1 1988/89

1.1 2. pismena vaja iz fizike trdne snovi

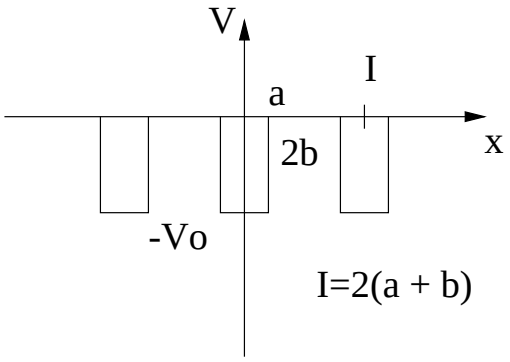
17. januar 1989, $16^h - 18^h$, F - 4

1. Efektivna elektronska masa v sredini 1. Brillouinove cone v kristalu s telesno centrirano kubično strukturo z robom osnovne celice 0.3 nm meri 4.2 mase elektrona. Kolikšna bi bila širina eneraijskega pasu, ki bi jo dobili z metodo tesne vezi?

2. Z metodo tesne vezi poišči lastne energije najnižjega elektronskera pasu za Kronig-Penneyev potencial (slika), Atomske valovne funkcije so

$$\Phi(x) = \begin{cases} A\,cos(kx) & -a < x < a \\ B\,exp(-\kappa x) & x > a \\ B\,exp(\kappa x) & x < -a \end{cases}$$

pri čemer je $ka = \pi/6$, $\kappa a = \pi/6\sqrt{3}$, $A^2 a = (1 + 6\sqrt{3}/\pi)^{-1}$, $B = AE^{\kappa a}$, $b = 4a$, $V_0 = 4$ eV. Poišči širino pasu!



Dodatni podatki:
$\int ch(\kappa x)cos(kx)dx = (\kappa^2 + k^2)^{-1}(k\,ch(\kappa x)sin(kx) + \kappa\,sh(\kappa x)cos(kx)) + C$
$\int_{-a}^{a} e^{-\kappa x}cos(kx)dx = 2\int_0^a ch(\kappa x)cos(kx)dx$

1.2 3. pismena vaja iz FTS

3. april 1989, $12^h - 14^h$, F-4

1. V germanijevem kristalu je vgrajenih na kubični meter 5×10^{21} atomov fosforja in 2×10^{21} atomov bora. Efektivna masa elektronov je 0.56 elektronske mase, efektivna masa vrzeli 0,35 elektronske mase, širina energijske špranje pri 300 K je 0.67 eV, donorski nivoji pa leže 0.01 eV pod dnom prevodnega pasu. Izračunaj, kolikšen del donorskih nivojev je ioniziran pri temperaturah 300 K in 200 K!

2. V germanijevi diodi s presekom 1 mm^2 je gostota akceptorskih primesi na strani p $10^{24}/m^3$ in gostota donorskih primesi na strani n $2 \times 10^{21}/m^3$. Izračunaj kapaciteto diode in maksimalno električno polje v zaporni plasti, ko je dioda priključena na zaporno napetost 5 V. Temperatura je 300 K, širina energijske špranje 0.67 eV, efektivna masa elektronov in vrzeli kot v prejšnji nalogi, dielektrična konstanta germanija pa je 15.8.

1.3 4. pismena vaja iz fizike trdne snovi

l. junij 1989, $10^h - 12^h$, F - 4

1. V supraprevodnih snoveh se kritična vrednost jakosti magnetnega polja spreminja s temperaturo približno kot $H_c(T) = H_{c0}[1-(T/T_c)^2]$. Ugotovi, pri kolikšnem toku se v svinčeni žici ($H_{c0} = 0.0803$ A/m, $T_c = 7.18$ K) s polmerom 2 mm pri temperaturi 5 K poruščisto supraprevodno stanije! Pri kolikšnem toku Pa znaša pri isti temperaturi upor 90 odstotkov upora žice v normalnem stanju?

2. V nek kristal so vgrajeni paramagnetni ioni z efektivnim magnetnim momentom 2.5/, μ_B ($\mu_B = 0.027 \times 10^{-23}$ Am^2 je Bohrov magneton). Izračunaj kilomolsko specifično toploto paramagnetnih ionov pri konstantnem magnetnem polju 1 Vs/m^2 in temperaturi 4 K in 0.2 K. Primerjaj dobljeni vrednosti s kilomolsko specifično toploto kristalne mreže za kristal z Debyejevo temperaturo 250 K.
(Med toplotno kapaciteto C_B in magnetno susceptibilnostjo χ paramagnetnega sistema velja zveza $C_B = (V/\mu_0)(B^2\chi/T)$, pri čemer je μ_0 indukcijska konstanta, V prostornina, B gostota magnetnega polja in T temperatura.)

2 1989/90

2.1 Kolokvij

6. december 1989, $13^h - 15^h$ v F - 4

1. Vzorec, ki ima kristalno strukturo hcp, preiskujemo v Debye-Scherrerjevi celici s curkom monokromatske rentgenske svetlobe z valovno dolžino 0.154 nm. Na katerih mrežnih ravninah pride do odbojev, ki dajo ojačane curke pri kotih 16.1°, 17.1°, 18.3°, 23.9°, 31.5°. Navedi Millerjeve indekse ravnin!

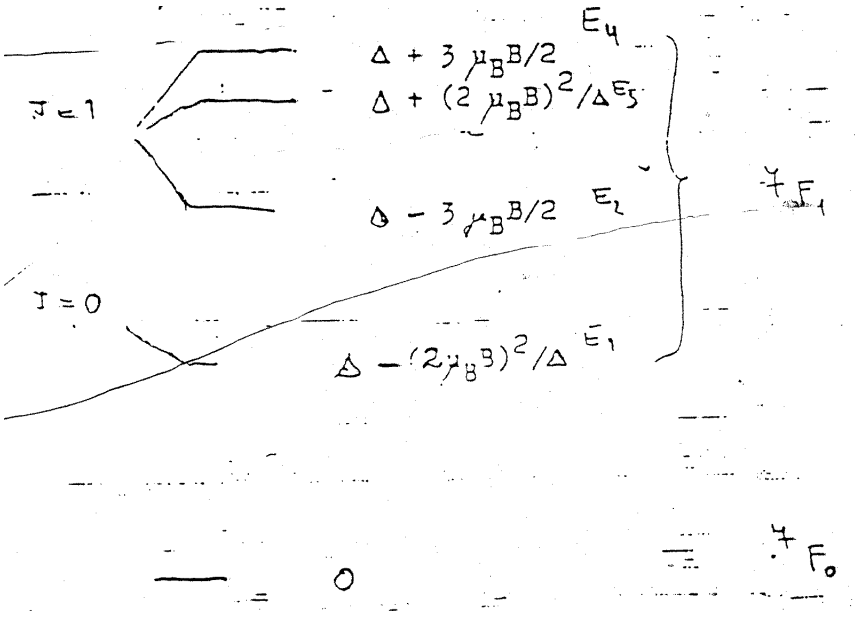
2. V kristalu NaCl se razširja zvočno valovanje, katerega valovni vektor leži v eni od glavnih ravnin kristala in kaže pod kotom 75^o glede na eno od glavnih osi kristala. Poišči hitrosti razširjanja valovanja in polarizacije za vse tri veje! Kolikšen kot oklepata valovni vektor in polarizacijski vektor "longitudionalnega" valovanja? ($C_{11} = 4.87 \times 10^{10}$ Pa, $C_{12} = 1.24 \times 10^{10}$ Pa, $C_{22} = 1.26 \times 10^{10}$ Pa, gostota kristala je 2160 kg/m^3)

2.2 4. pismena vaja iz fizike trdne snovi

4. junij 1990, $10^h - 12^h$ v F-4

1. Za debelo ploščo iz superprevodnega materiala je kritična vrednost magnetnega polja, ki kaže vzdolž plošče, 0.05 T, za. 0.5 μm debelo "ploščo" pa 0.055 T. Kolikšna bi bila kritična vrednost magnetnega polja za 0.01 μm debelo plast?
(Opomba l: Prosto energijo snovi v magnetnem polju lahko zapišemo kot $G(H,T) = G_0(T) - \int dV \int BdH$. Za debelo plast lahko vzamemo, da je $B(H) = 0$, če je $H < H_c$ in $B(H) = \mu_0 H$, če je $H > H_c$. Pri tanki plasti moramo upoštevati, da je $B(H) \neq 0$ tudi za $H < H_c$ Kritično vrednost polja določimo iz zahteve, da je $G_n(H_c,T) = G_s(H_c,T)$.
Opomba 2 : Rešitev enačbe $1 - fracth(y)y = (\frac{10}{11})^2$ je $y = 5.762$)

2. Evropijevi ioni Eu^{3+} imajo v zunanji lupini 6 elektronov $4f^6$. K magnetni susceptibilnosti prispeva poleg osnovnega stanja $^7F_0$ tudi za $\Delta = O.O3$ eV više ležeče vzbujeno stanje $^7F_1$ elektronov iz te lupine. Razporeditev energijskih stanj kaže slika. Visokotemperaturno susceptibilnost lahko zapišemo kot $\chi = \mu_0(N/3V)(\mu_B p)^2/k_B T$. Poišči p!



3 1990/91

3.1 1. kolokvij iz FTS

Sreda, 21. novembra 1990, $12^h - 14^h$ v F - 4

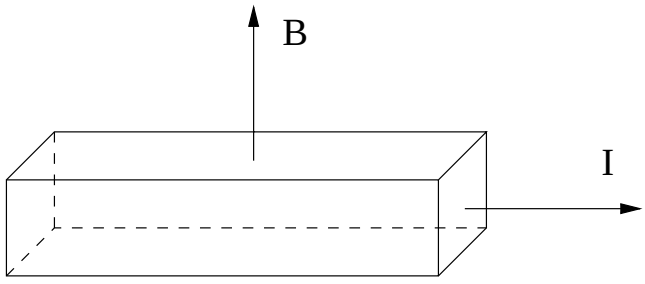
1. Živo srebro ima pod temperaturo 5 K trigonalno kristalno strukturo; generirajo jo trije primitivni vektorji z dolžino 0.299 nm, ki oklepajo drug z drugim kot $70°45'$. Tudi recipročna mreža je trigonalna. Poišči dolžino primitivnih vektorjev te mreže in kot med njimi!

2. Z Evjenovo metodo izračunaj Madelungovo konstanto za ravninsko kvadratno ionsko mrežo! Upoštevaj še četrto Evjenovo celico! Za kristal z 2.5×10^{13} osnovnimi celicami poišči vezavno energijo, če je ravnovesna razdalja med ioni 0.3 nm, njihov naboj $\pm e_0$, med njimi Coulombska privlačna oz. odbojna sila in odbojni potencial oblike $konst/r^{12}$.

3.2 3. kolokvij iz FTS

Torek, 2. aprila 1991, F - 4, $14^h - 16^h$

1. Kolikšno je razmerje Hallovih konstant za čisti germenij in za germanij z 10^{22} arzenovimi atomi na m^3 v magnetnem polju z gostoto l Vs/m^2 (glej sliko)? Efektivna masa elektronov je 0.56 in vrzeli 0.35 elektronske mase, gibljivost elektronov je 0.38 in vrzeli 0.18 m^2/Vs, širina energijske špranje je 0.67 eV, ionizacijska energija donorskih primesi 0.012 eV in temperatura 300 K.



2. Vzamemo lahko, da so v prevodnem pasu germanija ploskve konstantne energije v k-prostoru 4 rotacijski elipsoidi z glavnini osmi v smereh [111], [111], [111] in [111]. Za elipsoid [111] je npr. v lastnem koordinatnem sistemu

$$E^{(111)}(\vec{k}) - E_c = h^2 \left[(k_x^2 + k_y^2)/2m_\perp^* + (k_z - k_{0z}^2/2m_\parallel^* \right]$$

pri čemer je $m_\parallel^* = 1.58\mathrm{m}_e$ in $m_\perp^* = 0.082\mathrm{m}_e$. Izračunaj tenzor prevodnosti, ki bi ga prispeval elipsoid v smeri [111], če ,je celotna. (izotropna) prevodnost germanija $2/\Omega\mathrm{m}$.

3.3 4. kolokvij iz fizike trdne snovi

Torek, 21. maja l99l , $14^h - 16^h$ v F - 4

1. Če ni zunanjega magnetnega polja, postane svinec superprevoden pri temperaturi 7.19 K, kritična vrednost magnetnega polja pri teraperaturi 0 K pa je 0.0803 $\mathrm{Vs/m^2}$. Kolikšen največji tok bi še lahko tekel po svinčeni žici s premerom 1 mm pri temperaturi 4.2 K, ne da bi svinec prenehal biti superprevoden? Kolikokrat manjši bi bil upor svinčene žice v normalnem stanju? Kolikšen premer pa bi morala imeti žica, da bi bila tudi pri toku 200 A še superprevodna? Ktitična vrednost magnetnega polja v odvisnosti od temperature je $B_c(T) = B_c(0)[1 - (T/T_c)^2]$

2. V paramagnetni soli $Cr_2(SO_3)_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 24\,H_2O$ so ioni Cr^{+++} v osnovnem stanju ${}^4F_{3/2}$. Izračunaj magnetno susceptibilnost enega kilomola te soli pri temperaturi 300 K in 0.5 K in v magnetnem polju 1 $\mathrm{Vs/m^2}$. Kolikšna pa bi bila pri enakih temperaturah in enakem magnetnem polju magnetna susceptibilnost enakega števila prostih ionov Cr^{+++}?

4 1991/92

4.1 1. šolska naloga iz FTS

21. novembra 1991, $10^h - 12^h$, F-4

1. Trije enako dolgi vektorji, ki oklepajo paroma enake kote, generirajo trigonalno Bravaisovo mrežo.

   a) Pokaži, da je lahko trigondlna mreža, pri določenem kotu med temi vektorji, tudi ploskovno centrirana kubična mreža! Kateri je ta kot?

   b) Enake krogle tesno zlagamo v ravninskih plasteh v zaporedju ...ABCABC... Pokaži, da tvorijo središča krogel fcc mrežo! (Navodilo: Zapiši krajevne vektorje od središča izbrane krogle v neki plasti do središč treh najbližjih krogel v naslednji plasti in pokaži, da so lahko to primitivni vektorji trigonalne in hkrati fcc mreže!)

   c) Zapiši enotne vektorje v smeri robov osnovne celice fcc mreže s primitivnimi vektorji ustrezne trigonalne mreže!

2. Rentgenska svetloba z valovno dolžino 0.154 nm se siplje na kristalu KCI, ki kristalizira v ploskovno centrirani kubični mreži z robom osnovne cellce 0.629 nm. Izčunaj štiri najmanjše možne kote sipanja! Atomski strukturni faktor je za kalijeve in klorove ione enak!

5 1992/93

5.1 1. šolska naloga iz FTS

Četrtek, 26. novembra 1992, $10^h - 12^h$ v F-4

1. Razpredelnica kaže zvočne hitrosti v indijevem antimonidu pri 20 °C za dve različni smeri razširjanja valovanja in različne polarizacije:

smer	polarizacia	v[m/s]
[100]	[100]	3407
[100]	[010]	2286
[110]	[110]	3766
[110]	[110]	1625
[110]	[001]	2286

Indijev antimonid ima kubično kristalno strukturo, njegova gostota je 5.775 kg/dm^3. Izračunaj elastične konstante kristala in njegovo stisljivost.

2. Molekularne kristale, npr. žlahtne pline v kristalnem stanju, drže skupaj šibke van der Waalsove sile, ki jih dobro opisuje Lennard-Jonesov potencial. V izrazu za potencialno energijo kistala nastopa vsota $A_n = \sum_{R \neq 0} p(R)^{-n}$, pri čemer je n 6 in 12, $p(R)$ pa pove, koliko razdalj med najbližjimi sosedi meri mrežni faktor R. Izračunaj A_12 in A_6 za ploskovno centrirano kubično mrežo z upoštevanjem vsaj 170 najbližjih sosedov!

5.2 2. kolokvij iz FTS

Ponedeljek, 22. februarja 1993, $12^h - 14^h$ v F-4

1. Poišči (približno) najnižjo energijo elektronov na sredini 1. Brillouinove cone in ustrezno valovno funkcijo za potencial. $U(x) - (V_0/2)[1 - cos(2\pi x/a)]$, $V_0 = 6$ eV, $a = 0.3$ nm.

2. Vzemimo, da podaja sklopitev med pari ionov v monoatomarni ploskovno centrirani Bravaisovi mreži Lennard-Jonesov potencial $\Phi(r) - 4\epsilon[(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6]$, ki je odvisen le od razdalje med ioni in kjer je $\epsilon = 0.014$ eV, $\sigma = 0.365$ nm in ravnovesna razdalja med najbližjimi sosedi $\sigma = 1.09$.

   a) Izračunaj zvočne hitrosti (za vse tri polarizacije), če je masa ionov 84 u!

   b) Neobvezno: Poišči dinamično matriko ob upoštevanju še drugih najbližjih sosedov!

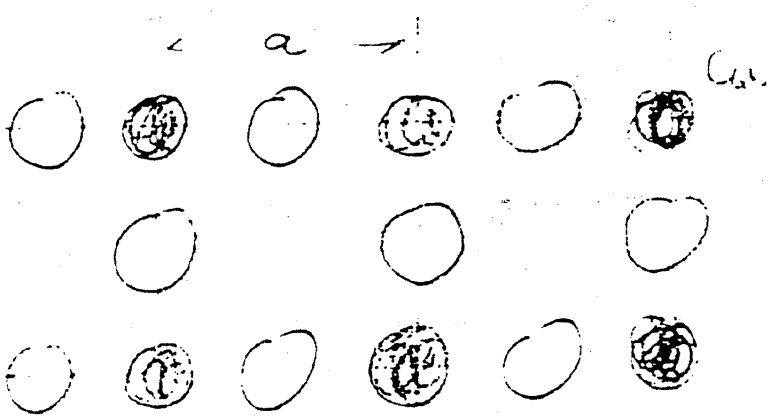
6 1993/94

7 1994/95

7.1 Pismena vaja - Fizika trdne snovi

17.1.1995

1. Obravnavaj sipanje na poenostavljenem modelu strukture oksidnih superprevodnikov. Bistveni sestavni del teh materialov so ravnine elementov bakra in kisika, z razdaljo $Cu - Cu$ $a = 3.5$ Å in z razdaljo med ravninami $c = 6.6$ Å.



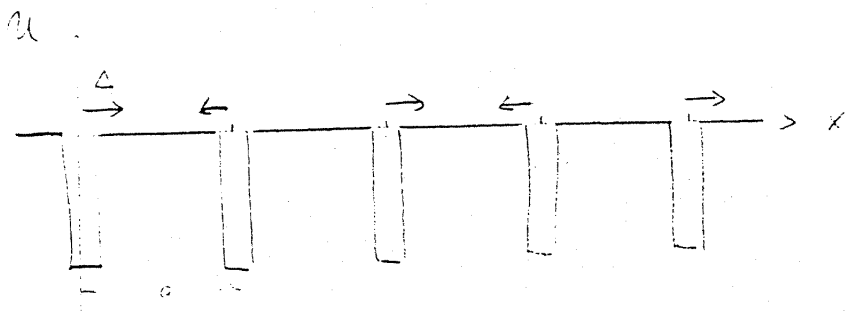
a) Izračunaj strukturni faktor take strukture in ugotovi, koliko različnih intenzitet sipanja je možnih (ob zanemaritvi dimenzije atomov in Debye-Wallerjevega faktorja)! Upoštevaj, da je $Z_{Cu} = 29$ in $Z_O = 8$, medtem ko v strukturi nastopajo Cu^{2+} in O^{2-}.

b) Katera je največja valovna dolžina vpadne svetlobe, pri kateri še lahko opazujemo vse (zgoraj navedene) različne sipalne intenzitete.

2. V skoraj enodimenzionalnih kovinskih strukturah često pride do t.im. dimenziracije, kjer se paroma atomi približajo. Obravnavaj model take kovine, to je verigo enovalentnih atomov (povprčena medatomska razdalja $a = 2$ Å), v približku skoraj prostih elektronov. Za potencial ionov privzemi, da so (skoraj) delta funkcije z jakostjo $C = -2$ eVÅ.

a) Skiciraj potek najnižjih pasov in izračunaj ustrezne energijske vrzeli, če se veriga dimenzira in so pri tem premiki posameznih atomov $\Delta = 0.05a$.

b) Koliko se zaradi odpiranja novih energijskih vrzeli zniža celotna energija elektronov (povprečno 1/atom) ? Pri kolikšnem C pride do deformacije verige, če premiki stanejo elastično energijo (efektivna medatomska vzmet je $K = 10$ eVÅ?



7.2 2. pismena vaja iz Fizike trdne snovi

25. maj 1995

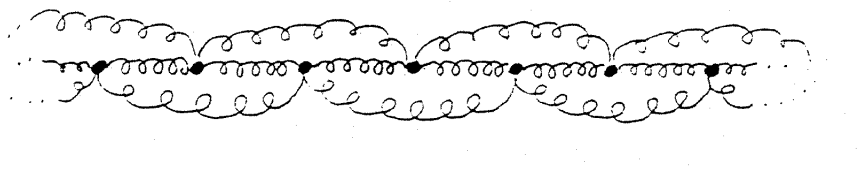
1. Kristal silicija dopiramo z bizmutom ($\epsilon_c - \epsilon_d = 0.069$ eV). Določi koncentracijo bizmutovih atomov, pri kateri bo pri temperaturi 100 K postal polprevodnik degeneriran, t.j. da bo kemični potencial na dnu prevodnega pasu! Računaj:

a) v približku, da je polprevodnik nedegeneriran in

b) točno!

Efektivna izotropna masa je 0.4 m.

2. V enodimenzionalni verigi atomov z maso m so sosedi sklopljeni z vzmetmi s koeficientom vzmeti k_1, drugi najbližji sosedi pa so sklopljeni z vzmetmi s koeficientom k_2 (gl. skico). Določi disperzijo fononskih nihanj! Izračunaj prispevek fononov k specifični toploti tega sistema v limiti: (a) nizkih temperatur in (b) visokih temperatur (odstopanje od klasične vrednosti)!



7.3 Pismeni izpit iz Fizike trdne snovi

6. julij 1995

1. Sloj atomov na površini substrata, ki je izolator, tvori pravilno trikotno mrežo. Elektronski pas sloja lahko opišemo v približku tesne vezi s parametrom skakanja $t = -0.3$ eV.

   a) Izračunaj disperzijo elektronske energije (el. pas)!

   b) Površino postavimo v pravokotno homogeno magnetno polje (1 T). Izračunaj frekvenco ciklotronske resonance (v kvaziklasičnem približku), če je zapolnjeno le dno pasu!

   c) Snov je kovina s polzapolnjenim pasom. Pokaži, da je mogoče v tem primeru izraziti ciklotronsko frekvenco z gostoto stanj pri E_F!

2. Na nevtralnem substratu nastane sloj ionskega kristala, ki tvori kvadratno mrežo (medatomska radalja a = 0.2 nm). Vzporedno s površino in v smeri ene od stranic kvadratne mreže vpada nemonokromatski snop rentgenskih žarkov z energijami med 4 keV - 9 keV.

   a) Določi vse kote, pri katerih dobimo Braggove odboje! Kateri od odbojev so močnejši?

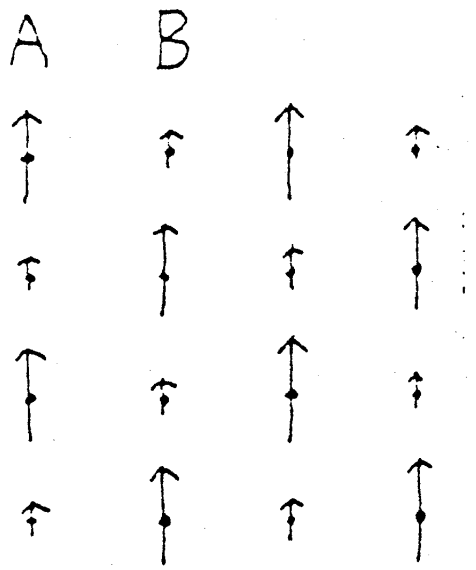
   b) Oceni vezavno energijo površinskega sloja na osnovi Coulombskih interakcij!

3. Na površini Si dopiranega z As ($N_d = 10^{18}/\mathrm{cm}^3$) tvorimo kontakt z kovino. Fermijeva energija kovine se ujema s sredino prepovedanega pasu pri Si (primer Schottkyjeve bariere).

   a) Izračunaj odvisnost napetostnega skoka na stiku v odvisnosti od temperature ($T >> E_g$)!

   b) Kolikšna je debelina zaporne plasti (v Si) pri sobni temperaturi?

4. V ferimagnetu imamo dve vrsti magnetnih dipolov urejenih v kvadratno mrežo (gl. skico). Tak sistem opišemo z modelom podobnim Heisenbergovemu, s to razliko, da imamo na eni podmreži spine $S_A = 5/2$, na drugi pa $S_B = 3/2$. Sklopitev je feromagnetnega tipa, samo med najbližjmi sosedi in z velikostjo J. V približku povprečnega polja izračunaj T_c in nato magnetizacijo kot funkcijo temperature (v limitah, kjer se to da analitično)!



7.4 Izpit iz Fizike trdnih snovi

5. september 1995

1. Tri različne prašnate vzorce s kubično strukturo kristalov analiziramo z metodo Debye-Scherrerja; t.j. nanje svetimo z rentgensko svetlobo z valovno dolžino 15 nm in detektiramo uklonske kolobarje pod kotom ϕ glede na vpadni curek svetlobe. Znano je, da vzorci kristalizirajo ali v obliki ploskovno centrirane kocke ali telesno centrirane kocke ali pa imajo diamantno strukturo. V spodnji tabeli so v stopinjah podani koti, pri katerih pride do ojačitev za različne vzorce A, B in C:

A	B	C
42.2	28.8	42.8
49.2	41.0	73.2
72.0	50.8	89.0.
87.3	59.6	115.0

   Določi strukturo posameznih vzorcev in mrežno konstanto (stranico kocke) za posamezni vzorec!

2. Elektroni v tanki kovinski (površinski) plasti čutijo šibek periodični potencial ionov:

$$U(x,y) = U_0 cos(2\pi x/b) cos(2\pi y/b),$$

   kjer je $U_0 = 0.5$ eV in $b = 2$ Å.

   a) Določi obliko in velikost 1. Brillouinovo cone za elektrone!

   b) Kolikšni so energijski razcepi med najnižjim in vzbujenim pasom v karakterističnih točkah Brillouinove cone (sredine stranic, oglišča).

   c) Kolikšne so efektivne mase vrzeli v okolici teh točk ?

3. Atomi helija, adsorbirani na vodoravni kovinski površini čutijo zaradi kristalne strukture substrata dodatni periodični potencial $V(x) = -V_0 cos(2\pi x/a_0)$, kjer je $V_0 = 3$ meV, $a_0 = 1$ Å. Obravnavaj vodoravno (longitudinalno) ninanje verige atomov helija, ki so povprečno oddaljeni a_0 in med njimi delujejo medatomske sile z ustrezno konstanto vzmeti $K = 0.1\text{eV/A}^2$.

a) Izračunaj disperzijo mrežinih nihanj verige!

b) Izračunaj prispevek teh nihanj k specinčni toploti snovi (računano na atom He) pri nizkih temperaturah!

c) Skiciraj obnašanje specinčne toplote za višje termperature!

8 1995/96

8.1 Izpit iz fizike trdne snovi I. del - 1995/96

1. Atomi tvorijo enojno plast na površini izolatorja. Ureditev plasti ustreza trikotni mreži. Obravnavaj elektronski pas v plasti v približku tesne vezi (integral preskakovanja 0.3 eV), pri čemer upoštevaj le lokalne s-orbitale.

   a) Izračunaj disperzijo elektronskih energij v pasu in določi energijsko širino pasu.

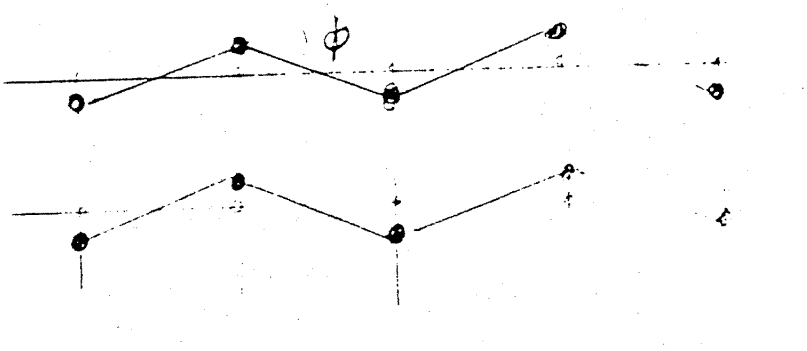
   b) Izračunaj lego ciklotronske resonance v magnetnem polju $B = 1$ T, če je pas skoraj prazen oz. če je skoraj zapolnjen.

   c) Skiciraj gostoto elektronskih stanj (lego van Hove singularnosti. njihovo obliko itd..)

2. Atomi v kristalu tvorijo v normalnem stanju navadno kubično mrežo (mrežni vektor 0.2 nm). Pri nizki temperaturah pride do prehoda v nagubano strukturo, kjer se pojavi modulacija v eni smeri (glej sliko).

   a) Določi nekaj najnižjih sipalnih vektorjev in relativno intenziteto vrhov za nagubano strukturo. Upoštevaj, da je kot nagiba majhen.

   b) Obravnavaj primer z daljšo periodo modulacije, npr. 4, 6 itd.



8.2 Izpit iz trdne snovi - 28.6.1996

1. Za opis kovin, ki vsebujejo atome prehodnih elementov oz. redkih zemelj, lahko služi sledeč enodimenzionalni model v približku prostih elektronov in tesne vezi: Na vsakem mrežnem mestu i upoštevamo dve orbitali $|i, \alpha>$, kjer $\alpha = s$, d predstavljata lokalizirani orbitali, v katerih se lahko nahaja elektron. Lokalni energiji stanj sta v splošnem različni in sicer ϵ_s, ϵ_d. Matrični element med sosednjimi mrežnimi mesti t je znaten le za s orbitale, za d orbitale pa je zanemarljiv. Hkrati pa je pomemben lokalni matrični element (hibridizacija) V med s in d orbitalami.

   a) Zapiši za tak model enoelektronsko energijo (znotraj približka tesne vezi) in formuliraj postopek za izračun enodelčnih pasovnih energij $E(k)$.

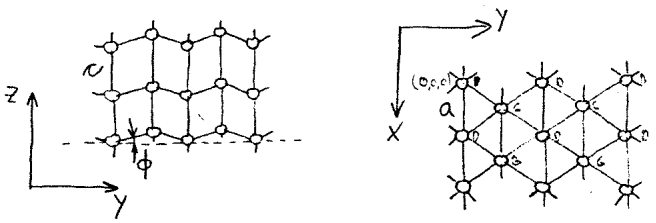
   b) Izračunaj $E(k)$ in jo skiciraj za posebni primer $\epsilon_s = \epsilon_d = 0$. Izračunaj za ta primer širino energijske reže.

   c) Ali je sistem prevodnik ali izolator v primeru, ko je število elektronov $N_e = 2N$ (N je število mest) ?

2. Atomi v kristalu tvorijo v normalnem stanju heksagonalno mrežo (medatomska razdalja v ravninah 0.15 nm, razdalja med ravninami 0.2 nm). Pri nizkih temperaturah pride do prehoda v nagubano strukturo, kjer se pojavi modulacija vzdolž ravnine (glej sliko).

   a) Določi nekaj najnižih sipalnih vektorjev in relativno intenziteto vrhov za nagubano strukturo. Upoštevaj, da je kot nagiba ϕ zelo majhen.

   b) (dodatno) Obravnavaj primer z daljšo periodo modulacije, npr. 4, 6 itd.



3. Nizkoenergijska stanja nekaterih organskih molekul lahko modeliramo s parom spinov ($S_i = 1/2$), med katerima deluje antiferomagnetna sklopitev $H = J\vec{S_1} \cdot \vec{S_2}$, $J > 0$, slopitev med različnimi spinskimi pari (molekulami) pa lahko zanemarimo.

   a) Izračunaj spinski prispevek k specifični toploti, če je podano število molekul na enoto volumna - n_m. Skiciraj temperaturno odvisnost specifične toplote.

   b) Izračunaj temperaturno odvisnost magnetne susceptibilnosti.

   c) (dodatno) Kako se obnašanje spremeni, če je sklopitev feromagnetna $J < 0$?

8.3 Izpit iz fizike trdne snovi - 12.9.1996

1. Atomi tvorijo enojno plast na površini izolatorja. Ureditev plasti ustreza trikotni mreži z medatomsko razdaljo 0.2 nm. Obravnavaj elektronski pas v približku skoraj prostih elektronov, kjer je šibek privlačni potencial ionov omejen znotraj radija 0.05 nm posameznega atoma (globina potenciala je 0.1 eV).

   a) Oceni, kolikšna je zaradi potenciala energijska vrzel med najnižjima elektronskima pasovoma.

   b) Oceni, koliko se zaradi potenciala spremeni efektivna masa elektronov na dnu najnižjega elektronskega pasu.

2. Kristal germanija dopiramo s fosforjem ($\epsilon_c - \epsilon_d = 0.012$ eV). Določi koncentracijo fosforjevih atomov, pri kateri bo pri temperaturi 100 K postal polprevodnik degeneriran, t.j s kemičnim potencialom na dnu prevodnega pasu. Efektivna izotropna masa elektronov je $0.4\, m_e$. Računaj: (a) v približku, da je polprevodnik nedegeneriran, in (b) točno !

3. Obravnavaj tranverzalna mrežna nihanja površinske plasti atomov, ki tvorijo trikotno mrežo. Predpostavi, da so atomi povezani z enostavnimi (pred)napetimi vzmetmi, katerih konstanta vzmeti je znana. Zapiši enačbe gibanja za odmike in ugotovi disperzijo mrežnih nihanj. Kakšna je porazdelitev odmikov pri najvišji frekvenci ?

4. Paramagnetno sol z ioni cera (efektivni $J = 5/2$, koncentracija ionov 10^{17} cm^{-3}) uporabljamo za magnetno hlajenje.

   a) Kolikšna je maksimalna spinska entropija pri $T = 10$ K ? Pri kolikšnem polju se spinski prispevek entropiji zmanjša za polovico ?

   (a) Koliko toplote lahko spinski sistem največ absorbira ob demagnetizaciji pri tej temperaturi ?

8.4 Pismeni izpit - fizika trdne snovi - 4.12.1996

1. Enoatomni kristal tvori b.c.c mrežo. Elektronski pas lahko obravnavamo znotraj približka tesne vezi, kjer je medatomska razdalja 0.2 nm in parameter skakanja $t = 0.2$ eV.

   a) Izračunaj in prikaži disperzijo elektronske energije !

   b) Določi gostoto stanj na dnu in na vrhu pasu. Ugotovi tudi lego sedlastih singularnosti in skiciraj energijsko odvisnost gostote stanj !

2. Spojina AB_2 tvori površinsko plast, katere struktura je mreža satovja z bazo (v sredi vsakega šesterokotnika atomov B je en atom A), pri čemer je medatomska razdalja 0.3 nm.

   a) Izračunaj sipalne vektorje Braggovih odbojev in relativne intenzitete odbojev !

   b) Rentgenska svetloba z valovno dolžino $\lambda = 0.1$ nm vpada (skoraj) vzporedno s površino v smeri zveznice med atomi. Določi smeri nekaj Braggovih odbojev !

3. V enodimenzionalni verigi atomov z maso m so sosedi sklopljeni s koeficientom vzmeti k_1, drugi najližji sosedi pa z vzmetmi s koeficientom k_2.

   a) Določi disperzijo mrežnih nihanj !

   b) Izračunaj prispevek mrežnih nihanj k specifični toploti pri nizkih in visokih temperaturah (odstopanje od klasične vrednosti) !

4. Atomi z magnetnim momentom $J = 3/2$ tvorijo ravninsko mrežo. Preferenčna smer magnetne ureditve je pravokotna na ravnino in sistem popišemo z Isingovim modelom s (antiferomagnetno) sklopitvijo $J = -0.1$ eV.

   a) Razišči možne magnetne ureditve pri nizkih temperaturah $T \sim 0$.

   b) Ugotovi temperaturo prehoda v urejeno stanje.

9 1996/97

9.1 Pisni izpit iz Trdne snovi

Ljubljana, 27.april.1997

1. Barijev titanat $BaTiO_3; Ba^{2+}, Ti^{4+}$ tvori ionski kristal (slika). Razdalja med sosednjimi Ba atomi naj bo a.

   a) Izračunaj geometrijski strukturni faktor $S_{\vec{K}}$.

   b) Na kristal posvetimo z monokromatsko svetlobo z valovno dolžino $\lambda = \sqrt{2}a/2$ v smeri $\vec{n} = (1, 1, 0)$. V katerih smereh opazimo ojačeno sipanje.

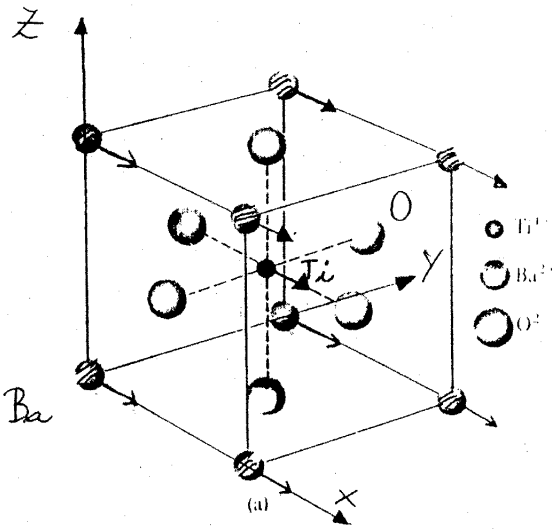
   c) Pod Curiejevo temperaturo se struktura deformira tako, da se Ba in Ti atomi vzporedno premaknejo v smeri $vecd = (d, 0, 0)$, kot nakazuje slika. Za koliko se v tem primeru razlikujejo intenzitete sipane monokromatske svetlobe (glej vprašanje b). V prvem približku računaj, kot da se kristalna struktura, ki jo tvorijo samo O oziroma Ba ali Ti atomi ne deformira.

2. Elelktroni se gibljejo v šibkelm dvodimenzionalnem potencialu s simetrijo pravilne trikotne mreže z razdaljo med atomi a. Potencial v bližini atoma mreže zapišemo kot

$$U(r) = \begin{cases} -U_0 & \text{za} \quad r < \rho \\ 0 & \text{za} \quad r > \rho \end{cases} \tag{1}$$

   pri čemer naj bo $\rho << a$. V približku šibkega periodičnega potnciala izračunaj razcep pasov na:

   a) sredini stranice in v ogljišču Brilllouinove cone.

b) Vzemimo, da se v kristalu nahaja toliko prevodniških elektronov, kot je atomov. Pri kateri velikosti privlačnega potenciala U_0 sistem preide iz kovine v polprevodnik?

c) (Dodatno vprašanje:) Izračuaj efektivno maso vrzeli v ogjišču Brilllouinove cone.