

**ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ім. Б.І. ВЕРКІНА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора
ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України



М.І. Блушук

« 16 » 05 2020 р.

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Актуальні проблеми фізики конденсованого стану

(назва навчальної дисципліни)

з галузі знань «10 Природничі науки»
за спеціальністю «104 Фізика та астрономія».

<i>Рівень вищої освіти</i>	<u>третій (освітньо-науковий)</u>
<i>Освітня програма</i>	<u>доктор філософії</u>
<i>Форма навчання</i>	<u>денна</u>
<i>Загальний обсяг у кредитах</i>	
<i>Європейської</i>	
<i>кредитної трансферно-</i>	
<i>накопичувальної системи:</i>	<u>2 кредити ЄКТС</u>

Харків - 2020

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

Фізико–технічним інститутом низьких температур ім. Б. І. Веркіна
Національної академії наук України
(повне найменування вищого навчального закладу)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Долбин Олександр Вітольдович - доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Кривчіков Олександр Іванович - доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу теплових властивостей і структури твердих тіл та наносистем Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України.

Програма затверджена Вченою радою Фізико–технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, «___» _____ 2020 р., протокол № ___.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 2	Галузі знань: - «10 Природничі науки»	Обов'язковий
Загальна кількість годин – 60 (20 аудиторних)	Спеціальність: - «104 Фізика та астрономія»	
Тижневих годин для денної форми навчання аудиторних – 2 самостійної роботи здобувача – 8	Освітньо-науковий рівень: доктор філософії	<i>Лекції, годин</i>
		16
		<i>Семінари, годин</i>
		4
		<i>Самостійна робота, годин</i>
		40
		<i>Вид контролю</i>
залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс “ Актуальні проблеми фізики конденсованого стану ” відноситься до дисциплін, що підсумовують основні профілюючі курси базової фізичної освіти, яку отримали аспіранти під час навчання у вищих навчальних закладах. У ньому містяться розділи, присвячені найголовнішим питанням фізики конденсованого стану. Розглядаються: квантові рідини, тверді тіла, а також ефекти, які спостерігаються в цих речовинах. Причому класичні знання поєднуються з викладом найновіших теоретичних та експериментальних даних, опублікованих у періодичних наукових виданнях та монографіях. Для успішного засвоєння даного курсу необхідними є знання з курсів загальної фізики, термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики неупорядкованих систем, фізики кластерів та наносистем, а також статистичної фізики та кристалографії, що дасть змогу поєднати теоретичні та експериментальні дані та побачити перспективи подальших наукових досліджень у цій галузі.

Мета: формування у майбутнього доктора філософії системи знань з фізики конденсованого стану і розуміння закономірностей утворення структури та її взаємозв'язку з фізичними властивостями. Це передбачає виклад основних розділів фізики конденсованого стану, з яких можна отримати решту навчального матеріалу. Головна увага звертається на розуміння ролі міжчастинкової взаємодії при формуванні конденсованих систем.

Завдання:

- навчити аспірантів характеризувати різні явища та процеси, що відбуваються в конденсованих речовинах та знаходити взаємозв'язок між атомною і електронною структурою з одного боку та фізичними властивостями з іншого;

- дати інформацію про найактуальніші напрямки досліджень і розробок в області фізики конденсованого стану, а також познайомитися з актуальними проблемами та об'єктами сучасної фізики;
- навчити аспірантів застосовувати базові знання в галузі фізики конденсованого стану до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен:

знати:

1. термінологію в галузі фізики конденсованого стану;
2. основні явища, що відбуваються у рідинах різного типу (молекулярних та квантових рідинах, зріджених інертних газах);
3. теоретичні методи опису структури та властивостей конденсованих речовин і квантових рідин та їх термодинамічні характеристики;
4. явища та процеси, які протікають у твердих кристалічних та аморфних речовинах та роль електронної структури і фононних коливань в цих явищах;
5. моделі фазових переходів та інших перетворень у конденсованих системах;
6. методикку вибору потенціалу міжчастинкової взаємодії для розрахунку структури та термодинамічних характеристик конденсованих речовин.

вміти:

1. застосовувати фундаментальні знання з фізики конденсованого стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах та рідинах;
2. проводити розрахунки властивостей рідин та твердих розчинів на основі сучасних теоретичних методів з використанням потенціалів міжчастинкової взаємодії;
3. застосовувати методи комп'ютерного моделювання для оцінки фізичних характеристик конденсованих речовин;
4. обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з фізики конденсованого стану;
5. використовувати довідкову і навчальну літературу в галузі фізики конденсованого стану, знаходити інші необхідні джерела інформації і працювати з ними;
6. пояснювати основні фізичні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі **програмні результати навчання** (згідно з освітньо-науковою програмою «ФІЗИКА»):

знання:

- 1) здобуття поглиблених знань і розумінь в фізиці та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів та/або теоретичних наукових досліджень (ПРН-1.1);
- 2) здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації (ПРН-1.2);
- 3) здатність ясно та ефективно описувати результати наукової роботи (ПРН-1.3);
- 4) здатність робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, он-лайн ресурси (ПРН-1.5);
- 5) здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі індивідуальних досліджень (ПРН-1.6);

уміння:

- 1) здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел (ПРН-2.1);
- 2) самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати (ПРН-2.2);
- 3) обирати методи і моделювати явища та процеси різної складності при вирішенні фізичних задач з урахуванням спеціалізації в конкретних галузях фізики конденсованого стану (ПРН-2.3);
- 4) поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціалізації з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів (ПРН-2.4);

5) застосовувати знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації (ПРН-2.5);

6) застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання науково-дослідних завдань з обраної спеціалізації та проведення досліджень (ПРН-2.7);

7) аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення (ПРН-2.8);

Здобути комунікативні навички та набути навичок працювати автономно і відповідально:

1) здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення (ПРН-4.1);

2) здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань (ПРН-4.2);

3) здатність відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики (ПРН-4.3);

4) здатність самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень (ПРН-4.4);

5) здатність демонструвати розуміння засад охорони праці, електробезпеки та їх застосування (ПРН-4.5).

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у аспірантів загальних та фахових **компетентностей**:

ЗК-1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК-2 Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;

ЗК-5 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації;

ЗК-7 Здатність працювати в міжнародному контексті та автономно;

ЗК-12 Здатність до наукового мислення, зокрема володіння загальнонауковими (філософськими) компетентностями, спрямованими на формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.

ЗК-13 Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, а також академічної доброчесності, характерних для учасників академічного середовища.

ФК-1 Концептуальні та методологічні знання щодо історії розвитку та сучасного стану наукових досліджень з основних напрямів фізики.

ФК-2 Поглиблені спеціалізовані знання з того напрямку сучасної фізики, який був обраний для проведення власного наукового дослідження, та розуміння сучасних фізичних теорій і методів, спроможність до їхнього аналізу та ефективного застосування в практиці наукової та науково-педагогічної діяльності і проведенні досліджень.

ФК-3 Знання і розуміння основ методології планування і організації наукових досліджень у галузі фізики.

ФК-4 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у фізиці і дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики та суміжних галузей.

ФК-7 Здатність до формулювання наукових задач та планування стратегій їхнього розв'язання з можливістю інтеграції знань з різних наукових сфер та застосуванням системного підходу в практичній діяльності.

ФК-8 Знання міжнародних вимог до підготовки наукових публікацій та методології написання статей і вибору наукових журналів, в яких доцільно публікувати результати наукових досліджень.

ФК-9 Здатність представляти та обговорювати результати своєї наукової роботи іноземною мовою в усній та в письмовій формі, а також повне розуміння іншомовних наукових текстів із фізики.

ФК-10 Здатність підготувати та успішно захистити дисертаційну роботу на основі узагальнення власних експериментальних або теоретичних досліджень з фізики.

ФК-11 Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід та враховувати комплексні аспекти при розв'язанні проблемних завдань та проведенні наукових досліджень.

ФК-12 Знати та вміти застосовувати фундаментальні знання з фізики конденсованого стану для аналізу явищ та процесів, які відбуваються в твердих тілах і рідинах, знати основні закономірності

утворення структури твердих тіл та взаємозв'язок структури з фізичними властивостями твердих тіл, вмiти використовувати основні принципи сучасної фізики конденсованого стану до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

ФК-13 Знати основи чисельного моделювання, обчислювальних методів, підходів і систем та вмiти їх застосовувати в наукових експериментах, при моделюванні фізичних процесів, розрахунках та обробці даних. Вмiти обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи знання з математики і теоретичної фізики, використовувати пакети чисельної обробки експериментальних даних, пакети фізичного та математичного моделювання.

ФК-14 Знати основні поняття теорії електронних і фононних спектрів твердих тіл і експериментальних методів їх дослідження, положення квантової теорії і статистичної фізики кристалічних систем та вмiти проводити аналіз різноманітних властивостей твердих тіл на основі електронних та фононних спектрів кристалів.

ФК-15 Знати сучасні підходи, моделі та методи теоретичного дослідження конденсованих середовищ (в першу чергу – в твердих тіл) і явищ, пов'язаних зі складною структурою цих середовищ. Вмiти вирішувати конкретні задачі теоретичної і експериментальної фізики з використанням сучасних підходів, моделей та методів теоретичного дослідження.

ФК-16 Знати основні ефекти і закони як класичної низькотемпературної, так і високотемпературної надпровідності, методи дослідження надпровідників і надпровідних структур та вмiти застосовувати їх практично у науці, техніці і промисловості.

ФК-17 Знати сучасний стан фізики магнітних явищ, зокрема при низьких температурах, сучасні методи експериментального дослідження магнітних систем, теоретичного опису квантових явищ фізики магнетизму та проблеми і перспективи розвитку фізики низькотемпературного магнетизму, основи побудови магнітних систем і експериментального устаткування; наукові принципи створення функціональних магнітних матеріалів та їх практичного застосування. Вмiти аналітично описати властивості основних класів магнетиків а також експериментально визначити належність речовини до певного магнітного класу

ФК-18 Знати основні напрями досліджень і розробок в області низьких температур, сучасні методи отримання низьких і наднизьких температур, а також методи експериментального дослідження і аналізу властивостей низькотемпературних систем і явищ, термодинамічні основи охолодження та зрідження реальних газів, фізичні властивості криогенних рідин та особливості роботи з ними, властивості речовин при низьких температурах та основні методи їх дослідження, методи та елементи низькотемпературної термометрії. Вмiти обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з фізики низьких температур.

ФК-19 Знати сучасний стан фізики мезо- та наноскопічних систем і наноструктур, сучасні методи їх отримання і експериментального дослідження, а також проблеми і перспективи розвитку фізики наноструктур і нанотехнологій, вмiти обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи міждисциплінарні знання з нанотехнологій і наноматеріалів

ФК-20 Знати молекулярну будову речовини та природу фізичних процесів на молекулярному рівні, зокрема, на рівні окремих молекул, сучасні актуальні напрями фундаментальних досліджень в області молекулярної фізики, молекулярної біофізики, нанофізики та нанобіофізики. Знати та вмiти використовувати сучасні методи дослідження структури, маси, енергії та інших характеристик ізольованих молекул і їх міжмолекулярних взаємодій при самостійному виконанні конкретних науково-дослідницьких робіт.

Передумови для вивчення навчальної дисципліни

Для вивчення даної дисципліни необхідні знання з вищої математики, загальної фізики, термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики кластерних і наноструктурних систем, хімії, статистичної фізики та квантової механіки

У програмі використовуються результати наукових досліджень з найактуальніших досягнень у різних напрямках фізики конденсованого стану, включаючи: фазові переходи, поверхневі явища, критичні явища, надпровідність, магнетизм, електронні процеси.

Лекційний курс передбачає використання комп'ютерного демонстраційного експерименту,

технічних засобів навчання, комп'ютерних проекторів.

Постреквізити

Основні положення навчальної дисципліни повинні допомогти аспірантам поєднати сучасні теоретичні та експериментальні методики та концепції, побачити перспективи подальших наукових досліджень у галузі фізики конденсованого стану.

3. Анотація навчальної дисципліни

Курс “ Актуальні проблеми фізики конденсованого стану ” відноситься до дисциплін, що підсумовують основні профільюючі курси базової фізичної освіти, яку отримали аспіранти під час навчання у вищих навчальних закладах. У ньому містяться розділи, присвячені найголовнішим питанням фізики конденсованого стану. Розглядаються: квантові рідини, тверді тіла, а також ефекти, які спостерігаються в цих речовинах. Причому класичні знання поєднуються з викладом найновіших теоретичних та експериментальних даних, опублікованих у періодичних наукових виданнях та монографіях. Для успішного засвоєння даного курсу необхідними є знання з курсів загальної фізики, термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики неупорядкованих систем, фізики кластерів та наносистем, а також статистичної фізики та кристалографії, що дасть змогу поєднати теоретичні та експериментальні дані та побачити перспективи подальших наукових досліджень у цій галузі.

4. Структура навчальної дисципліни

Тема 1. Теплові властивості кристалів і аморфних твердих тіл

- Вступна частина. Короткий виклад тематики курсу. Деякі важливі експериментальні факти і фізичні ідеї для теплофізики молекулярних твердих тіл. Поняття про теплоємності. Закон де- Лонга і Пті. Експериментальні факти для простих і складних кристалів, аморфних твердих тіл і розупорядкованих кристалів.

Тема 2. Класичні та нові моделі опису теплових властивостей конденсованих речовин.

Модель Дебая. Теорія динаміки кристалічної решітки. Роль трансляційної симетрії. Поняття про колективні коливання (фонони). Закон дисперсії. Щільність енергетичних станів. • Модель Шредінгера для щільності станів кристала. Ізоенергетичні поверхні відкритого і закритого типу. Сингулярності ван-Хова. Особливості температурної залежності теплоємності атомарного кристала. Дисперсійний максимум в наведеній теплоємності. Експериментальні факти для кріокристалів.

Тема 3. Молекулярні і складні кристали та їх властивості

- Кристали зі складною структурою. Оптичні фонони. Модель Ейнштейна. Закон дисперсії. Теплоємність. Експериментальні дані для простих молекулярних кристалів. Теплоємність аморфних тіл і glassy-crystals. Низькотемпературні аномалії. Бозон максимум. Теоретичний опис. Порівняльний аналіз між кристалічними і аморфними тілами. Low and ultra low thermal conductivity complex crystal.

Тема 4. Нові підходи до опису теплопровідності

- Теплопровідність молекулярний кристалів. Процеси фонон-фононного розсіювання. Закон Ейкена і його порушення. Складні молекулярні кристали. Термоелектричні матеріали і ін. Функціональні матеріали. Ефект тунелювання. Сучасна точка зору.

Тема 5. Теплові властивості аморфних речовин

Теплопровідність аморфних речовин і її універсальна поведінка. Вплив тиску, опромінення, пористості і ін. Склоподібна поведінка теплопровідності кристалів різних типів. Теоретичний опис теплопровідності аморфних речовин. Модель дворівневих станів. Модель м'яких потенціалів. Модель Олена-Фельдмана. Мінімальна теплопровідність. Сучасний опис теплопровідності і теплоємності в рамках взаємодії акустичних і оптичних збуджень твердого тіла. Гібридизація. Універсальна поведінка. Основні особливості та закономірності. Висновки і перспективи в контексті досліджень теплових властивостей нових речовин.

Тема 6. Особливості теплового розширення і сорбційних властивостей наноструктур і систем зі зниженою розмірністю

Природа теплового розширення твердих тіл. Особливості будови наноструктур та їх вплив на теплове розширення. Квантові та вимірні ефекти у тепловому розширенні та сорбційних властивостях наноструктур. Теплове розширення аерогелів.

Тема 7. Квантові рідини та квантові кристали – нові системи та підходи до вивчення.

Статистична природа квантових рідин. Бозе та Фермі рідини. Квантовий опис

конденсованих середовищ. Дворідинна модель квантових рідин. Термомеханічний та механокалоричний ефекти. Поняття квантової турбулентності. Твердий гелій як квантовий кристал. Інтенсивність нульових коливань та параметр Де-Бура. Основи квантової теорії А. Андреева та І.Лифшиця.

Загальна структура навчальної дисципліни

№	Назва теми	у тому числі			
		Усього	Лекцій, годин	Семинар, годин.	Самостійна робота, годин
1.	Теплові властивості кристалів і аморфних твердих тіл	8	2	-	6
2.	Класичні та нові моделі опису теплових властивостей конденсованих речовин	10	2	2	6
3.	Молекулярні і складні кристали та їх властивості	8	2	-	6
4.	Нові підходи до опису теплопровідності	8	2	2	6
5.	Теплові властивості аморфних речовин	10	4	-	6
6.	Особливості теплового розширення і сорбційних властивостей наноструктур і систем зі зниженою розмірністю	8	2	-	6
7.	Квантові рідини та квантові кристали – нові системи та підходи до вивчення	6	2		4
	Усього, годин	60	16	4	40

Теми лекційних занять

№	Назва лекції	Кількість годин
1.	Теплові властивості кристалів і аморфних твердих тіл	2
2.	Класичні та нові моделі опису теплових властивостей конденсованих речовин	2
3.	Молекулярні і складні кристали та їх властивості	2
4.	Нові підходи до опису теплопровідності	2
5.	Теплові властивості аморфних речовин	4
6.	Особливості теплового розширення і сорбційних властивостей наноструктур і систем зі зниженою розмірністю	2
7.	Квантові рідини та квантові кристали – нові системи та підходи до вивчення	2
	Разом	16

Теми семінарських занять

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Взаємозв'язок між силами міжчастинкової взаємодії та структурою конденсованих систем. Потенціали парної взаємодії та розрахунок на їх основі фізичних властивостей.	2
2.	Опис теплопровідності з точки зору квантової механіки. Внесок	2

	квазічасток і квазі-хвиль в теплопровідність.	
	Разом	4

Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Основні закономірності теплопереносу у твердих тілах. Граткова та електронна теплопровідність. Механізми теплопередачі в металах і твердих тілах. Роль фононів у процесах передачі теплоти.	6
2.	Структурні фазові переходи. Міжфазні границі в багатокомпонентних системах	6
3.	Критичні явища і конфігураційна теплоємність	6
4.	Феноменологічна теорія Ландау для фазових переходів	6
5.	Роль фононів у структурних фазових переходах	6
6.	Теплове розширення твердих тіл і рідин. Ангармонізм атомних коливань. Від'ємний коефіцієнт термічного розширення.	6
7.	Атомна динаміка у твердих тілах і рідинах. Колективні явища. Фонони та ротони у квантових рідинах	4
		40

5. Методи навчання

МН1 – Лекції. Лекційний матеріал охоплює центральні та найбільш складні проблеми сучасної фізики конденсованого стану. Простіші питання, що добре висвітлені в літературі, виносяться на самостійне вивчення.

МН2 – Семінарські заняття. Семінарські заняття передбачають самостійне вивчення аспірантами за завданням викладача окремих питань і тем лекційного курсу з наочним оформленням матеріалу у вигляді реферату, доповіді, повідомлення тощо. Семінарські заняття дають змогу викладачам ближче познайомитися з аспірантами, донести до них необхідну інформацію, а відтак перевірити, як вони засвоїли її, як користуються нею в навчальній і науковій роботі. Викладач має змогу враховувати теоретичну і практичну підготовку аспіранта, його індивідуальні особливості і здібності, що зумовлює підвищення рівня підготовки кожного аспіранта.

МН4 – Самостійна робота. Робота здобувачів носить в основному самостійний характер. Вони самостійно роблять пошук наукової літератури і опрацьовують її, консультуючись з викладачем. Таким чином вони удосконалюють набуті раніше навички роботи з літературою за фахом. Основна увага приділяється формуванню та засвоєнню базових знань в галузі сучасної фізики конденсованого стану та вмінню застосовувати їх до виконання конкретних науково-дослідних робіт зі спеціальності.

МН3, МН5 – демонстрація презентацій, використання засобів мультимедіа, дистанційні заняття з використанням комп'ютерних засобів.

6. Методи діагностики знань

ФОРМИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ (ФО)

ФО1 – відвідування лекцій та творчий підхід в процесі наукового пошуку (20 балів);

ФО2 – самостійна робота, опрацювання літератури та електронних джерел за темою дослідження (20 балів);

ФО4 – відповідь на семінарі та використання сучасних інформаційних технологій при підготовці відповіді (20 балів);

ФО5 – робота в команді при виконанні завдань самостійної роботи та на семінарі (5 балів);

ФО6, ФО8, ФО9, ФО10 – підготовка та оформлення реферату та презентації, використання у доповіді прикладів реальних фізичних об'єктів, що пов'язані з дисертаційним дослідженням (20 балів).

Екзамен (15 балів)

Всього: 100 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
80-89	добре	
70-79		
60-69	задовільно	
50-59		
1-49	незадовільно	не зараховано

7 Критерії оцінювання результатів навчання

Кількість балів	Критерії оцінювання
90-100	У відповіді повністю розкрито зміст питання. Матеріал викладено логічно, аргументовано, мова є грамотною, науковий стиль викладення матеріалу, вільне володіння термінологічним апаратом дисципліни. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що входить до навчальної програми, та продемонстровано високі практичні навички.
75-89	Відповідь досить повно розкриває зміст питання або розкриває основні (найважливіші) аспекти у запитанні, слухач володіє термінологічним апаратом дисципліни. У викладеному матеріалі слухач має помилки із аргументацією відповіді, недостатня логічність та послідовність викладення матеріалу. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, та середній рівень володіння практичним матеріалом.
60-74	Відповідь на контрольне питання є неповною, розкриває тільки деякі аспекти навчального матеріалу. Слухач припускається помилок у використанні термінології навчальної дисципліни. Рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, додатковим та практичним матеріалом є середнім.
35-59	У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.
1-34	Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією

8. Навчально-методичне забезпечення

На початку семестру здобувачі отримують:

1. Робочу програму, що містить перелік тем, список рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів, критерії та шкалу оцінювання; контрольні запитання до іспиту;
2. Пакет літератури, що містить основні підручники, навчальні та методичні посібники в електронній формі (формати .pdf та .djvu),

9. Питання до заліку/екзамену

1. Назвіть ступені свободи молекул, які утворюють кристал.
2. Опишіть характер низькотемпературної залежності теплоємності. За яким законом її можливо описати?
3. Назвіть особливості низькотемпературного коливального спектру твердих тіл.
4. Яка фізична природа максимуму C / T^3 твердих тіл? Чи є вона однаковою як для кристалів, так і для аморфних твердих тіл або склоподібних речовин?
5. Які збудження визначають низькотемпературну теплоємність кристала?
6. Який взаємозв'язок існує між температурою максимуму C / T^3 та першою особливістю ван Хоува?
7. Вкажіть особливості теплових властивостей молекулярних твердих тіл.
8. Які фактори впливають на теплопровідність молекулярного кристалу?
9. Назвіть основні ознаки склоподібної поведінки теплопровідності кристалів різних типів.
10. Сформулюйте основні принципи сучасного опису теплопровідності і теплоємності в рамках взаємодії акустичних і оптичних збуджень твердого тіла.
11. Опишіть основні принципи побудови моделей теплопровідності аморфних речовин.
12. Сформулюйте можливі причини від'ємного коефіцієнту термічного розширення.
13. Які принципи побудови систем зі зниженою розмірністю?
14. Охарактеризуйте температурну залежність фононного і ротонного вкладів в теплоємність квантових рідин.

10. Рекомендована література

1. Quasiparticles: Ideas and principles of solid state quantum physics Paperback – 1979
Kittel Quantum theory of solids, 1967
2. Kosevich A.M. The crystal lattice (2ed., Wiley, 2005)
3. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику, М, Наука, 1988, 328 с.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике, Квантовая механика, ч.8-9, М, Мир, 1978, 526 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, ч.1, М, Наука, 1995, 608 с.
6. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах, М, Мир, 1971, 470 с.
7. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978, 792 с.
8. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А., Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2007 г., 632 с.
9. Нокс Р., Голд А., Симметрия в твердом теле, М.: Наука, 1970 г., 424 с.
10. С.Лавси, Т.Шрингер. Динамические свойства твердых тел и жидкостей. Мир. Москва. 1990, 487с.
11. Н.Марч, М.Паринелло. Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях. Москва, Мир. 1986, 319с.
12. А.Брус, Р.Каули. Структурные фазовые переходы. Москва, Мир, 1984, 408с.

Интернет-ресурси

[Condensed Matter Physics \(icmp.lviv.ua\) http://www.icmp.lviv.ua/journal/](http://www.icmp.lviv.ua)

[Condensed-matter physics - Latest research and news | Nature https://www.nature.com/subjects/condensed-matter-physics](https://www.nature.com/subjects/condensed-matter-physics)

<http://www.nanoforum.org> — Європейський нанотехнологічний портал

<http://www.nanovip.com> — Міжнародний каталог, який присвячений бізнесу в сфері нанотехнологій

<http://www.nsti.org> — Інститут нано науки і технологій NSTI

<http://www.nanowerk.com> — Інформаційний портал Nanowerk

<http://www.nsf.gov> — National Science Foundation (NSF) — національний науковий фонд США

http://www1.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/10_4546_03.aspx – видавництво «Світ» МОН і НАН України.