

Otázky ku skúške z predmetu “Elektrické a optické vlastnosti tuhých látok”

Poznámka na úvod: Študijný text obsahuje pomerne veľa matematických formúl. Na skúške ma však bude zaujímať najmä to, ako ovládáte relevantné pojmy a čo viete o skúmaných javoch.

1. Vysvetlite nasledovné pojmy: adiabatické priblíženie, jednoelektrónové priblíženie, ideálny kryštál, periodické okrajové podmienky, Blochova veta, pásová štruktúra, Fermiho plocha. V čom spočíva rozdiel medzi kovmi a izolantmi?
2. Zdôvodnite štruktúru kremíka pomocou sp^3 hybridizácie. Kvalitatívne vysvetlite, ako vzniká valenčný pás. Popíšte hranu valenčného pásu a dno vodivostného pásu kremíka.
3. Vysvetlite, čo je obáľková vlnová funkcia. Napíšte pre ňu Schrödingerovu rovnicu. Napíšte rovnice semiklasickej dynamiky a sformulujte podmienky, kedy tieto rovnice platia.
4. Popíšte, k akým javom vedie prítomnosť nečistôt v kryštáli. Napíšte Boltzmannovu rovnicu pre elektróny v elektrickom poli, ktoré sa rozptyľujú na prímiesiach. Vysvetlite rozdiel medzi dobou života elektrónu a transportným relaxačným časom.
5. Vysvetlite, čo je Andersonova lokalizácia. Popíšte mechanizmy vodivosti v lokalizovanom režime. Napíšte formulu pre závislosť vodivosti od teploty pre skákanie s premenlivou dĺžkou.
6. Vysvetlite, čo je klasický Hallov jav a cyklotrónová rezonancia. Ako tieto javy možno použiť pri štúdiu polovodičov? Napíšte formulu pre závislosť klasického Hallovho odporu od magnetického poľa.
7. Popíšte, čo je kvantový Hallov jav. V akých systémoch a za akých podmienok sa pozoruje? Vysvetlite, čo je hranový stav. Odvoďte kvantovanie vodivosti v hranovom stave.
8. Vysvetlite, čo je de Haasov-van Alphenov jav. Ukážte, za akých podmienok ho možno pozorovať a ako ho možno použiť pri štúdiu kovov.
9. Napíšte, ako vyzerá všeobecná vlnová funkcia pre systém N elektrónov. Vysvetlite prečo. Napíšte a interpretujte formulu pre strednú hodnotu energie v Slaterovom determinante.
10. V čom spočíva priblíženie Hartreeho-Focka? Napíšte Hartreeho-Fockove rovnice a popíšte, ako ich treba riešiť.
11. Vysvetlite, ako možno zapísať stavy a operátory vo formalizme druhého kvantovania. Napíšte komutačné vzťahy pre bozónové a fermiónové kreačné a anihilačné operátory.
12. Porovnajzte kinetickú a potenciálnu energiu hustého coulombovského plynu elektrónov. Čím sa líši takýto plyn od plynu voľných elektrónov?
13. Vysvetlite podstatu Wignerovho prechodu kov-izolant. Odhadnite energiu Wignerovho kryštálu a uveďte, v akej limite je tento kryštál stabilný.
14. Vysvetlite podstatu Mottovho a Hubbardovho prechodu kov-izolant. Zmenou ktorého parametra dochádza k Mottovmu a Hubbardovmu prechodu? Uveďte príklady systémov, v ktorých tieto prechody nastávajú.

15. Zdôvodnite, prečo existuje interakcia medzi elektrónmi a fonónmi. Napíšte hamiltonián pre zviazaný systém elektrónov a fonónov. Nakreslite Feynmanove diagramy pre rozptyl Blochových elektrónov na fonónoch. Popíšte kinematiku rozptylu a vysvetlite, čo sú umklapp procesy.
16. Ako možno definovať energiu častice v interagujúcom systéme? Ako sa v dôsledku interakcií medzi elektrónmi a fonónmi zmenia disperzné zákony pre elektróny a pre fonóny? Ako interpretujeme tieto zmeny? Aké iné efekty spôsobujú tieto interakcie?
17. Vysvetlite, kedy možno používať pojem relatívnej permitivity a odvoďte definičnú formulu pre $\epsilon_{ij}(\mathbf{q}, \omega)$. Vysvetlite, čo je Neumannov princíp a aplikujte ho na tenzor ϵ_{ij} . Napíšte vlnovú rovnicu pre elektrické pole v kryštáli s dielektrickým tenzorom ϵ_{ij} a vysvetlite, čo je dvojlom.
18. Vysvetlite rozdiel medzi lokálnym a makroskopickým poľom. Napíšte Lorentzovu formulu a odvoďte Clausiovu-Mossottiho formulu. Popíšte Mottov prechod kov-izolant ako príklad polarizačnej katastrofy.
19. Napíšte formulu pre relatívnu permitivitu iónových kryštálov v infračervenej oblasti. Pomocou nej popíšte pozdĺžne a priečne kolektívne módy, ako aj frekvenčnú závislosť odrazivosti iónových kryštálov.
20. Odvoďte Kubovu formulu pre reálnu časť vodivosti $\sigma'(\omega)$. Vysvetlite pojmy medzipásový prechod, priamy a nepriamy izolant, dovolený a zakázaný prechod. Popíšte $\sigma'(\omega)$ priamych izolantov pre ω v blízkosti absorpčnej hrany pre prípad dovolených aj zakázaných prechodov.
21. Vysvetlite, čo je excitón. Akými kvantovými číslami možno charakterizovať excitón? Ako sa vďaka prítomnosti elektrón-elektrónových interakcií zmení absorpčné spektrum v blízkosti absorpčnej hrany? Vysvetlite, prečo je rubín červený.
22. Vyložte Einsteinovu teóriu spontánnej a stimulovanej emisie. Pomocou kvantovej teórie svetla vysvetlite spontánnu emisiu z excitovaných stavov. Vysvetlite rozdiel medzi fluorescenciou a fosforescenciou; uveďte typické relaxačné časy.
23. Popíšte Franckov-Condonov jav a pomocou jednoduchého modelu objasnite jeho podstatu. Popíšte špecifiká luminiscencie v polovodičoch. Vysvetlite princíp generácie svetla v LED dióde.
24. Vysvetlite, čo je Rayleighov rozptyl a akú úlohu zohráva v optických vláknach. Vysvetlite, čo je a ako vzniká Ramanov rozptyl. Zdôvodnite teplotnú závislosť pomeru pravdepodobností Stokesovho a anti-Stokesovho procesu. Sformulujte výberové pravidlo pre Ramanov rozptyl.