



## ВИБРАНІ РОЗДІЛИ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>Третій (освітньо-науковий)</b>
<b>Галузь знань</b>	10 – Природничі науки
<b>Спеціальність</b>	104 – Фізика та астрономія
<b>Освітня програма</b>	Фізика
<b>Статус дисципліни</b>	Нормативна
<b>Форма навчання</b>	Очна (денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	2 рік підготовки, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	4 кредити ЄКТС
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	Екзамен/МКР
<b>Розклад занять</b>	час і місце проведення аудиторних викладені на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a>
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Лектор, практичні: к.ф.-м.н. Чурсанова Марина Валеріївна, <a href="http://intellect.zfftt.kpi.ua/profile/hmv14">http://intellect.zfftt.kpi.ua/profile/hmv14</a>
<b>Розміщення курсу</b>	CAMPUS

#### 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 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):

**Загальні компетентності:**

ЗК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру, розуміти їхнє місце як в своїй професійній області, так і серед інших галузей науки та в культурному просторі; а також оцінювати та забезпечувати якість виконуваних науково дослідних робіт.

**Фахові компетентності:**

ФК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у фізиці та/або астрономії і дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики (астрономії) та суміжних галузей.

ФК04. Володіння методологією педагогічної та наукової діяльності в області фізики.

ФК05. Здатність створювати теоретичні моделі фізичних процесів у відповідності до вимог поставленої задачі.

**Програмні результати навчання:**

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з фізики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН03. Уміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Уміти розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у фізиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН05. Уміти планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

## 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 підчас 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:

Тема 1. Кристалічна структура. Типи зв'язку у кристалах. Основи зонної теорії твердих тіл.

Тема 2. Актуальні питання фізики напівпровідникових матеріалів

Тема 3. Актуальні питання фізики сегнетоелектричних матеріалів

Тема 4. Актуальні питання фізики феромагнітних матеріалів

Тема 5. Гігантський магнітоопір.

Тема 6. Поверхневі плазмони. Явище поверхневого підсилення електромагнітного випромінювання

Тема 7. Нові класи наноматеріалів.

Тема 8. Метаматеріали

Тема 9. Експериментальні методи дослідження властивостей твердих тіл

#### 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 інші.
2. 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, магнетика. – 415 с.
3. 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.
4. Поплавко Ю. М. Нанofізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб./ Ю. М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
5. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої/ Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.

##### Додаткова література:

1. 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.
2. Mitin V., Kochelap V., Stroschio V., *Introduction to Nanoelectronics Science: Nanotechnology, Engineering, and Applications*, Cambridge University Press 2008, 329p. – ISBN-13 978-0-511-36811-0, ISBN-10 0-511-36811-9.
3. Бушманов Б.Н. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов / Б.Н. Бушманов, Ю.А. Хромов. - М.: Высш. школа, 1971. - 224 с.
4. Milton, G.W. *The Theory of Composites*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2002. doi:10.1017/CBO9780511613357.
5. Kachanov, M.; Sevostianov, I. (Eds.) *Effective Properties of Heterogeneous Materials*, Springer Science & Business Media: Dordrecht, The Netherlands, 2013. doi:10.1007/978-94-007-5715-8
6. 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
7. Anna P. N. *Nanotechnology and its Applications in Medicine*/ Anna Pratima Nikalje, Y.B. Chavan, Rauza Bagh // *Medicinal chemistry* 2015, Nikalje, *Med chem* 2015.

8. 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.
9. 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.
10. 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	Тема 1. Кристалічна структура. Типи зв'язку у кристалах. Основи зонної теорії твердих тіл. Кристалічна ґратка. Кристалографічні площини. Різні типи зв'язку у кристалах: ван-дер-ваальсівський зв'язок, ковалентний зв'язок, іонний зв'язок, металічний зв'язок. Характер зв'язку біля поверхні. Енергетичні зони в кристалі. Періодичний потенціал. Розв'язок рівняння Шредінгера у періодичному потенціальному полі кристала. Фізичний зміст обмінних інтегралів.
2	Тема 2. Актуальні питання фізики напівпровідникових матеріалів Зонна структура напівпровідників. Особливості прямозонних та непрямоzonних напівпровідників. Р-n переходи. Тонкі плівки. Епітаксія. Структура поверхні і хімічний зв'язок. Межі розділу. Механізми формування, структура та електронні властивості інтерфейсу метал-напівпровідник.
3	Тема 3. Актуальні питання фізики сегнетоелектричних матеріалів Електричні властивості п'єзоелектриків. Діелектрична анізотропія. Електромеханічний зв'язок у п'єзоелектриках. Піроелектричний та

	сегнетоелектричний ефект. Термоп'єзоелектрика. П'єзо-, піросенсорика.
4	Тема 4. Актуальні питання фізики феромагнітних матеріалів Магнітні властивості металів. Моделі обмінної взаємодії в магнітних матеріалах. Механізм утворення доменної структури феромагнетиків. Фазові переходи в феро-і феримагнетиках.
5	Тема 5. 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
6	Тема 6. Поверхневі плазмони. Явище поверхневого підсилення електромагнітного випромінювання Граничні умови для електромагнітного поля (ЕП) на поверхні розділу двох середовищ. 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. Будова середовищ з негативним індексом рефракції в мікрохвильовому діапазоні. Поверхневі плазмони, методи їх збудження. Поняття локалізованих плазмонів. Електричне поле сфери, що знаходиться в ЕП. Поляризуємість металевої сфероїдальної частинки, плазмонний резонанс. Мікроскоп на поверхневих плазмонах. Надчутливі сенсори, засновані на поверхневому плазмонному резонансі. Гігантське комбінаційне розсіювання (SERS - Surface-Enhanced Raman Scattering).
7	Тема 7. Нові класи наноматеріалів. Особливості синтезу наночастинок. Формування впорядкованих наноструктур. Поверхнева динаміка. Рівноважна конфігурація. Двовимірні, одновимірні, нульвимірні наноструктури. Нанопровідники. Нанодропи. Квантові точки. Вуглецеві квантові точки. Пористі та біоморфні наноструктури. Перспективи застосування нанотехнологій і наноматеріалів в медицині, машинобудуванні, електроніці, інформаційних технологіях, енергетиці, сільському господарстві, наномеханічних пристроях.
8	Тема 8. Метаматеріали Загальне поняття про метаматеріали. Проходження світла в метаматеріалах. Можливості подолання дифракційної межі в оптиці,

	принципи роботи суперлінзи. Перспективи застосування метаматеріалів в сучасній техніці.
9	Тема 9. Експериментальні методи дослідження властивостей твердих тіл Аналіз сучасних тенденцій у фізиці твердого тіла та новітніх методів експериментальних досліджень. Можливості скануючої зондової мікроскопії. Методи дослідження елементарного складу поверхневих шарів зразка. Знання фізичних засад та методики застосування різних видів спектральних досліджень. Термостимульована люмінесценція. Спектроскопія поверхнево-підсиленого комбінаційного розсіювання.

### 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	Прямозонні та непрямоzonні напівпровідники. Домішкові стани. Р-п переходи. Випромінювальна та безвипромінювальна рекомбінація.
3	Пружні хвилі в кристалах. Граничні умови. Механізми електромеханічного зв'язку. П'єзоелектричний резонанс
4	Механізм утворення доменної структури феромагнетиків
5	Гігантський магнітоопір. Спіновий вентиль. Спінові хвилі.
6	Поверхневі плазмони у металізованих наноструктурованих поверхнях. Спектри поверхнево підсиленого комбінаційного розсіювання
7	Еволюція морфології наночастинок. Методи синтезу наноструктурованих матеріалів.
8	Проходження світла в метаматеріалах
9	Особливості застосування експериментальних методів дослідження властивостей твердих тіл

### 6. Самостійна робота 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

## Політика та контроль

### 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](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 ізолюваного 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 Шредінгера у періодичному потенціальному полі кристала
5. Зонна структура напівпровідників.
6. P-n переходи.
7. Тонкі плівки. Епітаксія.
8. Електричні властивості п'єзоелектриків.
9. Піроелектричний та сегнетоелектричний ефект.
10. Термоп'єзоелектрика.
11. Механізм утворення доменної структури феромагнетиків.
12. Гігантський магнітоопір
13. Спіновий вентиль, спіновий діод
14. Магнітний тунельний перехід
15. Спінові хвилі.
16. Еванесцентні хвилі біля поверхні розділу двох середовищ.
17. Плазмова частота, від'ємний коефіцієнт діелектричної проникності.
18. Поверхневі плазмони, локалізовані плазмони. Плазмонний резонанс.
19. Гігантське комбінаційне розсіювання
20. Двовимірні, одновимірні, нульвимірні наноструктури.
21. Пористі та біоморфні наноструктури.
22. Метаматеріали.

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 фізики твердого тіла (протокол № 06-21 від  
18.06.2021)

**Погоджено** Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол  
№ 11 від 23.06.2021)