

**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. 11  
Bindung und Kristallgitter**

Ausgabe: 3.07.2023

Besprechung: 11.07.2023

**Aufgabe 1: Ionische Bindung**

Natrium (Na) besitzt eine Ionisierungsenergie  $E_I = 5.14 \text{ eV}$ . Im Vergleich zur Ionisierungsenergie beschreibt die sogenannte Elektronenaffinität die Energie, die freigesetzt wird, wenn sich ein Atom ein zusätzliches Elektron einfängt. Die Elektronenaffinität bei Fluor (F) beträgt  $E_A = 3.4 \text{ eV}$ . Aus den Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{F}^-$  wird durch Bindung das Molekül Natriumfluorid (NaF) gebildet.

- a) Wie viel Energie  $E_{\text{Ion,ges}}$  wird zur Bildung der Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{F}^-$  aus den ungeladenen Atomen benötigt? Bei Natriumfluorid haben die Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{F}^-$  einen Gleichgewichtsabstand  $r_0 = 0.193 \text{ nm}$ . Wie groß ist die elektrostatische potentielle Energie ( $E_{\text{Coulomb}}$ ) der Ionen  $\text{Na}^+$  und  $\text{F}^-$  bei diesem Abstand? Erklären Sie mit den Ergebnissen, warum Na und F eine ionische Bindung eingehen. [1P]
- b) Je näher sich die Ionen kommen, desto größer wird die elektrostatische Anziehung. Erklären Sie qualitativ, warum das Potenzial trotzdem ein Minimum besitzt. [1P]
- c) Die Dissoziationsenergie  $E_D = 4.99 \text{ eV}$  ist die Energie, die aufgebracht werden muss, um den gebundenen Zustand NaF in die (neutralen) Atome Na und F zu trennen. Schätzen Sie mit diesen Werten die Größe der durch das Pauli-Prinzip bewirkten Abstoßung  $E_{\text{Pauli}}$  nach folgender Formel ab (im Gleichgewichtsabstand  $r_0$ ):  $E_D + E_{\text{Pauli}} + E_{\text{Ion,ges}} = -E_{\text{Coulomb}}$  [1P]

**Aufgabe 2: H-Cl-Molekül**

Gasförmiger Chlorwasserstoff absorbiert auf Grund der Molekülschwingungen Infrarotlicht der Wellenlänge  $\lambda_{\text{HCl}} = 3.3 \mu\text{m}$ . Bestimmen Sie daraus die "Rückstellkraft" im als näherungsweise harmonisch angenommenen bindenden Potenzial zwischen dem Wasserstoff- und dem Chloratom. Geben Sie explizit das Potenzial an. Schätzen sie damit die (klassische) Schwingungsamplitude für den ersten angeregten Zustand ab (semiklassische Überlegung anstellen!). [1.5P]

Benutzen Sie:

Planck'sches Wirkungsquantum  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} = 4.1 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ ,

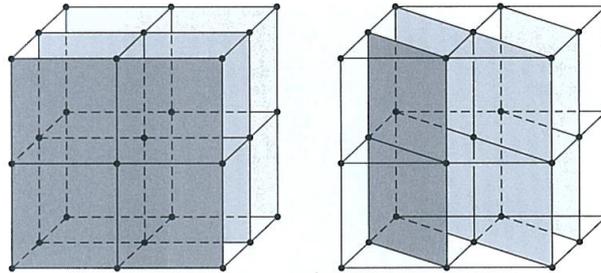
Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,

Masse von Wasserstoff  $m_{\text{H}} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,

Masse von Chlor  $m_{\text{Cl}} = 58.9 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

### Aufgabe 3: Kristallgitter

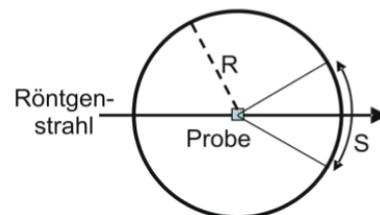
- a) Berechnen Sie den Gleichgewichtsabstand  $r_0$  (Abstand zwischen zwei benachbarten Atomen) in „Kochsalz“ (NaCl) aus der gemessenen Dichte der Substanz ( $\rho = 2.16 \text{ g/cm}^3$ ) und seiner Molmasse,  $M_{\text{NaCl}} = 58.4 \text{ g/mol}$ . Nehmen Sie dafür ein würfelförmiges Einheitsvolumen mit der Kantenlänge  $r_0$  an, bei dem die Kanten des Würfels abwechselnd mit  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  besetzt sind. [1P]
- b) Die  $K_\alpha$ -Röntgenlinie von Molybdän ( $\lambda = 0,071 \text{ nm}$ ) trifft auf die diagonalen Bragg-Ebenen des NaCl-Kristalls (rechtes Bild in Skizze), so dass das erste Beugungsmaximum bei  $\Theta = 10.25^\circ$  beobachtet wird. Bestimmen Sie daraus den Wert  $r_0$ . [1P]



- c) Wie Sie in a) gesehen haben, ist der typische Abstand zweier Atome im Festkörper in etwa  $1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$ . Zur Strukturanalyse von Festkörpern können Elektronen, Neutronen oder Photonen (Röntgenstrahlen) eingesetzt werden. Welche Wellenlänge müssen also Photonen, Elektronen und oder Neutronen haben, um die erste Braggbedingung zu erfüllen? (Rechnen Sie mit  $\Theta = 30^\circ$ ). Wie groß ist Ihr zugehöriger Impuls? [1P]
- d) Welche kinetische Energie müssten Elektronen bzw. Neutronen mit dem entsprechenden Impuls in c) besitzen? Bei welcher Temperatur haben Elektronen bzw. Neutronen diese mittlere kinetische Energie? Verwenden Sie:  $E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} k_b T$ . [1P]

### Aufgabe 4: Debye-Scherrer Verfahren

Beim Debye-Scherrer Verfahren wird monochromatische Röntgenstrahlung an einer polykristallinen Pulverprobe gebeugt. Die Probe befindet sich im Mittelpunkt eines kreisförmig angeordneten Filmstreifens (Radius  $R = 57.4 \text{ mm}$ ). Durch Beugung an einzelnen Netzebenen werden auf dem Film symmetrisch zum Austrittsloch liegende Beugungsringe (Abstand  $S$ ) sichtbar.



- a) Leiten Sie eine allgemeine Formel für den Netzebenenabstand  $d$  als Funktion des Abstands  $S$  der Beugungsringe her. [0.5P]
- b) Es wird die Cu- $K_\alpha$ -Linie ( $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ ) verwendet. Zwei Beugungsringe mit Abstand  $S_1 = 123.6 \text{ mm}$  und  $S_2 = 186.2 \text{ mm}$  werden beobachtet. Berechnen Sie die zugehörigen Netzebenenabstände  $d_1$  und  $d_2$ . [0.5P]

- c) Nehmen Sie an, dass die Substanz die primitiv-kubische Gitterstruktur besitzt. Angenommen  $d_1$  entspricht der Gitterkonstante (d.h. kleinster Abstand benachbarter Atome im Gitter), welcher Netzebene ist dann  $d_2$  zuzuordnen? **[0.5P]**  
(Hinweis: Berechnen Sie  $d_2/d_1$  und vergleichen Sie mit dem Verhältnis von Diagonale und Kantenlänge eines Quadrats.)

---

Weitere Informationen und Updates zur Vorlesung/Übung finden Sie auch hier:  
[https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs\\_2093879&client\\_id=produktiv](https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2093879&client_id=produktiv)