

ПРОГРАМА КУРСІВ

КРИСТАЛОФІЗИКА

Мета і задачі курсу "Кристаллофізика" - дати систематичний опис фізичних властивостей кристалів у тензорному варіанті. При цьому кристал розглядається як однофазне безперервне середовище з урахуванням симетрії й анізотропії. Математичний апарат, використовуваний у цьому курсі, заснований на тензорному аналізі, дозволяє вивчити особливості, що є загальними для різних властивостей кристалів.

Студент повинен знати.

Специфічні особливості кристалів, пов'язані із симетрією й анізотропією кристалічного середовища, термодинамічні співвідношення, що описують різні фізичні властивості, а також основи математичного апарата, що дозволяє з єдиної точки зору вивчати ці властивості.

Студент повинен уміти.

Використовувати на практиці отримані знання для дослідження властивостей кристалів, для розробки нових матеріалів із заданими властивостями, для створення нових приладів і технічних пристроїв, для розвитку нових технологій, а також для ефективної роботи з науковою літературою.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Тема 1. Математичні основи кристаллофізики Скаляри, вектори, тензори першого, другого, третього і четвертого рангів. Запис з індексами підсумовування. Перетворення осей координат. Перетворення компонентів вектора. Перетворення координат точки. Закон перетворення добутку координат. Перетворення компонентів тензора другого рангу. Визначення тензора будь-якого рангу. Матриця перетворення. Різниця між перетворенням матриці і тензора. Симетричні й антисиметричні тензори. Загальне рівняння поверхні другого порядку. Характеристична поверхня. Головні осі координат. Способи приведення тензора другого рангу до головного вигляду. Побудова кола Морю Спрощення рівнянь при приведенні до головних осей. Величина, що характеризує властивість у даному напрямку, її визначення й аналітичні вираження в загальному й окремому випадках. Геометричні властивості характеристичної поверхні. Довжина радіуса-вектора. Властивість радіуса-вектора і нормалі. Зведення геометричних властивостей, еліпсоїд значень тензора другого рангу.

Тема 2. Вплив симетрії кристалів на їхні властивості. Основні елементи симетрії кристалів. Точкова група симетрії, елементарна комірка. Сингонії. Кристаліграфічні системи. Принцип Неймана. Вплив симетрії кристала на властивості, описувані тензорами першого і другого рангів.

Тема 3. Фізичні властивості кристалів, описувані тензором першого рангу. Піроелектрика, електрокалоричний ефект. Сегнетоелектрик. Вплив симетрії кристалів на ці властивості.

Тема 4. Рівноважні фізичні властивості. Парамагнітна і діамагнітна сприйнятливості.

Загальні співвідношення. Енергія намагнічування кристала. Сили і моменти сил. Момент сил, що діє на кристал в однорідному магнітному полі. Сила, що діє на кристал у неоднорідному магнітному полі. Механічний момент, що діє на кристал у неоднорідному магнітному полі. Магнітна сприйнятливність кристалічного порошку. Електрична поляризація. Різниця між електричною поляризацією і намагніченістю. Електростатичне поле в однорідному анізотропному діелектрику.

Тема 5. Польові тензори: тензор напружень і тензор деформацій. Поняття напруженого стану. Однорідні і неоднорідні напруження. Доказ того, що напруження описуються тензором другого рангу. Поверхня напружень. Окремі форми тензора напружень. Розходження між тензором напружень і тензорами другого рангу, що описують рівноважні властивості кристалів. Тензор деформацій. Одновимірна деформація. Двовимірна деформація. Однорідна двовимірна деформація. Тривимірна деформація. Однорідна тривимірна деформація. Узагальнення на випадок неоднорідної деформації. Деформація і симетрія кристалів. Теплове розширення кристалів. Конус нульового теплового розширення в кристалі кальциту.

Тема 6. Тензори 3-го рангу. П'єзоелектрика. Прямий п'єзоелектричний ефект. Зменшення числа незалежних модулів. Матричний метод. Зворотний п'єзоелектричний ефект. Вплив симетрії кристалів. Аналітичний метод (метод Фумі). Приклади для деяких класів симетрії.

Тема 7. Тензори четвертого рангу. Пружність. Закон Гука. Матричні позначення. Енергія деформованого кристала. Зменшення числа незалежних модулів через обмеження, що накладаються симетрією кристала. Співвідношення між напруженнями і деформаціями для ізотропних матеріалів. Співвідношення між податливостями і твердостями. Приклади для різних кристалографічних класів симетрії. Чисельні значення пружних констант.

Тема 8. Кристалооптика. Ефект подвійного променезаломлювання. Оптична індикатриса. Показник заломлення. Хвильова поверхня. Вплив симетрії кристала. Одноосьові і двuosьові кристали. Визначення двозаломлення для кристалічної пластинки довільної орієнтації. Електрооптичний ефект. Фотопружність.

Тема 9. Властивості, що характеризують процеси переносу. Теплопровідність. Тензори коефіцієнтів теплопровідності і теплового опору. Два окремих випадки стаціонарного теплового потоку. Загальний випадок стаціонарного теплового потоку. Тепловий потік від точкового джерела в анізотропному середовищі. Термоелектричні ефекти в кристалах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сиротин Р.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. - М.: Наука, 1985. - 680 с.
2. Шаскольская М.П. Кристаллография. - М.: Высшая школа, 1976. - 391 с.
3. Най Дж. Физические свойства кристаллов. - М.: Мир, 1967. - 385 с.
4. Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания Физических свойств кристаллов. - М.: Мир, 1977.
5. Переломова Н.В., Тагиеза М.М. Задачник по кристаллофизике. -М.: Наука. 1982. - 287 с.
6. Smith C.S. Macroscopic symmetry and properties of crystals. Solid State Physics. - Vol. 6, New York, 1985, p. 175

ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНОГО СТАНУ

Мета і завдання курсу. Познайомити студентів зі структурою і фізичними властивостями як традиційних типів твердих тіл, так і відкритих в останні роки квазікристалів, полімерів, що проводять, фулеритів. 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. Познайомити студентів із властивостями бінарних сполук і побудовою фазових діаграм. 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,

Студент повинен знати Два підходи до трактування властивостей твердих тіл і явищах, що відбуваються в них: макроскопічний (феноменологічний), властивий класичній фізиці, коли тверде тіло - суцільне середовище без заглиблення в деталі його внутрішньої структури; і мікроскопічний (атомістичний), коли опис і пояснення властивостей твердих тіл ґрунтується на законах квантової механіки. 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.

Студент повинен уміти Ґрунтуючись на фізичних моделях будови різних твердих тіл і, спираючись на основні фізичні закони, пояснювати поведінку цих тіл при різних зовнішніх умовах. Практично застосовувати отримані знання при розробці нових матеріалів із заданими властивостями, при розробці нових технологій одержання сучасних матеріалів, а також при роботі з науковою літературою.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Тема 1. Природа сил взаємодії між атомами в кристалах Агрегатні стани конденсованих фаз. Структурні особливості твердого стану, типи структур, змішані структури (газо- і рідкокристалічні стани), типи зв'язків у твердих тілах. 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. Експериментальне визначення ступеня іонності. Металевий зв'язок і його основні властивості. Фізична природа сил притягання і відштовхування. Молекулярний зв'язок. Походження й універсальність сил Ван-дер-Ваальса, оцінка енергії зв'язку і її залежностей від міжмолекулярної відстані. Особливості водневого зв'язку. Особливості структури нових матеріалів; фулеритів, полімерів, що проводять, квазікристалів. Розв'язання задач.

Тема 2. Основи кристалографії. Геометрія кристалічних ґрат. Елементарна і примітивна комірки. Кристалографічні площини і напрямки в ґратах. Індеси Міллера, їх зв'язок з рівнянням площини. Коефіцієнт компактності. Розв'язання задач.

Тема 3. Тверді розчини Типи твердих розчинів. Упорядковані тверді розчини. Температура Курнакова. Температурна залежність ступеня ближнього порядку.

Тема 4. Діаграми стану і методи их побудови. Поняття фази. Умови рівноваги багатофазних і багатокомпонентних систем. Правило фаз Гібса. Термодинамічна інтерпретація побудови фазових діаграм. Фазові діаграми для систем з необмеженою й обмеженою розчинністю та з відсутністю розчинності. Аналіз конкретних діаграм. Розв'язання задач.

Тема 5. Теплові властивості твердих тіл. Коливання лінійного ланцюжка атомів одного сорту, рівняння коливань, закон дисперсії, функція густини станів спектра нормальних коливань. Коливання лінійного ланцюжка атомів, що складається з атомів двох сортів. Закон дисперсії, акустична й оптична гілки коливань. Класична модель теплоємності твердих тел. Середня енергія теплових коливанні гармонійного осцилятора. Закон Дюлонга і Пті. Ейнштейнівська модель теплоємності твердих тел. Квантування енергії осцилятора. Середня енергія теплових коливань квантового осцилятора. Температурна залежність теплоємності в моделі Ейнштейна в області низьких температур. Характеристична температура Ейнштейна. Дебаївська модель теплоємності твердих тел. Акустичний спектр кристала в наближенні Дебая. Теплоємність твердих тел. Закон ТЗ Дебая. Температура Дебая. Теплове розширення як наслідок ангармонічності коливань атомів у твердому тілі. Коефіцієнт лінійного розширення в області середніх температур і його зв'язок з константами кристала. Відхилення теплового розширення від лінійного ходу в області низьких і високих температур. Правило Грюнайзена. Граткова теплопровідність твердих тел. Теплопровідність газу фононів у рамках молекулярно-кінетичної теорії. Вплив дефектів ґрат на теплопровідність. Розмірний ефект, роль процесів перекидання.

Тема 6. Електричні властивості твердих тел. Класична теорія електронів у металах (модель вільних електронів). Закон Ома і Відемана-Франца в класичній моделі вільних електронів. Теплоємність газу вільних електронів у металах. Труднощі класичної теорії вільних електронів. Квантова теорія вільних електронів. Квантування енергії вільних електронів. Розподіл Фермі-Дирака. Енергія Фермі. Функція густини станів. Парамагнетизм і діамагнетизм електронного газу і квантової теорії вільних електронів. Механізми розсіювання електронів при проходженні електричного струму. Правило Матисена. Залишковий опір. Температурна залежність питомого електроопору металів.

Тема 7. Напівпровідники. Власна провідність напівпровідників. Поняття про дірки. Концентрація і рухливість носіїв струму і температурна залежність провідності. Домішкова провідність напівпровідників. Теплова іонізація домішкового центра. Донорні й акцепторні рівні. Рухливість носіїв струму в присутності домішкових атомів. Фотопровідність. Червона границя фотопровідності. Залежність фотопровідності від інтенсивності світла. Роль пасток. Екситони. Модель Френкеля сильнозв'язаного екситона. Модель слабкозв'язаного екситона (Мота-Ваньє), Поняття про екситоні хвилі.

Тема 8. Магнітні властивості твердих тіл. Класифікація речовин за магнітними властивостями. Елементарні носії магнетизму. Природа діамагнетизму і величина магнітної сприйнятливості. Формула Ланжевена. Природа парамагнетизму. Магнітний момент атома. Орієнтаційний парамагнетизм локалізованих магнітних моментів. Закон Кюрі і Кюрі-Вейса. Магнітні властивості феромагнетиків. Феноменологічна теорія Вейса. Природа феромагнетизму. Внутрішньо молекулярне поле й обмінна взаємодія. Модель Гейзенберга. Поняття про спінові хвилі, магнони. Антиферомагнетизм. Феромагнетизм.

Література

1. Киттель Ч.. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1963, 1978.
2. Киттель Ч. Элементарная физика твердого тела. М.: Наука, 1965
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.

4. Епифанов Г.И. Физика твердого тела Л/Т.; Высш. школа, 1965.
5. Каганов М.И., Лифшиц И.М. Квазичастицы. М.: Наука, 1976.
6. Каганов М.И. Электроны, фононы, магноны. М.: Наука, 1981.
7. Боровик Е.С., Мильнер А.С. Лекции по ферромагнетизму. Харьков: Изд. ХГУ, 1960.
8. Уманский Я.Е., Скаков Ю.Л. Физика металлов. М.: Атомиздат, 1978.
9. Шульце Г. Металлофизика.