


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан фізичного факультету

 Лазур В.ІО
«23» травня 2024 року

Робоча програма навчальної дисципліни

ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ

Освітній рівень	перший (бакалаврський)
Галузь знань	10 природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика та наноматеріали
Статус дисципліни	обов'язкова
Мова навчання	українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Фізика конденсованого стану» для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 Природничі науки спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали, 2024 р.

Розробник: доктор фізико-математичних наук, професор Небола І.І.

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Протокол № 11 від «25» квітня 2024 р. -

Завідувач кафедри прикладної фізики  Небола І.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «7» травня 2024 р.

Голова науково-методичної комісії  Рубін В.В.

ю _____, 2024 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2024 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Вступ

Однією з необхідних умов організації навчального процесу за кредитно-модульною системою є наявність робочої навчальної програми з кожної дисципліни, виконаної за модульно-рейтинговими засадами і доведеної до відома викладачів та студентів.

Рейтингова система оцінювання (PCO) є невід'ємною складовою робочої навчальної програми і передбачає визначення якості виконаної студентом усіх видів аудиторної та самостійної навчальної роботи та рівня набутих ним знань та вмінь шляхом оцінювання в балах результатів цієї роботи під час поточного, модульного та семестрового контролю, з наступним переведенням оцінки в балах у оцінки за традиційною національною шкалою та шкалою ECTS (European Credit Transfer System).

2 семестр

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів -4.5	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 135	1- й	
Кількість модулів – 2	Семестр	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студентів – 4	2- й	
	Лекції	
	34 год.	
	Практичні (семінарські)	
	32 год.	
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні	
	-	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота	
	69 год	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 30 / 60

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

- Метою дисципліни є розгляд кристалічних структур їх симетричного опису, вимог симетрій до вивчення фізичних властивостей, одночастинкових спектрів кристалів, аморфних сполук і рідин. Познакомити студентів зі структурою і фізичними властивостями як традиційних типів твердих тіл, так і відкритих в останні роки квазікристалів, полімерів, фулеренів. Установити зв'язок між властивостями індивідуальних атомів і молекул і властивостями, що виявляються при їхньому об'єднанні в регулярно упорядковані системи – кристали. Спираючись на прості фізичні моделі різних твердих тіл, установити взаємозв'язок їхньої реальної структури з фізичними властивостями і закономірностями процесів, що відбуваються в цих тілах при різних зовнішніх умовах. Дати систематичний опис закономірностей макроскопічних властивостей кристалів пов'язаних з їх точковою симетрією. Описати анізотропію електричних, пружних і магнітних властивостей, встановити число незалежних параметрів матеріальних тензорів.

3. Предмет навчальної дисципліни “Фізика конденсованих середовищ”

- включає наступні розділи: атомна структура конденсованих середовищ, електронна структура твердих тіл, квантові рідини, квазічастинки, магнітне впорядкування, надпровідність і надтекучість. Особливості твердого кристалічного стану речовини, інших агрегатних станів, структурні типи твердих тіл, їх основні теплові, електричні, механічні і магнітні властивості, а також існуючі теоретичні підходи до тлумачення і кількісного опису, властивостей і явищ, що спостерігаються у твердих тілах.

Познакомити студентів із кристалічною структурою і описом симетрії фізичних властивостей. Курс розрахований на студентів фізичних спеціальностей університету, що прослухали курс вищої математики і загальної та теоретичної фізики в обсязі, передбаченому навчальним планом для фізичних спеціальностей,

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- загальні компетенції (ЗК):

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК1);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК3);
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК5);
- здатність до проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК6);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК7);
- навички міжособистісної взаємодії (ЗК8);
- здатність працювати автономно (ЗК9);
- навички здійснення безпечної діяльності (ЗК10);
- здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні(ЗК 11);
- здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя (ЗК 12).

- фахові компетенції (ФК):

- здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів (ФК1);
- здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів (ФК 2);
- здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок (ФК4);

- здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (ФК5);
- здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах (ФК8).

3. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «Специфіка та безпека нанотехнологій» вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	ПРН3
Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.	ПРН5
Планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проектів	ПРН10
Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.	ПРН12
Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів.	ПРН13

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Специфіка та безпека нанотехнологій»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
знати основні положення законодавства України про охорону праці, структуру організації служби охорони праці на підприємствах, в установах та організаціях, заходи по створенню здорових та безпечних умов праці.	ПРН3
знати основні поняття у галузі охорони праці, їх терміни та визначення; основні законодавчі акти про охорону праці, їх загальну характеристику.	ПРН3
знати основні положення нормативно-правових актів з охорони праці; систему державного нагляду і громадського контролю за охороною праці в Україні, функції та повноваження органів нагляду і контролю.	ПРН5
знати систему державного управління охороною праці та організацію охорони праці на підприємстві, функції та повноваження органів управління; порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві.	ПРН10
знати методи аналізу та заходи щодо профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань; основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії.	ПРН12
знати основи техніки безпеки: електробезпека, загальні вимоги безпеки до	ПРН12

технологічного обладнання та процесів; загальні вимоги з охорони праці щодо конструкцій об'єктів підвищеної небезпеки і організації їх безпечної експлуатації; основи пожежної безпеки: пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, безпека об'єктів, системи попередження пожеж та системи пожежного захисту.	
знати системи державного пожежного нагляду в Україні, організацію навчання посадових осіб та працівників з питань пожежної безпеки; порядок надання першої долікарської медичної допомоги потерпілим.	ПРН13
вміти здійснювати аналіз і оцінку стану організації охорони праці на підприємстві та його відповідність вимогам законодавчих та нормативних актів з охорони праці.	ПРН3
вміти розробити й організувати систему управління охороною праці на підприємстві.	ПРН3
вміти розробити план навчання і перевірки знань з охорони праці працівників підприємства з урахуванням специфіки робіт (шкідливі, важкі, небезпечні).	ПРН5
вміти організувати розслідування нещасного випадку на підприємстві; скласти статистичні показники травматизму та професійного захворювання на підприємстві.	ПРН10
вміти організувати проведення інструктажів з охорони праці на підприємстві; оцінити стан електробезпеки на підприємстві, розробити заходи щодо недопущення електротравматизму	ПРН10
вміти визначити категорію приміщень і зон за вибуховою та пожежною безпекою	ПРН12
вміти обґрунтувати первинні засоби пожежогасіння для конкретних виробничих умов і провести інструктаж працюючих щодо їх користування цими засобами; вибрати заходи обмеження надходження шкідливих речовин у повітря робочої зони	ПРН13
вміти надати першу долікарську медичну допомогу потерпілому.	ПРН10

4. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- проміжний модульний контроль,
- підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- тестування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;

- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: екзамен. До екзамену допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Оцінювання знань студентів здійснюється на основі результатів:

- поточного контролю знань;
- проміжного модульного контролю знань ;
- підсумкового семестрового контролю знань – екзамен.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота								Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2							70	100
10	20								

T1, T2 – теми

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота								Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2							70	100
20	10								

T1, T2 – теми

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	4	20	8	20
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	-	-	-	-
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	-	-	-	-
Письмове тестування при тематичному оцінюванні	1	10	1	10
Презентація		-		

Реферат		-		
Есе		-		
...		-		
Модульна контрольна робота	2	70	2	70
Разом	7	100	11	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота здійснюється у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Специфіка та безпека нанотехнологій» здійснюється через екзамен. Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються за чотирибальною шкалою: «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли студент виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів програмовим матеріалом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли студент в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в окремих питаннях матеріалу дисципліни, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	ECTS	
	Оцінка	Характеристика

90 та вище	A	відмінно
80-89	B	добре
65-79	C	добре
55-64	D	задовільно
50-54	E	задовільно
35-49	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено екзамен, заносяться до залікової відомості.

5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Програма з курсу "Фізика конденсованого стану" для студентів фізичного факультету спеціальності 8.07.02.03 "Прикладна фізика" Ужгородського національного університету приведена у відповідність до нормативних документів МОН України щодо реалізації положень Болонської декларації в системі вищої освіти та згідно рекомендацій, затверджених наказами Міністерства освіти і науки України від 23 січня 2004 року за №48, від 20 жовтня 2004 року за № 812, від 20 січня 2005 року за № 30 від 30 грудня 2005 року за № 774.

5.1. Зміст навчальної дисципліни

Згідно з навчальним планом вивчення курсу «Фізика конденсованого стану» здійснюється студентами на 4 курсі у восьмому семестрі.

Кількість кредитів – 4.5.

Організація навчального процесу здійснюється за кредитно-модульно-рейтинговою системою відповідно до вимог Болонської декларації.

Програма дисципліни «Фізика конденсованого стану» структурована на два модулі, які містять вісім змістових модулів. Загальний обсяг 135 год., у тому числі: Лекцій – 34 год., практичні 32 год. Самостійна робота – 69 год.

Модуль 1. Умови реалізації конденсованого стану речовини, симетрія та її обмеження на фізичні властивості.

Змістові модулі:

1. Умова конденсованого стану. Атомна структура конденсованого стану.
2. Кристалічні структури їх симетрійний опис. Точкові і просторові групи симетрії.
3. Тензорний опис фізичні властивості кристалів.
4. Симетрійні обмеження на тензорні властивості кристалів.

Модуль 2. Одночастинкові спектри кристалів та їх квантовомеханічний опис.

1. Дисперсія фононого спектра.
2. Зонна структура, дисперсія електронного спектру.
3. Взаємодія онів в твердих тілах.
4. Квантові і колективні явища.

5.2. Структура навчальної дисципліни

Опис структурованого навчального плану з дисципліни "Фізика конденсованого стану" для студентів фізичного факультету спеціальності 8.070203. "Прикладна фізика"

Структура навчальної дисципліни "Коливання і хвилі"	Кількість годин, із них				Кількість балів	Рік навчання, семестр	Вид контролю
	Усього годин/ кредити	Аудиторних	Практичні	СРС			
			Л	Пр		100	
Модуль 1 Змістових модулів 4 1. Умова конденсованого стану. Атомна структура конденсованого стану. 2. Кристалічні структури їх симетрійний опис. Точкові і просторові групи симетрії. 3. Тензорний опис фізичні властивості кристалів. 4. Симетрійні обмеження на тензорні властивості кристалів.	75/2.5	18	16	41	50	4-й, 8	Підсумковий контроль Письмові завдання Практичні навички
		2		7	5		
		6	6	8	10		
		6	6	8	15		
		4	4	10	10		
Модуль 2. Змістових модулів 4: 5 .Дисперсія фононого спектра. 6 Зонна структура дисперсія електроного спектру. 7 Взаємодія онів в твердих тілах. 8 Квантові і колективні явища.	60/2	16	16	28	50	3-й, 6	Підсумковий контроль Письмові завдання Практичні навички
		4	8	6	10		
		6	4	8	20		
		4	4	8	10		
		4		6	10		
Підсумковий контроль засвоєння модулів							

Примітка: 1 кредит ECTS – 30 годин; аудиторне навантаження – 40 %, СРС – 60 %.

Л – лекції; – самостійна робота студента;

Програма побудована за модульним принципом. Кожний з модулів є логічно завершеною частиною системи знань та умінь, що визначені як необхідні для формування фахівця в галузі прикладної фізики.

Видами навчальних занять згідно з навчальним планом є: а) лекції; б) практичні заняття; в) самостійна робота студентів; г) консультації.

Теми лекційного курсу розкривають основні питання відповідних розділів курсу.

По даному курсу застосовуються такі види перевірки рівня підготовки студентів:

- тестові завдання;
- контрольні роботи.

Підсумковий контроль засвоєння модулів здійснюється по їх завершенню на підсумкових контрольних заняттях. Оцінка успішності студента з курсу «Фізика конденсованого стану» є рейтинговою і виставляється за 100 – бальною шкалою з урахуванням оцінок засвоєння окремих модулів.:

5.3. Тематичний план лекцій.

Модуль 1. Умови реалізації конденсованого стану речовини, симетрія та її обмеження на фізичні властивості.

Змістові модулі:

Модуль 1. Умова конденсованого стану. Атомна структура конденсованих середовищ

Лекція 1. Атомна структура конденсованого стану. Кристалічні й аморфні тіла. Ближній і далекий порядок. Рідкі кристали, стекла, металеві стекла. Квазікристали.

Модуль 2. Кристалічні структури їх симетрійний опис. Точкові і просторові групи симетрії.

Лекція 3. Дифракція хвиль у кристалах. Закон Вульфа–Брегга. Обернена ґратки. Зони Бриллюена.

Лекція 4. Трансляційна симетрія кристалів. Елементарна комірка, комірка Вігнера–Зейдца. Ґратки Браве і ґратки з базисом. Точкові і просторові групи кристалів. Просторові групи алмазу і сфалериту та напівпровідників типу A_3B_5 і A_2B_6 .

Модуль 3 Тензорний опис фізичні властивості кристалів.

Лекція 5. Фізичні явища в кристалах. Принцип Неймана.

Лекція 6. Фізичні властивості кристалів, що описуються тензорами першого, другого, третього і четвертого рангу.

Модуль 4.Симетрійні обмеження на тензорні властивості кристалів.

Лекція 7. Симетрія поляризації і діелектричних властивостей.

Лекція 8. Симетрія властивостей, що описуються тензором третього рангу.

Лекція 9. Обмеження симетрії, що накладаються на фізичні властивості, що описуються тензорами четвертого рангу.

Модуль 2. Одночастинкові спектри кристалів та їх квантовомеханічний опис.

Змістові модулі

Модуль 5.Дисперсія фононного спектра.

Лекція 10. Коливання ґраток. Фонони акустичні й оптичні. Фононна теплоємність.

Лекція 11. Дисперсія трьох мірного одноатомного і двох атомного кристалу. Поздовжні і поперечні фононні вітки.

Модуль 6. Зонна структура, дисперсія електронного спектру.

Лекція 12. Теорема Блоха. Електронні стани в кристалах. Наближення слабого зв'язку. Динаміка блохівського електрона. Умови Борна–Кармана.

Лекція 13. Зонна структура і класифікація твердих тел. Діелектрики, напівпровідники, метали.

Лекція 14. Ковалентні кристали. Напівпровідники типу A_3B_5 і A_2B_6 . Структура алмаза і сфалериту. Іонні кристали Густина станів електронів у металі з довільним законом дисперсії.

Модуль 7. Взаємодія онів в твердих тілах.

Лекція 15. Елементи квантової статистичної фізики. Розподіли Бозе і Фермі. Вироджений і не вироджений електронний газ, енергія Фермі. Опис стану кристала в термінах газу квазічастинок.

Лекція 16. Електрони і дірки у напівпровідниках. Хімпотенціал Домішкові рівні в напівпровідниках. Взаємодія квазічастинок край поглинання, комбінаційне розсіювання та інші ефекти. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Таммові стани.

Модуль 8. Квантові колективні явища

Лекція 17. Квантові колективні явища — надтекучість, надпровідність, феромагнетизм. Обмінна взаємодія і магнітне упорядкування. Дипольна взаємодія спинів. Доменні структури феромагнетиків. Магнітні матеріали та їх застосування.

5.4. Навчально-тематичний план лекцій.

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин	
		лекції	Самостійна робота
1	Атомна структура конденсованого стану. Кристалічні й аморфні тіла. Близній і далекий порядок. Рідкі кристали, стекла, металеві стекла. Квазікристали.	2	2
2	Дифракція хвиль у кристалах. Закон Вульфа–Брегга. Обернена ґратки. Зони Бриллюена.	2	2
3	Точкові і просторові групи кристалів.	2	6
4	Фізичні явища в кристалах. Принцип Неймана. Граничні групи симетрії.	2	4
5	Симетрія тензорів. Внутрішня і зовнішня симетрія. Кристалографічна и кристалофізична системи координат. Польові и матеріальні тензори.	2	4
6	Фізичні властивості кристалів, що описуються тензорами першого, другого, третього і четвертого рангу	2	6
7	Симетрія поляризації і діелектричних властивостей.	2	3
8	Симетрія властивостей, що описуються тензором третього рангу.	2	4
9	Обмеження симетрії, що накладаються на фізичні властивості, що описуються тензорами четвертого рангу.	2	3
Модуль 2.			
10	Коливання ґраток. Фонони акустичні й оптичні. Фононна теплоємність.	2	4
11	Дисперсія трьох мірного одоатомного і двох атомного кристалу. Поздовжні і поперечні фононні вітки.	2	4
12	Теорема Блоха. Електронні стани в кристалах. Наближення слабого зв'язку. Динаміка блохівського електрона. Умови	2	4

	Борна–Кармана.		
13	Зонна структура і класифікація твердих тел. Діелектрики, напівпровідники, метали.	2	4
14	Ковалентні кристали. Напівпровідники типу A_3B_5 і A_2B_6 . Структура алмаза і сфалериту. Іонні кристали. Густина станів електронів у металі з довільним законом дисперсії.	2	4
15	Елементи квантової статистичної фізики. Розподіли Бозе і Фермі. Вироджений і не вироджений електронний газ, енергія Фермі. Опис стану кристала в термінах газу квазічастинок.	2	4
16	Електрони і дірки у напівпровідниках. Хімпотенціал Домішкові рівні в напівпровідниках. Взаємодія квазічастинок край поглинання, комбінаційне розсіювання та інші ефекти. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Таммові стани.	2	4
17	Квантові колективні явища — надтекучість, надпровідність, феромагнетизм. Обмінна взаємодія і магнітне упорядкування.	2	3
	ВСЬОГО	34	69

11. Перелік питань, які виносяться на підсумковий контроль (екзамен).

1. Умова виникнення конденсованого стану. Природа сил взаємодії між атомами в кристалах
2. Атомна структура конденсованого стану. Агрегатні стани конденсованих фаз. Структурні особливості твердого стану, типи структур, змішані структури (газо- і рідкокристалічні стани), типи зв'язків у твердих тілах.
3. Кристалічні й аморфні тіла
4. Рідкі кристали, стекла, металеві стекла. Квазікристали.
5. Класифікація зв'язків, спільні характеристики типів зв'язку. Енергія зв'язку іонного кристала, енергія Маделунга. Електронегативність і ступінь іонності зв'язку. Іонний радіус. Фізична природа ковалентного зв'язку. Спрямованість і насиченість ковалентного зв'язку.
6. Іонний зв'язок. Металевий зв'язок і його основні властивості. Фізична природа сил притягання і відштовхування.
7. Молекулярний зв'язок. Походження й універсальність сил Ван-дер-Ваальса, оцінка енергії зв'язку і її залежностей від міжмолекулярної відстані. Особливості водневого зв'язку.
8. Основи кристалографії Ближній і далекий порядок.. Геометрія кристалічних ґрат. Елементарна і примітивна комірки. Кристалографічні площини і напрямки в ґратах. Індеси Міллера, їх зв'язок з рівнянням площини. Дифракція хвиль у кристалах. Закон Вульфа–Брегга.
9. Кристалічні структури їх симетричний опис.
10. Обернена ґратки. Зони Бриллюена Загальні властивості обернених ґраток
11. Трансляційна симетрія кристалів. Елементарна комірка, комірка Вігнера–Зейдца. ґратки Браве і ґратки з базисом
12. Перетворення симетрії. Точкові і просторові групи симетрії. Сингонії.
13. Кристалічні класи. Категорії. Граничні групи. Просторові групи алмазу і сфалериту та напівпровідників типу A_3B_5 і A_2B_6 .. Кристалічна структура алмаза і сфалериту. Напівпровідники типу A_3B_5 і A_2B_6 .
14. Фізичні явища в кристалах. Принцип Неймана
15. Симетрія тензорів, Внутрішня і зовнішня симетрія. Матриці ортогональних перетворень елементів симетрії точкових і просторових груп.
16. Польові і матеріальні тензори. Симетрія вектора і тензора другого рангу. Характеристична поверхня.

17. Визначення числа незалежних параметрів тензора за допомогою теорії груп.
18. Основне рівняння електростатики анізотропних кристалів. Діелектрична поляризація. Симетрія тензора діелектричної проникливості.
19. Піроелектрика. Симетрія піроелектричного ефекту. Сегнетоелектрики.
20. Електропровідність. Узагальнений закон Ома. Симетрія тензора електропровідності.
21. Тензор деформації. Теплове розширення. Тензор механічних напруг.
22. Теплове розширення. Симетрія матеріального тензора другого рангу.
23. П'єзоелектричний ефект. Прямий і зворотній п'єзоелектричний ефект. Симетрія п'єзоелектричного ефекту в різних кристалічних класах.
24. Симетрія тензора третього рангу. Матричний вигляд матеріальних тензорів п'єзоефекту.
25. Узагальнений закон Гука. Симетрія пружних властивостей.
26. Вид дружніх тензорів с різних сингоніях і кристалографічних класах. Матричний вид тензора четвертого рангу.
27. Теплові властивості твердих тіл Коливання лінійного ланцюжка атомів одного сорту, рівняння коливачь, закон дисперсії, функція густини станів спектра нормальних коливачь.
28. Коливання лінійного ланцюжка атомів, що складається з атомів двох сортів. Закон дисперсії, акустична й оптична гілки коливачь.
29. Дисперсія фононного спектра трьохмірного кристалу. Поперечні і поздовжні вітки коливачь.
30. Класична модель теплосмності твердих тел. Середня енергія теплових коливачь гармонійного осцилятора. Закон Дюлонга і Пті. Ейнштейнівська модель теплосмності твердих тел. Квантування енергії осцилятора.
31. Основи зонної теорії твердого тіла. Рівняння Шредінгера для кристалу. Гамільтоніан кристалу. Адіабатичне наближення. Ядерне рівняння. Метод самоузгодженого поля Хартрі – Фока.
32. Одноелектронне наближення, Зонне рівняння. Теорема Блоха. Властивості квазіхвильового вектора. Граничні умови Борна-Кармана.
33. Зонний характер електронного спектра в кристалі. Класифікація твердих тіл по зонному спектру. Властивості блохівських функцій і енергій. Вплив симетрії кристалу на класифікацію електронних станів.
34. Зонний спектр амазоподібних напівпровідників. Методи розрахунку зонного спектру. Тензор оберненої ефективної маси. Вплив симетрії Густина електронних станів.
35. Динаміка електронів електричному полі. Поняття дірки у валентні зони і її параметри. Рух електрона в постійному електричному полі.
36. Напівпровідники Власна провідність напівпровідників. Поняття про дірки. Концентрація і рухливості носіїв струму і температурна залежність провідності.
37. Домішкова провідність напівпровідників. Екситони. Модель Френкеля сильно зв'язаного екситону. Модель слабо зв'язаного екситону (Мота-Ваньє),
38. Квантування енергії вільних електронів. Розподіл Фермі-Дірака. Енергія Фермі. Функція густини станів.
39. Електрони і дірки у напівпровідниках. Хімпотенціал. Домішкові рівні в напівпровідниках.
40. Взаємодія квазічастинок край поглинання, комбінаційне розсіювання та інші ефекти. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Таммові стани.
41. Парамагнетизм і діамагнетизм електронного газу і квантової теорії вільних електронів. Механізми розсіювання електронів при проходженні електричного струму.
42. Явище надпровідності. Феноменологічні теорії низькотемпературної надпровідності (рівняння Лондонів. Теорія Гінзбурга –Ландау,). Ефект Мейснера. Руйнування надпровідності магнітним полем.
43. Квантування магнітного потоків в надпровідниках.
44. Термодинаміка надпровідного стану. Мікроскопічна теорія надпровідності. Куперівські пари. Природа сил притягання між електронами в куперівські парі.
45. Магнітні властивості твердих тіл Класифікація речовин за магнітними властивостями. Елементарні носії магнетизму.
46. Природа діамагнетизму і величина магнітної сприйнятливості. Формула Ланжевена. Природа парамагнетизму. Магнітний момент атома. Орієнтаційний парамагнетизм локалізованих магнітних моментів.
47. Закон Кюри і Кюри-Вейса. Магнітні властивості ферромагнетиків. Феноменологічна теорія Вейса. Природа ферромагнетизму.

48. Внутрішньо молекулярне поле й обмінна взаємодія. Модель Гейзенберга. Поняття про спінові хвилі, магнони. Антиферомагнетизм. Феромагнетизм.

5.3. Теми практичних (семінарських) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Класифікація зв'язків, спільні характеристики типів зв'язку. Енергія зв'язку іонного кристала, енергія Маделунга. Електронегативність і ступінь іонності зв'язку. Іонний радіус. Фізична природа ковалентного зв'язку. Спрямованість і насиченість ковалентного зв'язку.	2	
2	Перетворення симетрії. Точкові і просторові групи симетрії. Сингонії.		
3.	Кристалічні класи. Категорії. Граничні групи. Просторові групи алмазу і сфалериту та напівпровідників типу A_3B_5 і A_2B_6 . Кристалічна структура алмаза і сфалериту. Напівпровідники типу A_3B_5 і A_2B_6 .	2	
4.	Польові і матеріальні тензори. Симетрія вектора і тензора другого рангу. Характеристична поверхня.	2	
5.	Піроелектрика. Симетрія піроелектричного ефекту. Сегнетоелектрики. Електропровідність. Узагальнений закон Ома. Симетрія тензора електропровідності.	2	
6.	Тензор деформації. Теплове розширення. Тензор механічних напруг. Теплове розширення. Симетрія матеріального тензора другого рангу	2	
7	Узагальнений закон Гука. Симетрія пружних властивостей. Вид дружніх тензорів с різних сингоніях і кристалографічних класах. Матричний вид тензора четвертого рангу..	2	
8	Визначення числа незалежних параметрів тензора за допомогою теорії груп	2	
9	Теплові властивості твердих тіл Коливання лінійного ланцюжка атомів одного сорту, рівняння коливань, закон дисперсії, функція густини станів спектра нормальних коливань. .	2	
10	Коливання лінійного ланцюжка атомів, що складається з атомів двох сортів. Закон дисперсії, акустична й оптична гілки коливань. Дисперсія фононного спектра трьохмірного кристалу. Поперечні і поздовжні вітки коливань.	2	
11	Основи зонної теорії твердого тіла. Рівняння Шредінгера для кристалу. Гамільтоніан кристалу. Адіабатичне наближення. Ядерне рівняння. Метод самоузгодженого поля Хартрі – Фока.	2	
12	Властивості блохівських функцій і енергій. Вплив симетрії кристалу на класифікацію електронних станів. Зонний спектр амазоподібних напівпровідників. Методи розрахунку зонного спектру. Тензор оберненої ефективної маси. Вплив симетрії Густина електронних станів.	2	
13	Динаміка електронів електричному полі. Поняття дірки у валентні зони і її параметри. Рух електрона в постійному електричному полі.	2	

14	Напівпровідники Власна провідність напівпровідників. Поняття про дірки. Концентрація і рухливість носіїв струму і температурна залежність провідності	2	
15	Взаємодія квазічастинок край поглинання, комбінаційне розсіювання та інші ефекти. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Таммові стани.	2	
16	Парамагнетизм і діамагнетизм електронного газу і квантової теорії вільних електронів. Механізми розсіювання електронів при проходженні електричного струму. Явище надпровідності. Феноменологічні теорії низькотемпературної надпровідності (рівняння Лондонів. Теорія Гінзбурга –Ландау,). Ефект Мейснера. Руйнування надпровідності магнітним полем.	2	
Разом		32	-

6. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ,

Технічні засоби: Мультимедійний проєктор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

7. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Ю..В.Попик «Фізика напівпровідників», Ужгород Тов. «Іва», 2018, - 820с.і..
2. Анатолій Свідзинський «Математичні методи теоретичної фізики», Луцьк, «Вежа», 2001, - 564с.
3. А.М.Косевич «Физическая механика реальных кристаллов», Киев, «Наукова думка», 1981, - 328с.
4. І.В.Венгер, Є.Ф. Венгер, Л.Ю.Мельничук, О.В.Мельничук «Задачі з загальної фізики», Київ, «Академперіодика», 2018, - 748с
5. Smith C.S. Macroscopic symmetry and properties of crystals. Solid State Physics.- Vol. 6, New York, 1985, p175.
6. С.О. Колінько., Т.І. Бутенко, Ващенко В.А.]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 175 с.
7. В.Ю. Ольшанецький, Ю.І. Кононенко. Конспект лекцій з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів», Запоріжжя: ЗДТУ, 2015. – 86с
8. В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра. «Основи фізичного матеріалознавства»: навч. посіб. / – Суми: СумДУ, 2015. – 466 с.
9. Бойко Ю.І. Фізика конденсованого стану в задачах і вправах: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / Ю.І. Бойко, В.В. Богданов. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – 188 с.
10. Дурягіна З.А. Структурно-енергетичний стан внутрішніх та зовнішніх меж поділу у металевих системах (монографія) / З.А. Дурягіна, В.Ю. Ольшанецький, Ю.І. Кононенко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 456 с.
11. Материаловедение, <http://www.materialscience.ru>.
12. Материаловедение и ТКМ <http://www.twirpx.com/files/machinery/material/>.
13. Прокопів В. В. Фізика і технологія тонких плівок : навчальний посібник. У 2-х т. – Т. 1. Технологія тонких плівок / Володимир Васильович Прокопів. – Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2010. – 96 с.

14. Прокопів В. В. Фізика і технологія тонких плівок : навчальний посібник. У 2-х т. Т. 2. Фізика тонких плівок / Володимир Васильович Прокопів. – Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2010. – 84 с.
15. Фізичні основи електронної техніки: підручник / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лук'янець, З.М. Микитюк, І.В. За ред. Готри З.Ю. Львів: Бескид Біт, 2004. – 880 с.
16. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки : курс лекцій : [навчальний посібник] / [Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра та ін. ; за заг. ред. Д. М. Фреїка]. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с.
17. Фреїк Д.М., В.В. Прокопів, М.О. Галушак та ін. Кристалохімія і термодинаміка атомних дефектів у сполуках AIVB VI. Івано-Франківськ: Плай, 2000. – 164 с