

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Факультет фізико-технічний

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика конденсованого стану речовини

Освітня програма аспірант (PhD)

Спеціальність 105 Прикладна фізика і наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри
Протокол №1 від “29” серпня 2022 р.

м. Івано-Франківськ - 2022

ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Результати навчання (компетентності)
5. Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
7. Політика курсу
8. Рекомендована література

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	Фізика конденсованого стану речовини
Викладач (-і)	доктор фізико-математичних наук, професор Будзуляк Іван Михайлович
Контактний телефон викладача	Роб. 0342596185, Моб. 0973704165
Е-mail викладача	ivan-budzulyak@ukr.net
Формат дисципліни	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота
Обсяг дисципліни	180 годин (6 кредитів)
Посилання на сайт дистанційного навчання	http://www.d-learn.pu.if.ua/
Консультації	щотижня
2. Анотація до курсу	
<p>Курс «Фізика конденсованого стану речовини» створена для аспірантів (PhD) освітньо-науковою програмою «105, Прикладна фізика і наноматеріали». Курс розроблено таким чином, щоб сформувавши у аспірантів уявлення про принципово нові фізичні явища і процеси, які притаманні конденсованим середовищам внаслідок прояву у них всього спектру квантово-механічних властивостей, які не є суттєвими для макрооб'єктів; такі знання є обов'язковими для того, щоб вони вміли застосовувати їх для характеристики конденсованого стану речовини.</p>	
3. Мета та цілі курсу	
<p>Мета: логічно послідовне формування у аспірантів знань про фізику конденсованого стану речовини, теоретичні основи опису конденсованих середовищ, зокрема метод функцій Гріна, метод вторинного квантування, діаграми Феймана, моделі, які найбільш повно описують даний стан, можливості використання конденсатів в різноманітних галузях науки і техніки.</p> <p>Завдання вивчення дисципліни: формування у аспірантів уявлень про принципово нові фізичні явища і процеси, які притаманні конденсованим середовищам внаслідок прояву у них всього спектру квантово-механічних властивостей, які не є суттєвими для макрооб'єктів; узагальнення знань студентів про фізико-хімічні процеси при виборі оптимального набору методик обробки сировини і матеріалів для отримання тих чи інших конденсатів, формування знань щодо сучасних уявлень про квантові ансамблі багатьох частинок, їх опис через введення поняття квазічастинок, зокрема фермі- і бозе- рідин, експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен</p> <p>знати: основні поняття і терміни: конденсований стан, тверді тіла, рідини, аморфні тіла, рідкі кристали, бозе-рідини, фермі-рідини, вторинне квантування, функції Гріна, діаграми Феймана, квазічастинки, ферміони, бозони; загальну характеристику конденсатів, квантово-механічні основи фізичних процесів та особливості їх прояву в тих чи інших конденсатах, взаємозв'язок між будовою атомів та конденсатами, сформованими на їх основі; рідкий гелій; особливі властивості води.</p> <p>вміти: застосовувати отримані знання для характеристики конденсованого стану речовини, описати стан макроскопічної системи, сформулювати умови виникнення елементарних збуджень в конденсованих середовищах, розвинути функцію Гріна, шляхом застосування діаграм Феймана, представити гамільтоніан системи із застосуванням формалізму вторинного квантування, застосувати фрактальне представлення для опису макро- і наностанів конденсованих середовищ, будувати ґратки Браве.</p>	
4. Результати навчання (компетентності)	
<p>Компетенції соціально-особистісні:</p> <ul style="list-style-type: none"> • наполегливість у досягненні мети; • турбота про якість виконуваної роботи; • креативність, здатність до системного мислення. <p>Інструментальні компетенції:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навички управління інформацією. <p>Професійні компетенції:</p> <ul style="list-style-type: none"> • здатність до критичного аналізу та оцінки сучасних наукових досягнень; • здатність генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких і практичних завдань; • здатність до застосування знань для вирішення завдань якісного і кількісного характеру; 	

- здатність пропонувати та обґрунтовувати гіпотези на основі теоретико-методологічного аналізу;
- здатність застосовувати комп'ютерні технології та програми для проведення дослідження та аналізу отриманих даних.

5. Організація навчання курсу

Обсяг курсу	
Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	40
семінарські заняття / <u>практичні</u> / лабораторні	20
самостійна робота	120

Ознаки курсу			
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
1, 2 -й	105, Прикладна фізика і наноматеріали	I-й	Нормативний

Тематика курсу					
Тема, план	Форма заняття	Література	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання

Змістовий модуль 1.

Структура речовини в конденсованому стані

Тема 1. Будова речовини. Електронна структура атомів Будова речовини. Електронна структура атомів.	Лекція	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3	3	згідно розкладу
Тема 2. Хімічний зв'язок і валентність Хімічний зв'язок і валентність. Типи сил зв'язку в конденсованому стані: Ван-дер-ваальсівський зв'язок, водневий зв'язок, іонний зв'язок, ковалентний зв'язок, металічний зв'язок. Природа хімічного зв'язку і модельні уявлення про її виникнення. Визначальна роль електричних сил, що діють між електронами і ядрами атомів, при утворенні хімічного зв'язку. Ковалентний зв'язок в молекулі водню. Геометричні та енергетичні характеристики ковалентного зв'язку: довжина зв'язку, валентний кут, енергія зв'язку. Іонний зв'язок в твердих кристалічних речовинах. Властивості іонного зв'язку: не насиченість, ненаправленість. Координаційні числа. Типи решіток у іонних кристалів. Водневий зв'язок. Міжмолекулярні взаємодії. Природа сил взаємодії між молекулами, їх орієнтаційна, індукційна і дисперсійна складові. Характер сил міжмолекулярної взаємодії: відсутність спрямованості і	Лекція/ практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу

насичуваності; прояв на відстанях, порівнянних з розмірами молекул; величина енергії електростатичного взаємодії в порівнянні з енергією ковалентного зв'язку. Природа металічного зв'язку: уявлення про металевий зв'язок з позицій теорії молекулярних орбіталей. Властивості сполук з металічним зв'язком.					
Тема 3. Симетрія твердих тіл Симетрія твердих тіл. Кристалічні і аморфні тверді тіла. Поняття просторової ґратки. Трансляційна інваріантність. Базис і кристалічна структура. Елементарна комірка. Сингонії кристалів. Комірка Вігнера - Зейтца. Решітка Браве. Позначення вузлів, напрямків і площин в кристалі. Індекси Міллера і Міллера-Браве. Обернений простір. Обернена ґратка, її властивості. Побудова оберненої ґратки. Зона Брілюєна. Застосування оберненої ґратки для опису дифракції хвиль на кристалічній решітці. Елементи симетрії кристалів: повороти, відображення, інверсія, інверсійні повороти, трансляції.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу
Тема 4. Далекий і ближній порядок. Розташування атомів в кристалах. Проста, гранецентрована і об'ємцентрована кубічні ґратки. Щільна гексагональна упаковка. Характер розподілу електронної густини в твердих кристалічних речовинах з різним типом зв'язку і фізико-хімічні властивості цих речовин. Енергетичні рівні атомів і молекул та енергетичні зони в кристалах. Структура речовини з ненаправленою взаємодією. Приклади кристалічних структур, що відповідають щільним упаковкам: проста кубічна, ОЦК, ГЦК, структура типу CsCl, типу NaCl, типу перовскіту CaTiO ₃ .	Лекція/ практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу
Тема 5. Ковалентний зв'язок	Лекція/п	згідно	опрацювання	4	згідно

<p>σ -, π - зв'язки. Гібридизація атомних орбіталей: sp-, sp^2-, sp^3- типи гібридизації. Структура типу алмазу і графіту. Властивості ковалентного зв'язку: насичуваність, спрямованість. Основні положення теорії (методу) молекулярних орбіталей. Опис молекули з позицій теорії молекулярних орбіталей. Метод лінійної комбінації атомних орбіталей в молекулярну (ЛКАО МО). Основні положення теорії валентних зв'язків і електронна структура молекул.</p>	рактична	списку літератури	лекційного матеріалу, 3/2		розкладу
<p>Тема 6. Типи рідин Рідини. Типи рідин і рідинних систем. Вода. Аномальні властивості води.</p>	Лекція/практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 2/2	4	згідно розкладу
<p>Змістовий модуль 2. Методи опису властивостей конденсованих середовищ</p>					
<p>Тема 7. Електронні властивості твердих тіл Електронні властивості твердих тіл: основні експериментальні факти. Рівняння Больцмана. Час релаксації. Дрейф вільних носіїв заряду в твердих тілах. Механізми розсіювання носіїв заряду. Електропровідність напівпровідників і металів. Час релаксації і рухливість вільних носіїв. Залежність рухливості від температури при різних механізмах розсіювання. Температурна залежність електропровідності напівпровідників і металів. Ефект Холла. Коефіцієнт Холла і його зв'язок з параметрами напівпровідників. Залежність коефіцієнта Холла від температури. Термоелектричні явища. Ефект Зеєбека. Об'ємна і контактна складові термоЕРС. Температурна залежність коефіцієнта термо-е.р.с. в напівпровідниках. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Фотопровідність, оптичне поглинання.</p>	Лекція/практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу
<p>Тема 8. Енергетичний спектр</p>	Лекція/практична	згідно списку	опрацювання лекційного	4	згідно розкладу

<p>електронів в твердих тілах Усуспільнення електронів в кристали. Енергетичний спектр електронів в твердих тілах. Рух електронів в періодичному полі кристалічної решітки, ефективна маса електронів. Характер заповнення енергетичних зон і розподіл твердих тіл на діелектрики, напівпровідники і метали. Власні напівпровідники. Поняття про дірки. Домішкові напівпровідники. Брегівські відбивання електронів при русі в кристали. Наближення сильнозв'язаних електронів. Зв'язок ширини дозволеної зони з перекриттям хвильових функцій атомів. Закон дисперсії. Тензор ефективних мас.</p>	а	літера-тури	матеріалу, 3/2		
<p>Тема 9. Носії заряду в напівпровідниках Основні наближення зонної теорії. Нерівноважні носії заряду в напівпровідниках. Швидкість генерації і швидкість рекомбінації. Час життя вільних носіїв заряду. Механізми рекомбінації. Час життя при різних механізмах рекомбінації. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв в напівпровідниках. Рівняння неперервності. Дифузійний і дрейфовий струми. Дифузія нерівноважних електронно-діркових пар у випадку біполярної генерації. Ефективний коефіцієнт дифузії. Дифузійна довжина. Дифузія у випадку монополярної генерації. Дебаївський радіус екранування. Основні наближення зонної теорії. Граничні умови Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блохівське функції. Квазіімпульс. Зони Бріллюена. Енергетичні зони. Поверхня Фермі. Густина станів Метали, діелектрики і напівпровідники.</p>	Лекція/ практичн а	згідно списку літера-тури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу

Напівметали.					
<p>Тема 10. Дефекти в твердих тілах Дефекти в твердих тілах. Точкові дефекти, їх утворення, дифузія і рівноважна концентрація. Вакансії і міжвузельні атоми. Дефекти Френкеля і Шоткі. Домішкові атоми впровадження та заміщення. Гантелі. Краудіони. Комплекси точкових дефектів. Особливості поведінки точкових дефектів в неметалевих кристалах. Власні і домішкові точкові дефекти в напівпровідникових кристалах. А-центри, Е-центри, К-центри в напівпровідниках. Стехіометричні точкові дефекти. Центри забарвлення. Екситони. Екситони Френкеля і Ваньє-Мотта. Вплив екситонів на формування F-центрів в іонних кристалах. Лінійні дефекти. Дислокації. Основні положення теорії дислокацій. Крайові та гвинтові дислокації, їх рух. Вектор Бюргерса, його властивості. Утворення і розмноження дислокацій. Джерело Франка-Ріда. Густина дислокацій. Взаємодія дислокацій з вакансіями, меж вузловими і домішковими атомами. Дислокації в іонних кристалах, їх електричні властивості. Дислокації в напівпровідникових кристалах (на прикладі решітки алмазу). 60°-ні дислокації. Об'ємні (тримірні) дефекти.</p>	Лекція	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3	3	згідно розкладу
<p>Тема 11. Коливання ґратки Коливання кристалічної ґратки. Рівняння руху атомів. Простий і складний одномірні ланцюжки атомів. Ланцюжок з домішковим атомом. Зонні розв'язки та відщеплення домішкового рівня від зони. Лінійна і нелінійна</p>	Лекція/ практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3/2	4	згідно розкладу

<p>теорії пружності. Закони збереження Ландау для диференціальних рівнянь теорії пружності та гідродинаміки. Тензори деформацій і напружень. Модулі стиснення і зсуву в монокристалі і полікристалі. Поздовжній і поперечний звук в твердих тілах. Акустичні та оптичні коливання. Квантування коливань. Фонони. Фононний гамільтоніан. Зв'язок з гамільтоніаном системи гармонічних осциляторів. Ангармонізм. Електрон-фононна взаємодія. Поляронні ефекти. Фононний і електронний поляронні ефекти в металах і полімерних ланцюжках. Полярони великого і малого радіусу. Солітони і хвилі зарядової густини. Нульові коливання кристалічної решітки.</p>					
<p>Тема 12. Теплоємність твердих тіл Теплоємність твердих тіл. Квантова теорія теплоємності кристалів. Моделі Дебая і Ейнштейна. Теплове розширення твердих тіл і його зв'язок з ангармонічного коливаннями. Вироджений Фермі-газ. Густина станів станів 3D і 2D Фермі-газу. Розподіл Фермі-Дірака. Енергія Фермі. Характерні значення температури плавлення і енергії Фермі в металах. Теорія Фермі-рідини Ландау.</p>	Лекція	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3	3	згідно розкладу
<p>Тема 13. Магнітні властивості твердих тіл Намагніченість і магнітна сприйнятливість. Діамагнетика, парамагнетика, феромагнетика і антиферомагнетика. Температура Кюрі і температура Нееля. Закони Кюрі і Кюрі-Вейса для магнітної сприйнятливості.</p>	Лекція	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 3	2	згідно розкладу

Магнони. Спектр спінових хвиль.					
Тема 14. Надпровідність і надплинність Надпровідність і надплинність. Явище надпровідності. Рідкий гелій ⁴ He. Рідкий гелій ³ He. Куперівські пари. Теорія Бардіна-Купера-Шриффера. Функції Гріна. Метод діаграм Феймана.	Лекція/практична	згідно списку літератури	опрацювання лекційного матеріалу, 2/2	2	згідно розкладу
Підсумковий контроль (екзамен)				50	
6. Система оцінювання курсу					
Загальна система оцінювання курсу	<p>Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, практичних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані аспірантами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p>Модульний контроль (сума балів за окремий змістовий модуль) проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань аспірантів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p>Семестровий (підсумковий) контроль проводиться у формі екзамену.</p> <p>Екзамен – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння аспірантом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.</p>				
Вимоги до письмової роботи	Підсумкова письмова робота виконується у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді.				
Семінарські заняття	Усні відповіді, реферат, виступ, тести, доповідь, дистанційне навчання.				
Умови допуску до підсумкового контролю	<p>Позитивні оцінки з поточного контролю знань за змістовними модулями (оцінювання роботи аспіранта під час практичних занять; поточне тестування після вивчення розділу; реферат)</p> <p>Аспірант допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Аспірант не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав менше 25 балів.</p>				
7. Політика курсу					
<p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на практичних заняттях, поточному тестуванні, самостійній роботі (реферати, презентації). При цьому обов'язково враховуються</p>					

присутність на заняттях та активність аспіранта під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Вимоги викладача. Кожен викладач ставить аспірантам систему вимог та правил поведінки аспірантів на заняттях, доводить до їх відома методичні рекомендації щодо виконання контрольних робіт, тестових завдань. Все це гарантує високу ефективність навчального процесу і є обов'язковою для аспірантів.

8. Рекомендована література

Базова

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Теоретическая физика (т. IX) Статистическая физика. Часть II Теория конденсированного состояния – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 448 с.
2. Будзуляк І.М., Яблонь Л.С., Остафійчук Б.К., Григорчак І.І., Морушко О.В., Хемій О.М. Накопичення заряду в електрохімічних системах, сформованих на основі низькорозмірних структур. Івано-Франківськ: Приватний підприємець Голіней О.М., 330 с
3. Будзуляк І.М., Мокляк В.В., Коцюбинський В.О. За редакцією Б.К. Остафійчука. Синтез, структура, фізичні та електрохімічні властивості нанодисперсних сполук заліза. // Івано-Франківськ: в-во ДВНЗ 'Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника', 2019, 420 С. ISBN 978-966-640-472-8
4. Будзуляк І.М., Рачій Б.І., Коцюбинський В.О., Яблонь Л.С., Морушко О.В. "Синтез, структура та електрохімічні властивості нанопористого вуглецевого матеріалу та композитів на його основі". За редакцією док. фіз.мат. наук, проф. Остафійчука Б.К. – Івано-Франківськ: ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", 2021. – 384с. 1. ISBN: 9789666404933

Допоміжна

1. Третьяков Ю.Д. Гомогенные солевые и гидроксидные системы как прекурсоры для получения керамических порошков / Ю.Д. Третьяков, Н.Н. Олейников, А.А. Вертегел // Журн. неорганической химии. – 1996. – Т.41, №6.
2. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме / Б.А. Мовчан // Актуальные проблемы современного материаловедения. – К.: Изд. Академперіодика, 2008. – Т.1.
3. Москаленко В.Ф. Нанонаука: стан, перспективи досліджень / В.Ф. Москаленко, Л.Г. Розенфельд, І.С. Чекман, Б.О. Мовчан // Науковий вісник Національного медичного університету імені О.О.Богомольця. – 2008. – №4.
4. Хайрутдинов Р.Ф. Химия полупроводниковых наночастиц / Р.Ф. Хайрутдинов // Успехи химии – Т.67, №2. – 1998.

Викладач _____ Будзуляк І.М.