



Фізика конденсованого стану

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 2 семестр (весняний)</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів/150 годин: лекції – 6 год; практичні заняття – 4 год; СРС – 140 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР</i>
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua/
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: PhD, асистент Наконечний Сергій Олегович, s.nakonechniy@kpi.ua Практичні заняття: PhD, асистент Наконечний Сергій Олегович</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom</i>

2. 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 ґрунтового розуміння процесів формування і природи фізичних, фізико-хімічних та механічних властивостей матеріалів у конденсованому стані.

***Метою** навчальної дисципліни є: забезпечення досконалості знань та розуміння теоретичних основ фізики рідин і твердих тіл, міжатомної взаємодії, їх структурної 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 обирати 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 «загальної фізики», особливо розділів «Молекулярна фізика», що включають теми: закон Больцмана і функція розподілу, кінетична теорія теплоти і закон збереження енергії, перехід речовин в твердий стан, фазові переходи I і II роду, теплові властивості твердих тіл. З «Атомної фізики» необхідні розуміння корпускулярно-хвильового дуалізму де-Бройля фізичної суті квадрату модуля хвильової функції та рівняння Шрьодінгера, а також «Природу і типи хімічних зв'язків» із «Загальної хімії». Для розуміння походження кількісних параметрів фізичних властивостей та їх аналітичних співвідношень потрібно уміти оперувати диференціальним і інтегральним численням та розв'язувати диференціальні рівняння з «Вищої математики». Успішне засвоєння основ фізики конденсованого стану потребує знань про сім сингоній і 14 ґраток Браве з курсу «кристалографія, кристалохімія та мінералогія», а також про «Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів».

Знання, отримані при вивченні курсу, є необхідні для вивчення курсів, «кристалохімія тугоплавких матеріалів», «основи металознавства», «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» та під час розробки і синтезу нових матеріалів, тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Організація навчання

Розділ 1. 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 2. Взаємодія електронів з атомами кристалічної ґратки. Енергетичний спектр електронів.

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 3. 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 4. 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 о одно- та двоатомних лінійних ґраток. Питома теплоємність, Модель і температура Дебая.

Розділ 5. 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 6. 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 7. Надпровідність.

Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар. Основний стан надпровідника. Енергетична щільність 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.

Базові:

1. Зауличний Я.В. *Фізика конденсованого стану для матеріалознавців : підручник* / Я.В. Зауличний, Ю.В. Яворський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. Вид-во "Політехніка", 2021. – 488 с.
2. Говорун Т.П. *Фізика конденсованого стану матеріалів: навч. посіб.* / Т.П. Говорун, В.О. Пчелінцев, В.М. Радзівський, Л.В. Носонова. - Суми: СумДУ, 2015. - 236 с.
3. Поплавко Ю. М. *Фізичне матеріалознавство : навчальний посібник в 3 ч.* / Ю. М. Поплавко, С. О. Воронов, Ю. І. Якименко. - Ч. 3. Провідники та магнетики. - Київ: НТУУ «КПІ», 2011. - 372 с.
4. Подопрігора Н.В. *Фізика твердого тіла : навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних університетів* / Н.В. Подопрігора, М.І. Садовий, О.М. Трифонова. – Кіровоград: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2014. – 416 с.

Додаткова література:

1. Egelstaff P.A. *An Introduction to the liquid state* / Egelstaff P.A. – New York : Oxford University Press Inc., 1992. – 385 p.

Інформаційні ресурси:

1. <https://www.scopus.com/>
2. <https://scholar.google.com/>
3. <https://link.springer.com/>
4. <https://www.sciencedirect.com/>
5. <https://www.wiley.com/en-us>
6. <https://webofknowledge.com/>

У вивченні даного курсу студентам бажано використовувати, наявний в бібліотеці КПІ та методичному кабінеті кафедри, підручник [1], в якому детально, глибоко і повно висвітлений увесь навчальний матеріал вказаний в силабусі, а також рекомендується студентам ознайомитись зі змістом інших вказаних базових та додаткових джерел, які є в наявності в бібліотеці КПІ. У випадку дистанційного навчання студентам надається доступ до електронного варіанту підручника [1].

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни.

Для полегшення сприйняття природи та механізмів формування властивостей і структури конденсованих матеріалів, лекції супроводжуються демонстрацією зображень та відео-моделей фізичних процесів, що відбуваються в твердих тілах внаслідок особливостей міжатомної взаємодії в залежності від хімічного складу та термодинамічних умов. Наприклад для: з'ясування фізичної суті і взаємозв'язку хвильового вектора та імпульсу електрона, залежність від їх величини характеру переміщення

електронів в кристалічній ґратці; демонстрації походження акустичної і оптичної гілок коливань; пояснення виникнення діамантного моменту внаслідок ларморівського прецесійного руху електронів, тощо. Лекції викладаються в оглядовій формі з детальним аналізом основних фізичних властивостей, співвідношень їх фізичних величин і параметрів.

Для усвідомлення студентами суті аналітичних співвідношень між параметрами властивостей проводиться їх математичне обґрунтування шляхом виведення основних співвідношень фізичних величин

5.1. Лекційні заняття

Лекція 1. Вступ. Періодичність властивостей кристалів і походження координат векторів оберненої ґратки. Фізичний зміст орієнтацій та модулів цих векторів. Теорема Блоха. Фізичний зміст k -векторів і квазіімпульси. Дифракція електронів на атомах ґратки та їх рух в ідеальному кристалі. Енергетична дисперсія квазівільних електронів поблизу берегівських площин відбивання. І метод сильного зв'язку для розрахунку зонної структури ковалентних та іонних кристалів. Класифікація твердих тіл за структурою зон і типами хімічних зв'язків. Енергія зв'язку та статистика Фермі для електронів в кристалах. Енергетичний розподіл та щільність k -станів.

Лекція 2. Динаміка тривимірної ґратки. Тензор силових напружень. Визначення залежності частот від хвильового вектора для о одно- та двоатомних лінійних ґраток. Питома теплоємність, модель і температура Дебая. Стаціонарний стан рухомих частинок. Кінетичне рівняння Больцмана. Електропровідність та перенос енергії за наявності градієнта температур. Термоелектричні властивості.

Лекція 3. Діамагнетизм та арамагнетизм матеріалів. 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. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів. Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар. Основний стан надпровідника. Енергетична щільність і спектр елементарних збуджень та незгасаючі струми в надпровідниках. Квантування магнітного потоку та тунельні ефекти в надпровідниках. Надпровідники I і II роду.

Для ефективного засвоєння навчального матеріалу тем лекційних занять необхідно детально опрацьовувати зміст кожної з прочитаних лекцій, висвітлених в базовій літературі, зокрема в [1], уявляючи описані явища і фізичні процеси. Для усвідомлення фізичного змісту математичних співвідношень між фізичними величинами, студентам слід повторювати виведення формул, використовуючи базову та іншу літературу

5.1. Тематика практичних занять

Практична робота 1. Визначення трійки базисних векторів, побудова оберненої ґратки. Фізичний зміст напрямку та модуля векторів оберненої ґратки. . Теорема Блоха. Зведення станів до зони Бріллюена. Граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок числа k -станів в об'ємі оберненої ґратки.

Практична робота 2. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах та носіїв

заряду в напівпровідниках. Енергетичний розподіл та щільність k-станів. Фонони. Питома теплоємність. Модель Дебая. Закон Дюлонга і Пті та низько-температурний кубічний закон теплоємності.

Тривалість кожного практичного заняття 2 години.

6. Самостійна робота студентів

Самостійна робота здобувачів (загальна тривалість 140 годин) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні матеріалу за темами при підготовці до кожної лекції – 24 години;*
- самостійному опрацюванні додаткових літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем та аналізу взаємного зв'язку між властивостями матеріалів – 6 годин;*
- підготовці до виконання практичних робіт – 10 годин;*
- підготовці до модульної контрольної роботи – 70 годин;*
- підготовці до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).*

Якість опрацювання тем, що виносяться на самостійне опрацювання, оцінюється під час проведення екзамену.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни.

Правила відвідування занять

- Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати теоретичні знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції. Опрацювання матеріалу по всіх темах лекційних занять є обов'язковим.*
- У разі дистанційної форми навчання лекційні заняття проводяться з використанням платформи google meet.*
- Опрацювання матеріалу по темах всіх розділів, лекційних та практичних занять є обов'язковим.*
- 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*

Правила поведінки на заняттях.

- На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів. Під час проведення лабораторних робіт у очному режимі в лабораторії студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.*
- Усі учасники освітнього процесу, викладачі і здобувачі, в процесі вивчення дисципліни*

мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

Інші умови.

- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні, що відповідають компетентностям даної дисципліни/спеціальності – участь у конференціях, конкурсах тощо. 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.
- Переписування МКР проводиться за домовленістю із викладачем.
- Перескладання екзамену проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

8. 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.

Рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_C) та балів отриманих на екзамені (r_I):

$$RD = r_C + r_I.$$

де r_C – стартовий рейтинг, r_I – екзаменаційний рейтинг.

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

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

де r_{Π} – 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 60 балів.

Максимальна кількість балів отримана на практичних заняттях складає:

$$\sum r_{\Pi} = 10 \text{ балів} \times 2 \text{ заняття} = 20 \text{ бали}$$

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)	10
неповна відповідь (добре)	9-7
неповна відповідь (задовільно)	6-4
неповна відповідь (достатньо)	3
незадовільна відповідь	2 і менше.

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за МКР складає 40 балів.

Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 2.

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

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	40
неповна відповідь (добре)	36-28
неповна відповідь (задовільно)	24-16
неповна відповідь (достатньо)	12
незадовільна відповідь	8 і менше.

Семестровий контроль – екзамен (40 балів). Складання екзамену проводиться у письмовій, усній або змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 3..

Табл. 3. Критерії оцінювання та кількість балів на екзамені

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	35-40
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	25-34
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	15-24
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	5-14
студент демонструє задовільні знання засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	1-4
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	менше 1
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	35-40

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів. Сумарна рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою (табл. 4).

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

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

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.*

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Питання до модульної контрольної роботи наведено у Додатку А.*
- *Перелік питань до екзамену з дисципліни наведено у Додатку Б.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено PhD, асистент Наконечний Сергій Олегович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 3 від 30 вересня 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 2 від 16 жовтня 2025 р.)

Перелік питань модульної контрольної роботи з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»

1. Покажіть фізичну суть хвильового вектора і його зв'язок з імпульсом та енергією електронів.
2. З'ясуйте походження координат векторів оберненої ґратки.
3. Визначте базисні вектори b_1 , b_2 , b_3 через вектори прямої ґратки a_1 , a_2 , a_3 .
4. З'ясуйте, що визначають орієнтації та абсолютні величини векторів оберненої ґратки..
5. Доведіть теорему Блоха та розкрийте фізичний зміст k -векторів і квазіімпульсів.
6. Застосуйте циклічні граничні умови Борна-Кармана до підрахунку k -станів
7. Отримайте рівняння Брегга і з'ясуйте напрями дифракції електронів при різних співвідношеннях модулів $|k|$ та $|g|$ та характер їх руху в кристалі.
8. Проведіть аналіз залежності $\varepsilon(k)$ при k близькому до 0 та при $k=(1/2)G$.
9. Дайте структурно-зонну класифікація твердих тіл.
10. Класифікуйте кристали за типами зв'язку.
11. Розкрийте суть енергії зв'язку в металах, в іонних та іонно-ковалентних кристалах та сталої Маделунга.
12. Покажіть, що таке енергетичний розподіл та виведіть формулу для щільності k -станів.
13. Розкрийте суть статистики Фермі для електронів в твердих тілах і носіїв заряду в напівпровідниках.
14. Отримайте спектри акустичних і оптичних віток коливань одномірних двоатомних ланцюжків.
15. Отримайте формулу для об'ємної теплоємності в моделі Дебая і її температурну залежність поблизу абсолютного нуля.
16. Розкрийте рушійні сили зміни функції розподілу частинок при їх стаціонарному русі.
17. Доведіть тензорний характер електропровідності.
18. Розкрийте природу термоелектричних властивостей кристалів.
19. Сі молекул при прецесійному ларморівському русі електронів в магнітному полі.
20. Розкрийте суть парамагнетизму матеріалів, що містять іони з частково заповненою оболонкою. І закону Кюрі.
21. З'ясуйте суть теорії молекулярного поля і закон Кюрі-Вейса для феромагнетизму.
22. Розкрийте електронно-структурну природу феромагнетизму і суть обмінної взаємодії.
23. Поясніть природу ферімагнетизму і антиферомагнетизму
24. Поясніть будову доменної структури магнітних матеріалів.
25. Розкрийте явище надпровідності, ефекту Мейснера і рівняння Лондонів.
26. Розкрийте механізм і утворення куперівських пар в надпровідному стані.
27. З'ясуйте природу квантування магнітного потоку в надпровідниках.
28. Опишіть відмінність між надпровідниками I і II роду.

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

1. Упорядкування атомів і молекул в симетричні ґратки
2. Типи твердих тіл і трансляційна симетрія кристалів. Вектор трансляції.
3. Елементарна і примітивна комірки в кристалах.
4. Рівняння Шрьодінгера для кристалів. Фізична суть хвильового вектора і його зв'язок з імпульсом та енергією електронів.
5. Періодичність властивостей кристалів і походження координат векторів оберненої ґратки внаслідок розкладання цих функцій в ряд Фур'є.
6. Визначте скалярний добуток векторів трансляції та оберненої ґратки.
7. Визначте найменші вектори оберненої ґратки, вкажіть базис оберненої ґратки і запишіть в цьому базисі довільний вектор оберненої ґратки.
8. Визначте базисні вектори b_1, b_2, b_3 через вектори прямої ґратки a_1, a_2, a_3 .
9. З'ясуйте, що визначають орієнтації векторів оберненої ґратки.
10. З'ясуйте, що визначають абсолютні величини векторів оберненої ґратки.
11. Покажіть зв'язок векторів оберненої ґратки з індексами Міллера.
12. Інваріантність рівняння Шрьодінгера відносно трансляцій в кристалічній ґратці. Теорема Блоха.
13. k -простір і належність до нього векторів оберненої ґратки. Фізичний зміст k -векторів і квазіімпульси.
14. Зведення k -станів до зони Бріллюена.
15. Циклічні граничні умови Борна-Кармана. Підрахунок k -станів.
16. Визначте об'єм елементарної комірки оберненої ґратки та кількість k -векторів яка припадає на одиницю цього об'єму.
17. Визначте умову дифракції електронів на атомах ґратки з матричного елемента імовірності переходу електронів із станів k в k' при їх взаємодії з періодичним потенціалом.
18. Отримайте рівняння Брегга і з'ясуйте напрями дифракції електронів при різних співвідношеннях модулів $|k|$ та $|g|$ та характер їх руху в кристалі.
19. Отримайте систему рівнянь для визначення залежності від k власних значень енергії $E(k)$ та αk - g - коефіцієнтів розкладання власних хвильових функцій квазівільних електронів.
20. Знайти розв'язок системи рівнянь для визначення залежності від k власних значень енергії $E(k)$ та αk - g - коефіцієнтів розкладання власних хвильових функцій квазівільних електронів для лінійної оберненої ґратки $G=g+g'$, коли $G=0+g'$ і $G=g+0$.
21. Провести аналіз залежності $E(k)$ при k близькому до 0 та при $k=(1/2)G$.
22. Визначити $\alpha(1/2)G$ - g - коефіцієнти розкладання власних хвильових функцій квазівільних електронів знайти їх аналітичний вигляд.
23. Умови застосування методу сильного зв'язку.
24. Визначення енергетичної дисперсії $E(k)$ та хвильових функцій локалізованих електронів методом сильного зв'язку.

25. Структурно-зонна класифікація твердих тіл.
26. Кристали з ковалентними зв'язками.
27. Ковалентно-іонні тверді тіла.
28. Іонно-ковалентні та іонні сполуки.
29. Енергія зв'язку в іонних та іонно-ковалентних кристалах. Стала Маделунга.
30. Енергія зв'язку в металах.
31. Правило Юм-Розері та модель жорстких зон.
32. Енергетичний розподіл та щільність k-станів.
33. Статистика Фермі для електронів в твердих тілах
34. Статистика носіїв заряду в напівпровідниках.
35. Електронна теплоємність.
36. Динамічна теорія і рівняння руху ґратки. Хвильовий вектор коливань ґратки.
37. Силовий тензор та система рівнянь для визначення компонент атомних зміщень і частот коливань.
38. Спектри акустичних віток коливань одномірних одноатомних ланцюжків.
39. Спектри акустичних і оптичних віток коливань одномірних двоатомних ланцюжків.
40. Фонони. Питома теплоємність.
41. Модель Дебая. Закон Дюлонга і Пті та низько-температурний кубічний закон теплоємності (T^3).
42. Зміна функції розподілу частинок при їх стаціонарному русі.
43. Кінетичне рівняння Больцмана.
44. Електропровідність.
45. Зміщення поверхні та розподілу Фермі під дією напруженості електричного поля.
46. Перенос енергії при наявності температурного градієнта. Кінетичні коефіцієнти.
47. Теплопровідність. Закон Відемана – Фрапнца.
48. Термоелектричні властивості кристалів.
49. Вплив магнітного поля на рух електронів в кристалах.
50. Ефект Холла.
51. Отримайте співвідношення між магнітним та механічним моментами орбітального руху електрона.
52. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Вектор індукції магнітного поля перпендикулярний до площини орбіти електрона.
53. Діамагнетизм матеріалів з заповненими оболонками атомів і молекул. Прецесійний ларморовський рух електронів в магнітному полі.
54. Заповнення електронних рівнів атомів. Правила Хунда.
55. Парамагнітна сприйнятливість.
56. Спіновий парамагнетизм Паулі.
57. Парамагнетизм матеріалів, щомістять іони з частково заповненою оболонкою. Закон Кюрі.
58. Упорядкування магнітних моментів. Теорія молекулярного поля і закон Кюрі-Вейса. Феромагнетизм.

59. *Електронно-структурна природа феромагнетизму. Обмінна взаємодія.*
60. *Ферімагнетизм і антиферомагнетизм.*
61. *Доменна структура магнітних матеріалів.*
62. *Надпровідність. Ефект Мейснера і рівняння Лондонів.*
63. *Міжелектронна взаємодія і утворення куперівських пар в надпровідному стані.*
64. *Основний стан надпровідника.*
65. *Енергетична щільність і спектр елементарних збуджень в надпровіднику.*
66. *Незгасаючі струми в надпровідниках.*
67. *Квантування магнітного потоку в надпровідниках.*
68. *Тунельні ефекти в надпровідниках.*
69. *Надпровідники I і II роду.*