

Prof. Dr. Kathy Lüdge  
Dr. Alexander Carmele

### 3. Übungsblatt – Theoretische Festkörperphysik I,II

**Abgabe: Mo. 13.05.2019 zum Vorlesungsbeginn**

Bei den schriftlichen Ausarbeitungen werden ausführliche Kommentare zum Vorgehen erwartet. Dafür gibt es auch Punkte! Die Abgabe soll in Dreiergruppen erfolgen.

**Aufgabe 7 (20 Punkte): Elastizität und Hookesches Gesetz**

Ausgehend von der Bewegungsgleichung des  $n$ -ten Ions in  $i$ -te Richtung:

$$M_n \ddot{s}_{ni} = \sum_{n',i'} \Phi_{n',i'}^{n,i} s_{n',i'}$$

soll das Hooksche Gesetz hergeleitet werden. Gehen Sie wie folgt vor:

- Leiten Sie mittels Taylorentwicklung bis zur zweiten Ordnung einen Ausdruck für  $s_{i'}(R_{n'})$  um den Aufsatzpunkt  $R_n$  her und setzen Sie diese Entwicklung in die Bewegungsgleichung von  $\ddot{s}_{ni}$  ein.
- Begründen Sie  $\sum_{n'} \Phi_{n',i'}^{n,i} = 0$  im Falle einer gleichförmigen Auslenkung aller Ionen um linear unabhängige  $\delta s_{ni} = \delta s$  und nutzen Sie, dass für akustische Wellen kein Ort ausgezeichnet ist, d.h.  $\sum_{n'} \Phi_{n',i'}^{n,i} R_{n'j} = 0$ , um die Bewegungsgleichung zu vereinfachen. Die vereinfachte Bewegungsgleichung lautet:

$$M_n \ddot{s}_{ni} = -\frac{1}{2} \sum_{n',i',k,l} \Phi_{n',i'}^{n,i} [R_{nk} - R_{n'k}] [R_{nl} - R_{n'l}] \frac{\partial^2 s_{i'}(R_n)}{\partial r_k \partial r_l}.$$

- Zeigen Sie, dass für das zentralsymmetrische Potential

$$V(|r - r'|) = \frac{1}{2} \sum_{n',n} f_{nn'} (|r - r'| - |R_{n'} - R_n|)^2$$

die Kraftkonstanten folgende Form haben:

$$\Phi_{n',i'}^{n,i} = \left. \frac{\partial^2 V(|r - r'|)}{\partial u_{n',i'} \partial u_{n,i}} \right|_{u_n=0} = f_{nn'} \frac{[R_{ni} - R_{n'i}][R_{n'i} - R_{n'i}]}{|R_n - R_{n'}|^2},$$

wenn  $r = R_n - u_n$  und  $r' = R_{n'} - u_{n'}$ . Diskutieren Sie die Symmetrien der Kraftkonstanten in Abhängigkeit von der Konstante  $f_{nn'}$ .

- Setzen Sie die Kraftkonstante in die Bewegungsgleichung von  $s_i(R_n)$  ein und zeigen Sie, dass Sie einen Tensor einführen können, so dass die Bewegungsgleichung folgende symmetrisierte Form erhält:

$$\rho \ddot{s}_i = \sum_{i',k,l} C_{ii',kl} \frac{\partial}{\partial r_{i'}} \frac{1}{2} \left( \frac{\partial s_l}{\partial r_k} + \frac{\partial s_k}{\partial r_l} \right)$$

mit  $\rho = M_n/V_{EZ}$ . Geben Sie den Tensor  $C$  und seine Symmetrie-Eigenschaften explizit an. Die Koeffizienten dieses Tensor heißen Elastizitäts-Moduln.

- Führen Sie nun den Verzerrungstensor  $\sigma_{kl}$  ein, identifizieren Sie das Hookesche Gesetz und kontrahieren Sie danach formal über die gebundenen Koeffizienten:

$$\rho \ddot{s}_i = \sum_{i'} \frac{\partial}{\partial r_{i'}} \sigma_{ii'}.$$

Vergleichen Sie das Ergebnis kurz mit dem Hookeschen Gesetz aus der Punktmechanik.

### 3. Übung TFP SS19

- Vorlesung:**
- Montags 10–12 Uhr im EW 202
  - Mittwochs 10–12 Uhr im EW 202

- Übungen:**
- Mi 16–18 Uhr im EW 229

- Scheinkriterien:**
- Mindestens 60% der Übungspunkte
  - Regelmäßige und aktive Teilnahme in den Übungen

#### Literatur zur Lehrveranstaltung:

- Ashcroft, Mermin, *Festkörperphysik* (Oldenbourg)
- Kittel, *Quantentheorie der Festkörper* (Oldenbourg)
- Czycoll, *Theoretische Festkörperphysik* (Springer)
- Ibach, Lüth, *Festkörperphysik* (Springer)
- Jäger, Valenta, *Festkörpertheorie* (Wiley)
- U. Rössler, *Solid State Theory* (Springer)
- Haug, Koch, *Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors* (World Scientific)
- Haken, *Quantenfeldtheorie des Festkörpers* (Teubner)
- Scherz, *Quantenmechanik* (Teubner)

Sprechzeiten:	Name	Tag	Zeit	Raum
	Prof. Dr. K. Lüdge	Mi	13-14 Uhr	EW 741
	Dr. A. Carmele	Di	11-12 Uhr	EW 704

#### Hinweise:

Die Übungsblätter werden in der Regel am Montag in der Vorlesung ausgegeben. Die Abgabe erfolgt dann 14 Tage später Montags zu Vorlesungsbeginn.