
PHYS-C0240 Materiaalfysiikka, kevät 2019

Laskuharjoitus 1. Palautus viimeistään perjantaina 26.4. klo 10.00.

Tehtävä 1.

Debyen ominaislämpömalli 2D-materiaalille. Aiemmin tarkastelimme Debyen ominaislämpömallia 3D-materiaalille. Johda nyt Debyen mallin mukainen ominaislämmön lauseke vastaavasti 2D-materiaalille. Oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi neliömäinen kide, jonka pinta-ala on $L \times L$, ja jossa on N värähtelevää ionia.

- Määritä ensin sallitut ominaisvärähtelymoodit tässä materiaalissa (ts. mitkä \vec{k} -vektorit ovat sallittuja) olettamalla periodiset reunaehtot ja etenevät tasoallot ominaisvärähtelymoodeille.
- Määritä sitten ominaisvärähtelymoodien tilatiheys $g(\omega)$ olettamalla lineaarinen dispersiorelaatio $\omega = v|k|$ ja sama äänen nopeus sekä poikittaiselle että pitkittäisille värähtelyn polarisaatioille kaikissa suunnissa.
- Kirjoita lauseke hilavärähtelyjen kokonaisenergialle ja johda tästä yleinen lauseke ominaislämmölle. Määritä lopuksi ominaislämmön likimääräinen muoto hyvin matalissa ($T \rightarrow 0$) sekä hyvin korkeissa ($T \rightarrow \infty$) lämpötiloissa. Vertaa tuloksiasi 3D-tapaukseen.

Tehtävä 2.

Debye malli. (Simon 2.2 b ja Simon 2.5)

- Oppikirjan tehtävän 2.2 taulukossa (kts. taulukko 1 alla) on annettu KI:n (kaliumjodidin) ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona. Määritä KI:n Debyen lämpötila $k_B T_D = \hbar \omega_D$ eri lämpötilojen mittausten perusteella. Millä lämpötila-alueella sovitus näyttäisi luotettavimmalta? Mistä tämä johtuu?
- Arvioi oppikirjan kuvan 2.3 (kts. kuva 1 alla) tuloksista timantin Debyen lämpötila. Miksi se eroaa kirjan taulukon 2.2 tuloksesta 1850 K?

Tehtävä 3.

Aiemmissa Debyen mallin tarkasteluissa olemme olettaneet, että ominaisvärähtelyjen pitkittäisen (L, longitudinal) ja poikittaisten (T, transverse) polarisaatioiden äänen nopeudet ovat samat. Poistetaan nyt tämä rajoitus, jolloin eri polarisaatioilla ovat äänen nopeudet v_L , $v_{T,1}$ ja $v_{T,2}$. Muodosta nyt Debyen mallin mukainen lauseke kuutiollisen 3D-materiaalin (N värähtelevää ionia) ominaislämmölle.

Tehtävä 4.

Druden malli ja Hallin ilmiö (Simon 3.1 c). Arvioi Hallin jännitteen suuruus Na-lankanäytteelle, jonka poikkipinta on neliö 5 mm x 5 mm. Näytteessä kulkee 1 A:n virta ja lanka on 1 T:n poikittaisessa magneettikentässä (kenttä on langan pinnan normaalin suuntaan). Natriumin tiheys on n. 1 g/cm³ ja atomimassa on n. 23 amu. Millaisia kokeellisia vaikeuksia voit kuvitella kohdattavan?

Taulukko 1.

$T(\text{K})$	$C(\text{J K}^{-1}\text{mol}^{-1})$
0.1	8.5×10^{-7}
1.0	8.6×10^{-4}
5	.12
8	.59
10	1.1
15	2.8
20	6.3

Kuva 1.

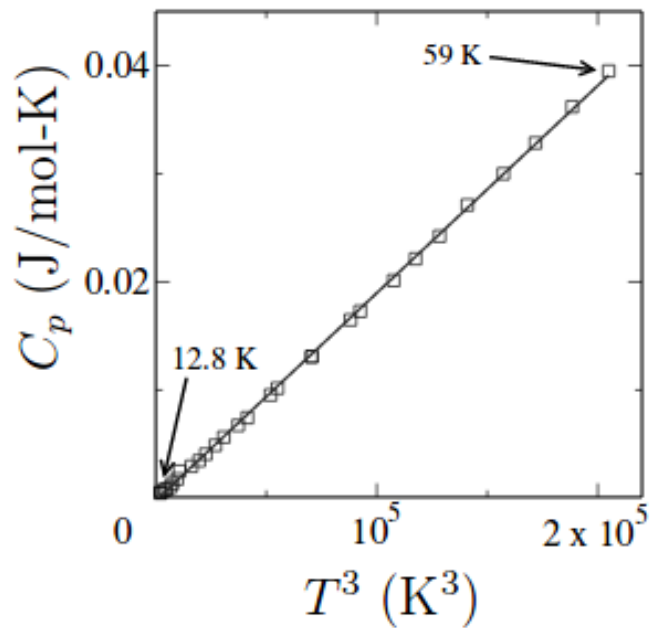


Fig. 2.3 Heat capacity of diamond is proportional to T^3 at low temperature. Note that the temperatures shown in this plot are far far below the Einstein temperature and therefore correspond to the very bottom left corner of Fig. 2.2. Data from Desnoyehs and Morrison, *Phil. Mag.*, **3**, 42 (1958).