

## Inleiding fysica Vaste Stof

### Huiswerk-opgaven 3<sup>de</sup> serie

Inleveren voor maandag 30 mei 2011, 12.00 uur in mijn postvak, Oort 1<sup>ste</sup> verdieping.

#### 1. Fononen in een twee-dimensionaal systeem

Beschouw een twee-dimensionaal systeem met een enkele fonontak waarvan de dispersierelatie gegeven wordt door

$$\omega^2 = \omega_0^2 (2 - \cos(k_x a) - \cos(k_y a)) \text{ met } -\pi/a < k_x, k_y \leq \pi/a$$

Zie ook de figuur. Deze dispersierelatie is een rechtstreekse uitbreiding van het één-dimensionale geval.

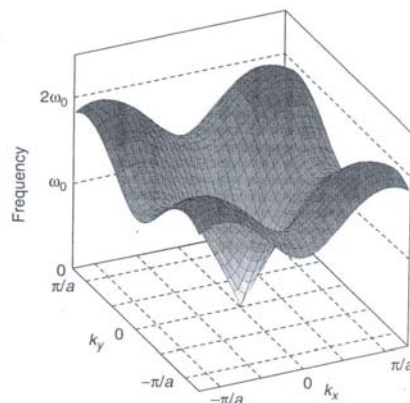


Figure 4.3 Two-dimensional phonon dispersion given by Equation 4.9.

- Maak een tekening van deze functie langs de (10) richting (x-as) en de (11)-richting (diagonaal ofwel  $k_x = k_y$ ).
- Wat is de maximale fononfrequentie?
- Bereken de toestandsdichtheid  $D(\omega)$  analytisch.
- Bereken de toestandsdichtheid numeriek, door het geldige gebied van  $k_x$  en  $k_y$  waarden in gelijke delen te verdelen (een vierkant netwerkje met niet te veel en niet te weinig punten; tussen de 50 en de 100 zal wel werken), en te bekijken voor hoeveel  $k_x, k_y$  waardes de frequentie in een bepaald interval valt, en maak een histogram (U mag dat met een computer doen, en met welk programma u maar prettig vindt: Excel, Origin, Matlab). Teken dat histogram. Dit is om te laten zien dat de toestandsdichtheid niet echt divergeert. Deze methode wordt in werkelijkheid veel gebruikt, omdat de dispersie relaties meestal numeriek berekend worden, en niet analytisch bekend zijn. Zie ook de artikelen die op Blackboard gezet zijn betreffende de fonondispersie in LiH : theorie en experiment.
- Gebruik nu de Debije benadering en bereken ook de toestandsdichtheid. Wat is de Debijefrequentie  $\omega_D$  tov  $\omega_0$ ? Teken in dezelfde grafiek de Debije toestandsdichtheid.

#### 2. zie volgende pagina

## 2. Fonenen en elektrische geleiding

a. Bereken het aantal fononen in het (drie-dimensionale) Debije model, waarbij sprake is van 3 fonontakken, met elk een geluidssnelheid  $v_s$ ,  $s = 1, 2, 3$ . Het aantal atomen is  $N$ . Laat zien dat dit aantal

gelijk is aan ,

$$N_f = \sum_{s=1}^3 N_s = \sum_{s=1}^3 3N \left( \frac{k_B T}{\hbar \omega_{D,s}} \right)^3 \int_0^{x_s} \frac{x^2}{e^x - 1} dx$$

waarbij  $x_s = \left( \frac{\hbar \omega_{D,s}}{k_B T} \right)$

b. Laat zien dat in de hoge temperatuur limiet  $N_f \propto T$ , en in de lage temperatuurlimiet  $N_f \propto T^3$

c. Bespreek het verband tussen het aantal fononen en het hieronder geschetste karakteristieke gedrag van de elektrische soortelijke weerstand  $\rho$  van een bepaald (niet geheel zuiver) metaal, door de voornaamste fysische processen te beschrijven, die de weerstand bepalen. Verklaar de temperatuurafhankelijkheid van de weerstand in de volgende temperatuurgebieden:

- $T < 4$  K
- $T \approx 20$  K
- $T \approx 300$  K

