхнею. Методи отримання наноматеріалів. Структурні властивості наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах. Металеві наночастинки з ГЦК і ГЦ– граткою.

3. Наночастинки

Властивості ізольованих наночастинок. Структурні властивості ізольованих наночастинок. Електронні властивості наночастинок. Кластери. Магнітні властивості наночастинок. Оптичні властивості. Поверхневі плазмони. Явище поверхневого підсилення електромагнітного випромінювання

4. Вуглецеві наноструктури

Природа вуглецевого зв'язку. Модифікації вуглецю. Графен. Фулерени. Вуглецеві нанотрубки. Методи одержання вуглецевих наноструктур. Електричні властивості нанотрубок. Механічні властивості нанотрубок.

5. Нанотехнології в електроніці.

Вуглецеві наноматеріали: отримання, властивості та застосування у пристроях накопичення енергії.

Суперконденсатори. Текстильні суперконденсатори.

Сонячні елементи. Паливні елементи.

6. Магнітні наноматеріали.

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

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Наукові видання з наукометричної бази SCOPUS (вільний доступ у бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського)
 - <https://www.sciencedirect.com/search?q=physics%20solid%20state>
 - Nano Letters by the American Chemical Society <https://pubs.acs.org/loi/nalefd>
 - Nanotechnology by IOP Publishing <https://iopscience.iop.org/journal/0957-4484>
 - Physica Status Solidi <http://www.pss-a.com/> ; <http://www.pss-b.com/> ; <http://www.pss-c.com/>
 - Physics of the Solid State <http://journals.ioffe.ru/journals/1>, <https://www.springer.com/journal/11451/> та інш.
2. Строїтелева Н.І., Кісельов Є.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник – ЗДІА, Запоріжжя, 2018. – 145 с.
3. Фізика наноматеріалів та композитів / В. І. Меньяло, В. Г. Міщенко, П. Ю. Долгорукий, М. Я. Себало. – Запоріжжя: ЗНУ, 2018. – 114 с. <http://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=134058>

4. 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>
5. 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>
6. 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>.

Додаткова література:

1. Islam, M. R., Afroj, S., Novoselov, K. S., & Karim, N. (2022). Smart electronic textile-based wearable supercapacitors. *Advanced Science*, 9(31), 2203856. <https://doi.org/10.1002/advs.202203856>
2. 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
3. Тузяк О.Я. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник / О.Я. Тузяк, В.Ю. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. -296 с.
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., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовицький 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.

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	<p>Тема 1. Особливості структури та властивості твердих тіл.</p> <p>Основні типи зв'язків у твердих тілах. Основи зонної теорії твердих тіл. Дифракція у кристалах. Динаміка кристалічної ґратки.</p> <p>Електронні властивості твердих тіл</p> <p>Теплові властивості твердих тіл. Делокалізовані і локалізовані стани електронів у кристалах. Метали.</p> <p>Магнітні властивості твердих тіл.</p> <p>Класифікація магнетиків. Природа діамагнетизму. Природа парамагнетизму. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія, спінові хвилі, магнони.</p>

2	<p>Тема 2. Наноматеріали та нанотехнології. Класифікація наноматеріалів. Поверхнева енергія. Тиск під викривленою поверхнею. Методи отримання наноматеріалів. Структурні властивості наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах. Металеві наночастинки з ГЦК і ГЦ– ґраткою. Пористі та біоморфні наноструктури. Перспективи застосування нанотехнологій і наноматеріалів в медицині, машинобудуванні, електроніці, інформаційних технологіях, енергетиці, сільському господарстві, наномеханічних пристроях.</p>
3	<p>Тема 3. Наночастинки Властивості ізольованих наночастинок. Структурні властивості ізольованих наночастинок. Електронні властивості наночастинок. Кластери. Магнітні властивості наночастинок.</p>
4	<p>Оптичні властивості наночастинок. Поверхневі плазмони, методи їх збудження. Поняття локалізованих плазмонів. Еванесцентні хвилі. Розподіл зарядів на поверхні металу при збудженні еванесцентної хвилі і фізична інтерпретація експоненціального затухання її інтенсивності. Плазмова частота і від'ємний коефіцієнт діелектричної проникності. Явище поверхневого підсилення електромагнітного випромінювання. Надчутливі сенсори, засновані на поверхневому плазмонному резонансі. Гігантське комбінаційне розсіювання (SERS - Surface-Enhanced Raman Scattering). Фотонні кристали.</p>
5	<p>Тема 4. Вуглецеві наноструктури Природа вуглецевого зв'язку. Модифікації вуглецю. Графен. Фулерени. Вуглецеві нанотрубки. Методи одержання вуглецевих наноструктур. Електричні властивості нанотрубок. Механічні властивості нанотрубок.</p>
6	<p>Тема 5. Нанотехнології в електроніці. Вуглецеві наноматеріали: отримання, властивості та застосування у пристроях накопичення енергії. Суперконденсатори. Текстильні суперконденсатори.</p>
7	<p>Сонячні елементи. Паливні елементи.</p>
8	<p>Тема 6. Магнітні наноматеріали. Магнітні напівпровідники. Магнітні наноматеріали. Вплив наноструктурування об'ємного матеріалу на магнітні властивості (використання явища суперпарамагнетизму). Феромагнітні рідини.</p>

9	Гігантський магнітоопір. Гігантський магнітоопір (GMR) і його якісна інтерпретація на основі зонної структури металів. Гігантський магнітоопір в мультишарових структурах. Використання GMR в обчислювальній техніці. Спіновий вентиль, принцип роботи. Магнітний тунельний перехід, принципи MRAM. A magnetic tunnel junction (MTJ) device. Спінові хвилі. Спінові хвилі на границі середовищ. Способи збудження спінових хвиль
----------	---

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Класифікація ґраток Браве. Площини та напрямки в кристалі, індекси Міллера. Координаційне число. Порівняння різних типів зв'язку в кристалах. Утворення енергетичних зон у спрощеній моделі кристала. Розв'язок рівняння Шредінґера у періодичному потенціальному полі кристала.
2	Класифікація наноматеріалів. Розмірні ефекти в наноматеріалах. 2-, 1- та 0-вимірні наноструктури.
3	Графен та його властивості.
4	Еволюція морфології наночастинок. Методи синтезу наноструктурованих матеріалів
5	Поверхневі плазмони у металізованих наноструктурованих поверхнях. Спектри поверхнево підсиленого комбінаційного розсіювання
6	Нанотехнології для екологічних джерел електроживлення. Біорозкладні суперконденсатори.
7	Механізм утворення доменної структури феромагнетиків
8	Гігантський магнітоопір. Спіновий вентиль. Спінові хвилі.
9	Особливості застосування експериментальних методів дослідження властивостей твердих тіл

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	48
2	Підготовка до МКР	6
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»;
- - 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 (РСО)

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.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

На першому занятті аспіранти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на практичних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів

1) Практичні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 5. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $9 \times 5 = 45$ бали. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінні відповіді 5 балів;
- дуже добрі, добрі відповіді 4 бали;
- задовільні, достатні відповіді 3 бали.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 15. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $1 \times 15 = 15$ балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 14-15 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 13-14 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 10-12 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3). Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюється у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 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. Типи зв'язку у кристалах
2. Енергетичні зони в кристалі. Відмінність енергетичної структури ізольованого атома від атома в кристалічній ґратці.
3. Пояснення утворення енергетичних зон в кристалі на основі хвильової природи електронів в одновимірній моделі кристала.
4. Періодичний потенціал. Розв'язок рівняння Шредінґера у періодичному потенціальному полі кристала
5. Зонна структура напівпровідників.
6. Метали
7. Природа діамагнетизму.
8. Природа парамагнетизму.
9. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія.
10. Спінові хвилі, магнони.
11. Наноматеріали. Розмірні ефекти в наноматеріалах.
12. Двовимірні, одновимірні, нульвимірні наноструктури.
13. Пористі та біоморфні наноструктури.
14. Властивості ізольованих наночастинок.
15. Поверхневі плазмони. Явище поверхневого підсилення електромагнітного випромінювання
16. Модифікації вуглецю. Графен.
17. Модифікації вуглецю. Фулерени.
18. Модифікації вуглецю. Вуглецеві нанотрубки.
19. Суперконденсатори.
20. Сонячні елементи.
21. Паливні елементи.
22. Гігантський магнітоопір

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 фізики твердого тіла, к.ф.-м.н., Чурсанова Марина Валеріївна

Ухвалено: кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 06-23 від 07.06.2023)

Погоджено Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 27.06.2023)