

Vorlesung 1

Monday, 14. October 2019 15:06

1. Festkörperphysik (FK-Phys.) - Vorwort

Wikipedia: Die Festkörperphysik befasst sich mit der Physik von Materie im festen Aggregatzustand

- vor allem kristalline Festkörper
- kondensierte Form der Materie (Festkörper, Flüssigkeiten)
- extrem viele Konstituenten
- starke Wechselwirkungen
- FKp ist ca. 120 Jahre alt

$$FKP = \frac{1}{3} \text{Physik} \quad \text{z.B. APS March Meeting: 8000 Teilnehmer, 50 talks parallel}$$

1.1 Warum studieren wir FK?

- fast alles um uns sind FK
 - warum glänzen Metalle?
 - warum fühlen sich Metalle kalt an?
 - warum sind Gläser transparent?
 - warum fühlt sich Wasser naß an?
 - warum ist Gummi weich und elastisch?
- FKp ist sehr nützlich
 - neue Materialien entdecken
 - neue Eigenschaften entdecken
 - z.B. Halbleiter $\leadsto$ Computer, Handy
- FKp geht sehr "tief"
 - $\leftarrow$ hat seine Idee von FKp bekommen
 - Higgs Bosonen Physik ist ähnlich wie Supraleiter Phy.
 - 50 Nobel-Preisträger
- Labor für Quantenphysik und statistische Phys.

1.2. Vorgehensweise der Vorlesung

Wie können wir FK untersuchen $\Rightarrow$ und dann verstehen?

- Wärme
- elektrische Felder $\leadsto$ Strom
- mag. Felder $\leadsto$ Widerstandsänderung
- Bestrahlung (Photonen, e^- , Neutronen, Neutrino ...)
- Verbiegen (Ausglühen $\leadsto$ weich)
(Abschrecken $\leadsto$ hart)

1.3 Aufbau der Vorlesung

1. Einführung in FKp
2. Spezifische Wärme von FK (Boltzmann, Einstein, Debye) Zustandsdichte
3. Elektronen in Metallen (Drude) Dispersionsrelation
4. Freie Elektronen Theorie (Sommerfeld) Schall, Fermi-Energie
5. Was halten FK zusammen? (chemische Bindung) Fermi-See
6. Verschiedene Typen von Materie (ionisch, kovalent, metallisch)
7. 1D-Modelle (Kompressibilität, Schall, thermische Ausdehnung) VdW, Wasserstoffbrücken
8. Vibrationen in 1D (eiatomische Kette) Kristall-Flüssigkeit
9. Vibrationen in 1D (zweiatomische Kette) Phononen
10. Modell von festgebundenen e^- (tight binding) akustischer/optischer Zweig
11. Kristallstrukturen 3D
12. Reziprokes Gitter 3D Wigner-Seitz-Zelle
13. Streuung im Kristall (e^- , Neutronen, Röntgenstrahlen) Brillouin Zone, Bravais-Gitter
14. Elektronen im periodischen Potential
15. Isolatoren, Halbleiter, oder Metalle
16. Halbleiter Physik
17. Magnetismus
18. Supraleitung

I. Festkörperphysik ohne mikroskopischer Struktur

2. Spezifische Wärme vom FK: Boltzmann, Einstein, Debye

Spezifische Wärme eines idealen Gases

$$C_v = \frac{3}{2} k_B \text{ pro Atom}$$

Dulong-Petit-Gesetz (1819)

$$C_{mol} = 3R \approx 3 \cdot 8,3 \text{ J/mol}\cdot\text{K} \quad R: \text{universelle Gaskonstante}$$

$$C = 3 k_B \text{ pro Atom}$$

Modell von Boltzmann (1896)

- Teilchen im FK sind an ihre Plätze im Kristallgitter gebunden
- harmonische Oszillator $\left(\omega \right)$
- Gleichverteilungssatz der klassischen statistischen Thermodynamik
 - im Mittel: $E_{kin} = \frac{1}{2} k_B T$
 - $E_{kin} = E_{pot}$ kinetische = potentielle Energie
 - für x, y, z - Richtung

$$\Rightarrow E_{total} = 3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} k_B T = 3 k_B T \text{ pro Atom}$$

$$E_{mol} = 3 \cdot N_A \cdot k_B T = 3RT \quad \text{Avogadro-Kon.}$$

$$C_{mol,v} = \left(\frac{\partial U_{mol}}{\partial T} \right)_v \approx C_{mol,p} = \left(\frac{\partial H_{mol}}{\partial T} \right)_p \approx 3R$$

U: innere Energie

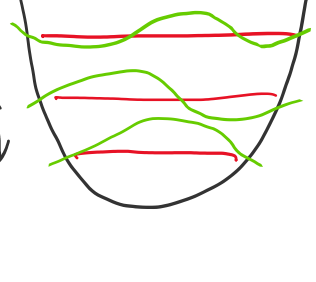
H: Enthalpie

Material	C/R (300K)
Al	2,91
Cu	2,94
Ag	3,05
Ag	2,99
Diamant	0,735

2.1 Einstein Modell (1907)

- Modell von Boltzmann + Quantenphysik ! Quanten-phy. war aber noch nicht entdeckt
- Gitterschwingungen des Kristalls werden quantisiert
- Quanten nennt man Phonone mit Energie $\hbar \omega_E$

1D Harmonischer Oszillator



$$E_n = \hbar \omega_E \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad n = 0, 1, \dots \quad \hbar \omega_E \uparrow$$

(2.1) ω_E : Einstein Frequenz

$$\beta = \frac{1}{k_B T}$$

Partitionsfunktion

$$Z_{1D} = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta \hbar \omega \left(n + \frac{1}{2} \right)} = \frac{e^{-\beta \hbar \omega / 2}}{1 - e^{-\beta \hbar \omega}}$$

$$= \frac{1}{2 \sinh(\beta \hbar \omega / 2)}$$

Erwartungswert der Energie

$$\langle E \rangle = - \frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta} = \frac{\hbar \omega}{2} \coth(\beta \hbar \omega / 2) = \hbar \omega \left(n_B(\hbar \omega) + \frac{1}{2} \right)$$

$$n_B(x) = \frac{1}{e^x - 1} \quad \text{Bose-Besetzungsfaktor, Bose-Einstein-Verteilung}$$

$$\langle E \rangle = \hbar \omega \left(n_B(\beta \hbar \omega) + \frac{1}{2} \right)$$

$\Rightarrow$ Mode ω ist von n_B Bosonen besetzt

Wärmekapazität

$$C = \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T} = k_B (\beta \hbar \omega)^2 \frac{e^{\beta \hbar \omega}}{(e^{\beta \hbar \omega} - 1)^2}$$

für hohe Temperaturen $C \rightarrow k_B$ (Dulong-Petit)

$$3D \quad E_{n_x, n_y, n_z} = \hbar \omega \left[\left(n_x + \frac{1}{2} \right) + \left(n_y + \frac{1}{2} \right) + \left(n_z + \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$Z_{3D} = [Z_{1D}]^3$$

$$\leadsto \langle E_{3D} \rangle = 3 \langle E_{1D} \rangle$$

$$\Rightarrow C = 3 k_B (\beta \hbar \omega)^2 \frac{e^{\beta \hbar \omega}}{(e^{\beta \hbar \omega} - 1)^2}$$



- nur ein Parameter:

Einstein Frequenz, Einstein Temperatur

$$\hbar \omega =: k_B T_{\text{Einstein}}$$

- Diamant hat hohe T_{Einstein} , da sehr hart $\hat{=}$ starke Bindungskräfte

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad k \text{ groß und } m \text{ klein}$$

- Einstein Modell hat jedoch relativ starke Abweichungen für tiefe T