

**Übungen zur Vorlesung Moderne Physik für Lehramtskandidaten,
Geophysiker, Meteorologen und Ingenieurpädagogen**

Sommersemester 2023

Prof. D. Hunger, M.Sc. J. Hessenauer

Fakultät für Physik

Physikalisches Institut

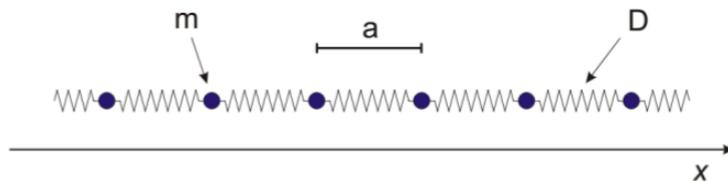
Übungsblatt Nr. 12

Ausgabe: 10.07.2023

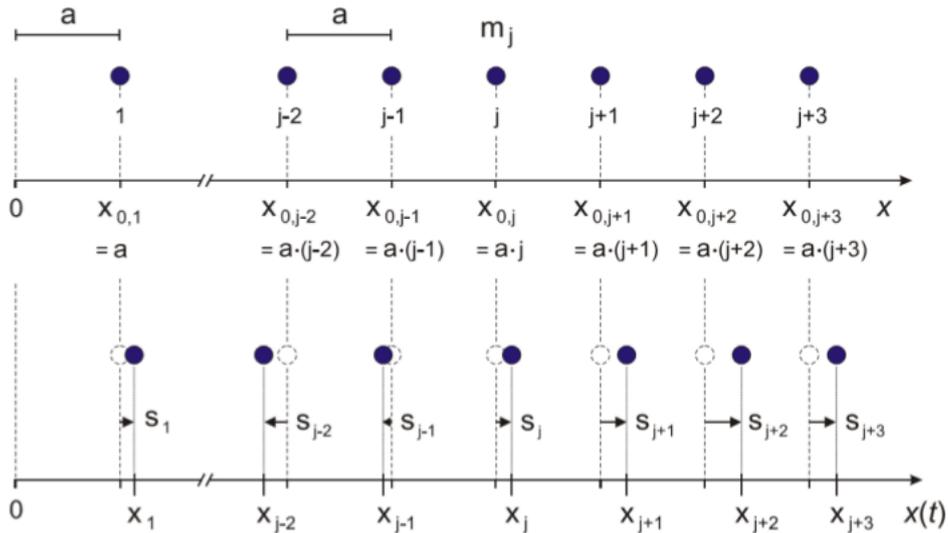
Besprechung: 18.07.2023

Aufgabe 1: Phononen in Festkörpern

Wir betrachten ein eindimensionales Atomgitter mit einem Atom in der Basis. Die Masse des Atoms ist m . Der Gitterabstand ist a . Die lineare Kette, die dieses Atomgitter repräsentiert, heißt lineare einatomige Kette. Sie besteht aus Punktmassen der Masse m mit dem Ruheabstand a , verbunden durch identische, masselose Hookesche Federn mit der Federkonstante D .



Zur mathematischen Behandlung werden die Massenpunkte mit dem Index j indiziert. Als Koordinatenachse wählen wir eine x -Achse parallel zur Kette, da sich die Massepunkte nur längs x bewegen können (longitudinale Auslenkung). $x_j(t)$ ist dann die momentane Position des Massenpunktes mit der Nummer j . Sie lässt sich zerlegen in die Gleichgewichtsposition $x_{0j}(t)$ und die Auslenkung aus dieser Gleichgewichtsposition, $s_j(t)$. Es gilt: $x_j(t) = x_{0j}(t) + s_j(t)$.



- a) Stellen Sie für die Koordinate $x_j(t)$ bzw. $s_j(t)$ einer longitudinalen Auslenkung des Massenpunktes s die Bewegungsgleichung auf. [1P]
- b) Der Lösungsansatz lautet: $s_j(k, \omega, t) = s_0 \cdot \exp[i \cdot (k \cdot a \cdot j - \omega \cdot t)]$. Erläutern Sie diesen und leiten Sie damit die Dispersionsrelation $\omega(k)$ der Phononen für die betrachtete Anordnung her. [1P]
- c) Wie verhält sich die Dispersionsrelation im Grenzfall für $k \rightarrow 0$? Was ist hier die Phasengeschwindigkeit und die Gruppengeschwindigkeit $d\omega/dk$? [0.5P]
- d) Wie verhalten sich die Phasen- und die Gruppengeschwindigkeit für $k \rightarrow \pm\pi/a$? [0.5P]
- e) Skizzieren Sie den Verlauf der Funktion $\omega(k)$ unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus 3 und 4 und zeigen Sie, dass die Funktion $\omega(k)$ ein periodisches Verhalten mit einer Periode von $2\pi/a$ aufweist. [0.5]
- f) Im Grenzfall langer Wellenlängen ($k \rightarrow 0$) beschreibt die Dispersionsbeziehung das Verhalten normaler Schallwellen. Berechnen Sie für ein hypothetisches einfach kubisches (sc) Metall (benutzen Sie die Massenzahl von Eisen $m_{Fe} = 55.8u$) die longitudinale Schallgeschwindigkeit. Benutzen Sie $D = 100 \text{ N/m}$ und $a = 0,2 \text{ nm}$. [0.5P]

Aufgabe 2: Elektronen im Festkörper

- a) Aus welchen zwei Komponenten setzt sich die Wärmekapazität von Metallen zusammen? Erläutern Sie, welche Bewegung welcher Teilchen zur inneren Energie U beiträgt und gebene Sie die jeweiligen Ausdrücke für die spezifische Wärmekapazität c_v an. Wie sieht jeweils die klassische Erwartung aus? [1P]

- b) Skizzieren und erläutern Sie die Bandstruktur eines Leiters, eines Halbleiter und eines Isolators. [0.5P]

An einen Kupferdraht von 50cm Länge und 0.1mm Durchmesser wird eine Spannung von 0.5V angelegt. Eigenschaften von Kupfer:

Dichte $\rho_{\text{Cu}} = 9.0\text{g/cm}^3$, spezifische Leitfähigkeit $\sigma_{\text{Cu}} = 6 \cdot 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, Molare Masse $M_{\text{Cu}} = 63.55\text{g/mol}$, Fermi-Energie $E_{\text{F,Cu}} = 6.96\text{eV}$. Benutzen Sie $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$ und $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4.1 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$.

- (a) Berechnen Sie mit Hilfe der oben angegebenen Eigenschaften von Kupfer den Strom durch den Kupferdraht sowie die mittlere Driftgeschwindigkeit der Elektronen (ein Leitungselektron pro Cu-Atom). [0.5P]
- (b) Geben Sie den Zusammenhang zwischen der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit σ , der Ladungsträgerdichte der Elektronen, n_e , und der mittleren Stosszeit, τ , an und berechnen Sie diese für Kupfer. [0.5P]
- (c) Wie groß ist die Geschwindigkeit der Leitungs-Elektronen in Kupfer? [0.5P]
- (d) Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge für Elektronen in Kupfer. [0.5P]

Aufgabe 3: Halbleiter

- (a) Ein Photon der Wellenlänge $3.35 \mu\text{m}$ hat gerade genügend Energie, um ein Elektron vom Valenzband in das Leitungsband in einem Bleisulfid-Kristall anzuregen. Berechnen Sie die Energielücke zwischen beiden Bändern. Geben Sie die Temperatur an, für die dieser Wert der mittleren thermischen Energie entspricht. [0.5P]
- (b) Welchen Typ von Halbleiter erhält man, wenn Silizium mit Aluminium oder mit Phosphor dotiert wird. *Hinweis: Schauen Sie die Elektronenkonfigurationen nach.* [0.5P]
- (c) Bei Raumtemperatur beträgt die Bandlücke von Silizium 1.14 eV und die von Zinksulfid 3.6 eV. Sind diese Materialien für sichtbares Licht undurchlässig oder transparent? Begründen Sie jeweils Ihre Antwort. [0.5P]
- (d) Skizzieren Sie die I(U)-Kennlinie einer typischen Diode und erklären Sie kurz die verschiedenen Bereiche. [0.5P]
- (e) An einer Halbleiterdiode, die in Sperrrichtung geschaltet ist, kann bei Raumtemperatur kein merklicher Strom gemessen werden. Erwärmt man die Diode durch den Luftstrom eines Föhns, fließt ein Strom von ca. $20 \mu\text{A}$. Wie kann dieser Strom zustande kommen? [0.5P]

Weitere Informationen und Updates zur Vorlesung/Übung finden Sie auch hier:
https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2093879&client_id=produktiv