

**7. Übungsblatt zur Theoretische Festkörperphysik****Abgabe:** bis Dienstag 09.06.2009 10:15 Uhr in der Vorlesung.**Aufgabe 12 (15 Punkte):** Die Grüneisen-Formel

In der VL wird gezeigt, dass Phononen die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes erklären können. Bei hohen Temperaturen ist diese linear in  $T$ . Bei geringen Temperaturen gibt es eine deutliche Abweichung von diesem Verhalten. Das soll in folgendem nachvollzogen werden. Gehen Sie vom Boltzmann-Anteil zur Bewegungsgleichung im elektrischen Feld aus:

$$\partial_t \rho_{\mathbf{k}}^1|_{\text{el-pn}} = - \sum_{\mathbf{q}} W_{\mathbf{k} \rightarrow \mathbf{k}+\mathbf{q}} (\rho_{\mathbf{k}}^1 - \rho_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^1)$$

Um die gewünschte Temperaturabhängigkeit zu erhalten ist der zweite Term von Bedeutung.

1. Machen Sie folgenden Ansatz für die Feld-induzierte Störung der Dichte  $\rho_{\mathbf{k}}^1 = -\frac{q}{\gamma \hbar} \mathbf{E} \cdot \nabla_{\mathbf{k}} \rho_{\mathbf{k}}^0$ . Dabei soll angenommen werden, dass das Medium isotrop ist  $\nabla_{\mathbf{k}} = \mathbf{e}_{\mathbf{k}} \partial_k$ .
2. Da  $\omega_{\mathbf{q}} \ll \varepsilon_F$  kann das auftretende  $\mathbf{q}$  als klein gegenüber von  $\mathbf{k}$  angenommen werden. Entwickeln Sie den auftretenden Betrag  $|\mathbf{k} + \mathbf{q}|$  für kleine  $\mathbf{q}$  zur nullten Ordnung. Das führt zu einem Ausdruck  $\sim \mathbf{E} \cdot \mathbf{q}$ .
3. Um das  $\mathbf{q}$ -Integral geschickt in Kugelkoordinaten auswerten zu können, legen Sie  $\mathbf{E}$  in Richtung von  $\mathbf{e}_z$ .
4. Da die Wechselwirkung mit akustischen Phononen dominant ist, ziehen Sie für die Elektron-Phonon Wechselwirkung ausschliesslich die Kopplung via Deformationspotential heran. Nutzen Sie  $\omega_{\mathbf{q}} \ll \varepsilon_F$  ein weiteres Mal um die auftretende  $\delta$ -Funktion zu vereinfachen.
5. Das Integral lässt sich am besten durch geschickte Variablen-trafo zunächst für  $\theta$  und dann für  $q$  lösen. TIPP:  $\int_0^{\infty} dx x^4 \frac{1}{\exp(x)-1} \approx 24.8863$
6. Welche  $T$  Abhängigkeit des elektrischen Widerstands ergibt sich daher für tiefe Temperaturen?