



ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна) / дистанційна / змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	6 кредити ECTS, 54 годин лекцій, 27 годин практичних занять
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен / Модульна контрольна робота
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф-м.н., проф., Зауличний Ярослав Васильович, <i>mail:</i> zaulychnyu@ukr.net Практичні заняття: д.ф-м.н., проф., Зауличний Ярослав Васильович
Розміщення курсу	В розділі методичне забезпечення дисципліни в системі Campus

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Цей курс є фундаментальною основою для вивчення цілого ряду дисциплін професійної та практичної підготовки матеріалознавців та споріднених спеціалістів. Тобто в процесі вивчення дисципліни «Фізика конденсованого стану» студенти набудуть ґрунтовне розуміння процесів формування фізичних та механічних властивостей матеріалів у конденсованому стані.

Метою навчальної дисципліни є: забезпечення досконалості знань та розуміння теоретичних основ фізики твердого тіла, його будови, ролі дефектів та їх використання для вирішення задач прикладного матеріалознавства; поведінки при здійсненні структурного аналізу, дослідженні фізичних, механічних властивостей матеріалів та обробленні і інтерпретації результатів цих випробувань.

Предмет навчальної дисципліни - основні поняття про механізми конденсації, кристалізації, рух і взаємодію електронів з іонами в кристалічній ґратці з трансляційною симетрією та в матеріалах з ближнім порядком, фізичну природу властивостей матеріалів та їх відмінностей в рідкому і твердому станах.

Засвоєння навчального матеріалу повинно дозволити розвивати програмні, загальні та фахові компетентності, зокрема:

Програмні компетентності:

Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та проблеми, пов'язані з розробкою, застосуванням, виробництвом та випробуванням металевих,

неметалевих та композиційних матеріалів та виробів на їх основі, у професійній діяльності та у процесі навчання, що передбачає застосування фізики, хімії до механічної інженерії яка характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Фахові (спеціальні) компетентності (КС)

- КС 7. Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати і уміти:

- ПРН 10 Уміти поєднувати теорію і практику для розв'язування завдань матеріалознавств
- ПРН 12 Знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі мати певну обізнаність в їх останніх досягненнях
- ПРН 13. Розуміти будову металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обрати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивченню цієї дисципліни повинно передувати глибоке засвоєння матеріалу «фізики», особливо розділів «Молекулярна фізика», «Атомна фізика» та «Природа і типи хімічних зв'язків» «Вищої математики», «Загальної хімії», «кристалографія, кристалохімія та мінералогія», «Фізична хімія», «Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів», «термодинаміка конденсованого стану».

Знання, отримані при вивченні курсу, є необхідні для вивчення курсів, «кристалохімія тугоплавких матеріалів», «основи металознавство», «механічні властивості матеріалів», «матеріалознавство тугоплавких матеріалів», «методи структурного аналізу матеріалів», і для розуміння фізико-хімічних процесів, що протікають в матеріалах, які вивчаються в профільюючих курсах «Матеріалознавство», «Наноструктурні матеріали», «магнітні електротехнічні порошкові матеріали», тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна – «Фізика конденсованого стану» містить один змістовний модуль: «Фізика конденсованого стану» і складається з 9-ти розділів.

Розділ 1. Основи термодинаміки конденсованого стану.

Вступ. Закони термодинаміки і статистичний зміст функцій стану. Рівняння стану.

Термодинамічні параметри, потенціали та їх основні співвідношення.

Термодинамічні та фізичні умови конденсації рідин, аморфізації та кристалізації твердих тіл.

Розділ 2. Вступ до фізики рідин.

Теорія парних потенціалів та класифікація речовин в рідкому стані за типами сил міжатомної взаємодії.

Статистична теорія будови рідини. Функція радіального розподілу атомів і молекул в рідинах. Внутрішня енергія та рівняння стану рідин.

Атомно-структурні моделі будови рідин і їх властивості. Міжмолекулярна взаємодія і явища на межі рідини з іншими тілами (середовищами).

Розділ 3. Періодичність структур і властивостей.

Періодичність властивостей трансляційно-симетричних структур і фізичний зміст оберненої ґратки

Інваріантність рівняння Шрьодінгера відносно трансляцій в кристалічній ґратці. Теорема Блоха.

Зведення k -станів до зони Бриллюена. Циклічні граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок k -станів.

Розділ 4. Взаємодія електронів з атомами кристалічної ґратки. Енергетичний спектр електронів.

Дифракція електронів на атомах ґратки ідеального кристалу.

Енергетична дисперсія квазівільних електронів поблизу брегівських площин відбивання.

Метод сильного зв'язку для розрахунку зонної структури локалізованих електронів.

Розділ 5. Статичні властивості твердих тіл.

Класифікація твердих тіл за структурою зон і типами хімічних зв'язків.

Енергія зв'язку в кристалах.

Правило Юм-Розері та модель жорстких зон.

Статистика Фермі для електронів в твердих тілах та носіїв заряду в напівпровідниках.

Енергетичний розподіл та щільність k -станів.

Розділ 6. Коливання ґратки.

Динаміка тривимірної ґратки. Тензор силових напружень. Система лінійних рівнянь для визначення власних значень зміщень та частот.

Визначення залежності частот від хвильового вектора для o одно- та двоатомних лінійних ґраток.

Питома теплоємність, Модель і температура Дебая.

Розділ 7. Кінетичні властивості твердих тіл.

Стаціонарний стан рухомих частинок. Кінетичне рівняння Больцмана.

Електропровідність та перенос енергії за наявності градієнта температур.

Термоелектричні властивості та вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах.

Ефект Холла.

Розділ 8. Магнетизм матеріалів.

Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Правила Хунда.

Парамагнетизм. Закон Кюрі.

Магнітна структура і взаємодія електронів. Упорядкування магнітних моментів і закон Кюрі-Вейса. Феромагнетизм і обмінна взаємодія.

Антиферо- і ферімагнетизм. Доменна структура магнітних матеріалів.

Розділ 9. Надпровідність.

Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар.

Основний стан надпровідника. Енергетична щілина і спектр елементарних збуджень та незгасаючі струми в надпровідниках.

Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти в надпровідниках. Надпровідники I і II роду

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Говорун Т.П. Фізика конденсованого стану матеріалів / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзієвський, Л.В. Носонова. навч. посіб. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство, Ч. 3. Провідники та магнетики. / Ю. М. Поплавко, С. О. Воронов, Ю. І. Якименко.. Навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 372 с.
3. Подопрігора Н.В. М.І. Садовий, О.М. Трифонова. Фізика твердого тіла / Н.В. Подопрігора, М.І. Садовий, О.М. Трифонова: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів, – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.

Додаткова література:

1. Марч Н. Движение атомов жидкости / Н. Марч, М. Тоси. – М.: «Металлургия», 1980. - 296 с.

2. Egelstaff P.A. *An Introduction to the liquid state* / Egelstaff P.A. – Published in United States by Oxford University Press Inc., New York, 1992. – 385 p.
3. Еланский Г.Н. *Строение и свойства металлических расплавов* / Г.Н. Еланский.– М.:«Металлургия», 1991 .- 160 с.
4. Кикоин А. К. *Молекулярная фізика* / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин . – М.: «Наука», 1976. - 480 с.
5. Займан Дж.. *Принципы теории твердого тела* / Дж. Займан. – М.: «Мир», 1966. - 416 с.
6. Киттель Ч. *Введение в физику твердого тела* / Ч. Киттель. – М.: «Физматгиз», 1962. - 490 с.
7. Лахтин Ю.М. *Материаловедение* / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: «Машиностроение, 1972. – 511 с.
8. Шмидт В.В. *Введение в физику сверхпроводников.Изд.2-е испр. и доп.* / В.В. Шмидт. - М.: МЦНМ, 2000. - 402 с.
9. Ансельм А.Н. *Основы статистической физики и термодинамики* / А.Н. Ансельм. – М.: "Наука", 1973. – 423 с.
10. Ландау Л.Д. *Статистическая физика, часть 1* / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: «Наука», 1976. - 503с.
11. Боков В.А. *Физика магнетиков* / В.А. Боков, «Невский диалект », – Санкт-Петербург, 2002.- 272 с.
12. Пискунов Н.С. *Дифференциальное и интегральное исчисления т.т 1 и 2* / Н.С. Пискунов. –М.: «Наука», 1978. –т.1, 551 с., т.2, 575 с.
13. Матвеев А.Н. *Квантовая механика и строение атома* / А.Н Матвеев. – М.:«Высшая школа», 1965.-356 с.
14. Акширофт Н. *Физика твердого тела, т.1, т.2* / Н. Акширофт, Н. Мермин. –М.: «Мир», 1979. - т.1 - 399 с.,т. 2 - 422 с.
15. Анималу А. *Кантовая теория кристаллических твердых тел* / А. Анималу. - М.: «Мир», 1981. – 571 с.
16. Киттель Ч. *Квантовая теория твердых тел* / Ч. Киттель –М.:«Физматгиз», 1967.-491 с.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, які є в наявності в бібліотеці КПІ і більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи практичних робіт. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зміст лекційних занять

Лекція 1. Вступ. I і II закони термодинаміки. Необхідні і достатні умови для функцій стану. Рівняння стану. Фізичний та статистичний зміст ентропії і внутрішньої енергії.

Лекція 2. Термодинамічні параметри: температура, тиск, об'єм та потенціали (теплова функція, вільні енергії Гельмгольца та Гіббса) і їх основні співвідношення.

Лекція 3. Класифікація речовин в рідкому стані на основі типів сил міжатомної взаємодії. Теорія парних потенціалів. взаємодії, між електронейтральними, дипольними, молекулами в асоційованих рідинах, та рідких металах.

Лекція 4. Статистична теорія будови рідини. Функція радіального розподілу атомів і молекул в рідинах. Теорема віріала та внутрішня енергія і рівняння стану рідин.

Лекція 5. Періодичність властивостей кристалів і походження координат векторів оберненої ґратки. Фізичний зміст орієнтацій та модулів цих векторів. Еквівалентність координат векторів оберненої ґратки та індексів Міллера.

Лекція 6. Інваріантність рівняння Шрьодінгера відносно трансляцій в кристалічній ґратці. Теорема Блоха. k -простір і належність до нього векторів оберненої ґратки. Фізичний зміст k -векторів і квазіімпульси.

Лекція 7. Зведення k -станів до зони Бриллюена. Циклічні граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок k -станів.

Лекція 8. Матричний елемент імовірності переходу електронів із станів k в k' при їх взаємодії з періодичним потенціалом. Дифракція електронів на атомах ґратки та їх рух в ідеальному кристалі.

Лекція 9. Розв'язок рівняння Шрьодінгера методом розкладання хвильових функцій квазівільних електронів по векторах оберненої ґратки у вигляді системи рівнянь для визначення коефіцієнтів розкладу та власних значень енергії $\mathcal{E}(k)$.

Лекція 10. Ви значення енергетичної дисперсії $\mathcal{E}(k)$ та хвильових функцій електронів поблизу Бреґівських площин відбивання $k=1/2G$ і енергетична щільність.

Лекція 11. Визначення енергетичної дисперсії $\mathcal{E}(k)$ та хвильових функцій локалізованих електронів методом сильного зв'язку.

Лекція 12. Енергія зв'язку в іонних, іонно-ковалентних та металічних кристалах.

Лекція 13. Правило Юм-Розері та модель жорстких зон.

Лекція 14. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах носіїв заряду в напівпровідниках. Енергетичний розподіл та щільність k -станів. Електронна теплоємність.

Лекція 15. Динамічна теорія і рівняння руху ґратки. Силовий тензор та система рівнянь для визначення компонент атомних зміщень і частот коливань.

Лекція 16. Хвильовий вектор коливань ґратки. Спектри акустичних і оптичних віток коливань одномірних одноатомних та двоатомних ланцюжків.

Лекція 17. Фонони. Питома теплоємність. Модель Дебая. Закон Дюлонга і Пті та низько-температурний кубічний закон теплоємності (T^3).

Лекція 18. Зміна функції розподілу частинок при їх стаціонарному русі. Кінетичне рівняння Больцмана.

Лекція 19. Електропровідність. Кінетичні коефіцієнти та теплопровідність. Закон Відемана – Фрапнца.

Лекція 20. Термоелектричні властивості та вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах. Ефект Холла.

Лекція 21. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Правила Хунда.

Лекція 22. Парамагнетизм. Закон Кюрі. Спіновий парамагнетизм.

Лекція 23. Упорядкування магнітних моментів. Теорія молекулярного поля і закон Кюрі-Вейса. Феромагнетизм і обмінна взаємодія.

Лекція 24. Антиферо- і ферімагнетизм. Доменна структура магнітних матеріалів.

Лекція 25. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар.

Лекція 26. Основний стан надпровідника. Енергетична щільність і спектр елементарних збуджень та незгасаючі струми в надпровідниках.

Лекція 27. Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти в надпровідниках. Надпровідники I і II роду.

Тематика практичних занять

Тривалість кожного практичного заняття 2 години.

- Практична 1. Знаходження мінімуму потенціалів парної взаємодії для інертних рідин і рідких металів та визначення в них функції радіального розподілу атомів за інтенсивністю розсіяних рентгенівських променів

- Практична 2. Знаходження внутрішньої енергії і отримання рівняння стану рідин на основі функцій розподілу і парного потенціалу взаємодії молекул.

- Практична 3. Визначення трійки базисних векторів, побудова оберненої ґратки та знаходження індексів Міллера, відповідних векторам оберненої ґратки в ОЦК, ГЦК і ГК кристалічних структурах.
- Практична 4. Отримання системи рівнянь для визначення власних значень енергій квазівільних електронів та побудова їх енергетичної дисперсії в зведеній зоні Бриллюєна.
- Практична 5. Отримання системи рівнянь для визначення власних значень енергій локалізованих електронів методом сильного зв'язку.
- Практична 6. Енергія зв'язку в іонних, іонно-ковалентних та металічних кристалах. Правило Юм-Розері
- Практична 7. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах та носіїв заряду в напівпровідниках. Енергетичний розподіл та щільність k -станів. Електронна теплоємність.
- Практична 8. Спектри акустичних і оптичних віток коливань одномірних одно- та двоатомних ланцюжків. Фонони. Питома теплоємність. Модель Дебая. Закон Дюлонга і Пті та низько-температурний кубічний закон теплоємності (ТЗ).
- Практична 9. Визначення електропровідності, довжина вільного пробігу електрона та часу релаксації в твердих тілах на основі кінетичного рівняння.
- Практична 10. Визначення параметрів діа- та парамагнітних властивостей твердих тіл. Закон Кюрі.
- Практична 11. Молекулярне поле Вейса, обмінна взаємодія феро-, антиферо- та фері магнетизм. Доменна структура областей намагніченості.
- Практична 12. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар. Довжина когерентності. Енергетична щільність і спектр елементарних збуджень та незгасаючі струми в надпровідниках.
- Практична 13. Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти Джозефсона в надпровідниках. Надпровідники I і II роду.
- Практична 14. Модульна контрольна робота

Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 98 годин) з дисципліни полягає в самостійному опрацюванні матеріалу за темами:

- «Атомно-структурні моделі будови рідин і їх властивості – 4 години;
- «Міжмолекулярна взаємодія і явища на межі рідини з іншими тілами (середовищами)» - 4 години;
- «Класифікація твердих тіл за структурою зон і типами хімічних зв'язків» - 3 години;
- «Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти в надпровідниках -6 годин;
- «Надпровідники I і II роду» -7 годин;
- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем та аналізу взаємного зв'язку між властивостями матеріалів– 10 годин;
- підготовці до виконання практичних робіт – 26 години;
- підготовці до модульної контрольної роботи – 8 годин;
- підготовці до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Опрацювання матеріалу по всіх темах лекційних та практичних занять є обов'язковою.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання для виконання завдань або пошуку додаткової інформації.

- Результати виконаних практичних робіт оформлюються у вигляді звітів, написаних рід руки. Звіт супроводжується формулами, графіками – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної форми навчання звіт може виконуватися як «від руки», так і в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання методик оптимального вибору для розв’язання реальних завдань. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг з дисципліни (РД) враховує роботу студента протягом семестру та рівень знань і навичок, виявлених ним на екзамені.

Рейтинг з дисципліни формується як сума балів, нарахованих студенту за:

- результатами виконання завдань на практичних заняттях,
- виконання модульної контрольної роботи (МКР),
- виконання завдань отриманих на екзамені.

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_C) та балів отриманих на екзамені (r_I):

$$RD = r_C + r_I.$$

r_C – стартовий рейтинг, r_I – екзаменаційний рейтинг.

Стартовий рейтинг є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань під час **поточного контролю**, а саме

$$r_C = \sum_k r_{II} + r_M$$

r_{II} – бал отриманий на практичних заняттях, r_M – бал отриманий на модульній контрольній роботі. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент під час поточного контролю складає 50 балів.

Максимальна кількість балів отримана на практичних заняттях складає:

$$\sum r_{II} = 3 \text{ бали} \times 13 \text{ занятть} = 39 \text{ балів}$$

Критерії оцінювання результатів роботи на практичних заняттях таблиці 1.

Табл. 1. Критерії оцінювання та кількість балів за роботу на практичних заняттях.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	3
неповна відповідь (добре)	2,5
неповна відповідь (задовільно)	2
незадовільна відповідь	1 і менше.

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за МКР складає 11 балів. Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 2.

Табл. 2. Критерії оцінювання та кількість балів по МКР.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	9-11
неповна відповідь (добре)	6-8
неповна відповідь (задовільно)	3-5
незадовільна відповідь	менше 3

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог syllabusу. Для успішного проходження першої семестрової атестації рейтинговий бал студента за роботу на практичних заняттях має становити не нижче 15 балів, для другої – 30 балів разом з оцінкою за модульну контрольну роботу.

Семестровий контроль – екзамен r_1 , студент отримує в результаті складання екзамену у письмовій, усній або змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 3.

Табл. 3. Критерії оцінювання та кількість балів на іспиті.

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	45-50
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	44-35
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	25-34
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	15-24
студент демонструє задовільні засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	10-14
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	1-9

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Сумарний рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою, таблиці оцінки знань за якою представлена на таблиці 4.

За умови карантину екзамен проводиться у дистанційному режимі на платформі **meet.google**, а за відсутності карантину він відбувається в призначених аудиторіях. При цьому:

- студентам видаються білети, в яких наведено 3 питання із списку Додатку А.
- протягом однієї години студенти письмово надають відповіді на поставлені питання і по закінченню відведеного на підготовку часу студенти здають свої роботи.
- кожен студент пояснює викладені ним відповіді для з'ясування розуміння предмету.
- при виникненні недостатнього розуміння або при бажанні студента підняти бал оцінки студенту задаються додаткові питання, які фіксуються на письмовій відповіді.

В дистанційному режимі:

- викладач виставляє по черзі презентацію довільно названих студентами білетів, з яких вони роблять скріншоти і готуються.

- після закінчення відведеного на підготовку студентам часу, вони висилають файли фотокопій своїх відповідей на мою електронну пошту

- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

Табл. 4. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Оцінка	Кількість балів
<i>Відмінно</i>	100-95
<i>Дуже добре</i>	94-85
<i>Добре</i>	84-75
<i>Задовільно</i>	74-65
<i>Достатньо</i>	64-60
<i>Незадовільно</i>	Менше 60
<i>Не допущено</i>	<i>Не виконані умови допуску</i>

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Додаток А.

Перелік питань до іспиту з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»

1. Предмет фізики конденсованого стану. I і II закони термодинаміки.
2. Фізичний та статистичний зміст ентропії і внутрішньої енергії.
3. Вільні енергії Гельмгольца та Гіббса.
4. Класифікація речовин в рідкому стані на основі типів сил міжатомної взаємодії.
5. Теорія парних потенціалів. взаємодії, між електронейтральними молекулами.
6. Парний потенціал Ленарда-Джонса.
7. Парний потенціал Марча в рідких металлах.
8. Статистична теорія будови рідини.
9. Функція радіального розподілу атомів і молекул в рідинах.
10. Вивести формулу внутрішньої енергії рідин.
11. Фізична суть віріала, довести теорему віріала і показати, що вона визначає.
12. Грунтуючись на теоремі віріала вивести рівняння стану рідин.
13. Упорядкування атомів і молекул в симетричні ґратки
14. Типи твердих тіл і трансляційна симетрія кристалів. Вектор трансляції.
15. Елементарна і примітивна комірки в кристалах.
16. Рівняння Шрьодінгера для кристалів. Фізична суть хвильового вектора і його зв'язок з імпульсом та енергією електронів.
17. Періодичність властивостей кристалів і походження координат векторів оберненої ґратки внаслідок розкладання цих функцій в ряд Фур'є.
18. Визначте скалярний добуток векторів трансляції та оберненої ґратки.
19. Визначте найменші вектори оберненої ґратки, вкажіть базис оберненої ґратки і запишіть в цьому базисі довільний вектор оберненої ґратки.
20. Визначте базисні вектори b_1, b_2, b_3 через вектори прямої ґратки a_1, a_2, a_3 .
21. З'ясуйте, що визначають орієнтації векторів оберненої ґратки.
22. З'ясуйте, що визначають абсолютні величини векторів оберненої ґратки.
23. Покажіть зв'язок векторів оберненої ґратки з індексами Міллера.
24. Інваріантність рівняння Шрьодінгера відносно трансляцій в кристалічній ґратці. Теорема Блоха.
25. k -простір і належність до нього векторів оберненої ґратки. Фізичний зміст k -векторів і квазіімпульси.
26. Зведення k -станів до зони Бріллюена.
27. Циклічні граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок k -станів.

28. Визначте об'єм елементарної комірки оберненої ґратки та кількість k -векторів яка припадає на одиницю цього об'єму.
29. Визначте умову дифракції електронів на атомах ґратки з матричного елемента імовірності переходу електронів із станів k в k' при їх взаємодії з періодичним потенціалом.
30. Отримайте рівняння Брегга і з'ясуйте напрями дифракції електронів при різних співвідношеннях модулів $|k|$ та $|g|$ та характер їх руху в кристалі.
31. Отримайте систему рівнянь для визначення залежності від k власних значень енергії $\mathcal{E}(k)$ та $ak-g$ - коефіцієнтів розкладання власних хвильових функцій квазівідьних електронів.
32. Знайти розв'язок системи рівнянь для визначення залежності від k власних значень енергії $\mathcal{E}(k)$ та $ak-g$ - коефіцієнтів розкладання власних хвильових функцій квазівідьних електронів для лінійної оберненої ґратки $G=g+g'$, коли $G=0+g'$ і $G=g+0$.
33. Провести аналіз залежності $\mathcal{E}(k)$ при k близькому до 0 та при $k=(1/2)G$.
34. Визначити $a(1/2)G-g$ - коефіцієнти розкладання власних хвильових функцій квазівідьних електронів знайти їх аналітичний вигляд.
35. Умови застосування методу сильного зв'язку.
36. Визначення енергетичної дисперсії $\mathcal{E}(k)$ та хвильових функцій локалізованих електронів методом сильного зв'язку.
37. Структурно-зонна класифікація твердих тіл.
38. Кристали з ковалентними зв'язками.
39. Ковалентно-іонні тверді тіла.
40. Іонно-ковалентні та іонні сполуки.
41. Енергія зв'язку в іонних та іонно-ковалентних кристалах. Стала Маделунга.
42. Енергія зв'язку в металах.
43. Правило Юм-Розері та модель жорстких зон.
44. Енергетичний розподіл та щільність k -станів.
45. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах
46. Статистика носіїв заряду в напівпровідниках.
47. Електронна теплоємність.
48. Динамічна теорія і рівняння руху ґратки. Хвильовий вектор коливань ґратки.
49. Силовий тензор та система рівнянь для визначення компонент атомних зміщень і частот коливань.
50. Спектри акустичних віток коливань одномірних одноатомних ланцюжків.
51. Спектри акустичних і оптичних віток коливань одномірних двоатомних ланцюжків.
52. Фонони. Питома теплоємність.
53. Модель Дебая. Закон Дюлонга і Пті та низько-температурний кубічний закон теплоємності (T^3).
54. Зміна функції розподілу частинок при їх стаціонарному русі.
55. Кінетичне рівняння Больцмана.
56. Електропровідність.
57. Зміщення поверхні та розподілу Фермі під дією напруженості електричного поля.
58. Перенос енергії при наявності температурного градієнта. Кінетичні коефіцієнти.
59. Теплопровідність. Закон Відемана – Фрапнца.
60. Термоелектричні властивості кристалів.
61. Вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах.
62. Ефект Холла.

63. Отримайте співвідношення між магнітним та механічним моментами орбітального руху електрона.
64. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Вектор індукції магнітного поля перпендикулярний до площини орбіти електрона.
65. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Прецесійний ларморівський рух електронів в магнітному полі.
66. Заповнення електронних рівнів атомів. Правила Хунда.
67. Парамагнітна сприйнятливість.
68. Спіновий парамагнетизм Паулі.
69. Парамагнетизм матеріалів, щомістять іони з частково заповненою оболонкою. Закон Кюрі.
70. Упорядкування магнітних моментів. Теорія молекулярного поля і закон Кюрі-Вейса. Феромагнетизм.
71. Електронно-структурна природа феромагнетизму. Обмінна взаємодія.
72. Ферімагнетизм і антиферомагнетизм.
73. Доменна структура магнітних матеріалів.
74. Надпровідність. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів.
75. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар в надпровідному стані.
76. Основний стан надпровідника.
77. Енергетична щілина і спектр елементарних збуджень в надпровіднику.
78. Незгасаючі струми в надпровідниках.
79. Квантування магнітного потоку в надпровідниках.
80. Тунельні ефекти в надпровідниках.
81. Надпровідники I і II роду.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.ф-м.н., професор, Зауличний Ярослав Васильович

Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № 1 від 2021р.)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол № __ від _____)