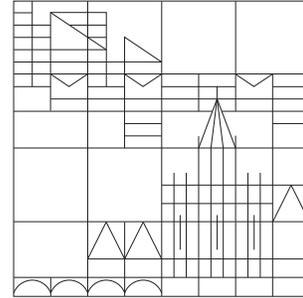


UNIVERSITÄT KONSTANZ
Fachbereich Physik
Prof. Dr. Elke Scheer (Experimentalphysik)
Raum P 1007, Tel. (07531)88-4712
E-mail: elke.scheer@uni-konstanz.de
Dr. Torsten Pietsch
Raum P 1001, Tel. (07531)88-3861
E-mail: torsten.pietsch@uni-konstanz.de



Übungen zur Vorlesung "Supraleitung" Sommersemester 2013

Übungsblatt 1, Ausgabe 22.4.2013
Besprechung in der Übung am 02.05.2013

1. Drude-Theorie und Joulesche Wärme

Die Elektronen im Festkörper stoßen mit den Gitteratomen inelastisch. Ein Elektron verliere dabei bei einem Stoß seine gesamte (kinetische) Energie. In der Zeit zwischen einem Stoß und seinem nächsten wird jedes Elektron durch das anliegende elektrische Feld \vec{E} beschleunigt. Für ein Elektron sei die Wahrscheinlichkeitsdichte, dass die Zeitdauer Δt zwischen aufeinanderfolgenden Stößen im Intervall $[\Delta t, \Delta t + d\Delta t]$ liegt durch $p(\Delta t) = 1/\tau \cdot e^{-\Delta t/\tau}$ gegeben.

- Zeigen Sie zunächst, dass die Zeit zwischen zwei Stößen desselben Elektrons im Mittel τ ist.
- Leiten Sie her, dass ein Elektron im Mittel pro Stoß die Energie $(e|\vec{E}|\tau)^2/m_e$ an das Gitter abgibt (in Form von Joulescher Wärme).
- Folgern Sie dann, dass die gesamte Energieabgabe pro Zeit- und Volumeneinheit $\frac{ne^2\tau}{m_e}|\vec{E}|^2 = \sigma|\vec{E}|^2$ beträgt mit der Elektronendichte n und der Leitfähigkeit σ .
- Zeigen Sie schließlich, dass sich damit die Erzeugung Joulescher Wärme in einem stromdurchflossenen Draht zu I^2R ergibt, wobei R den Widerstand des Drahts und I den Strom bezeichnet.

2. Freies Elektronengas und Zustandsdichte

Die typischen physikalischen Eigenschaften der Metalle sind im Wesentlichen durch die Valenzelektronen der Atome bestimmt. Für bestimmte Fragestellungen spielt dabei die Zahl der Zustände pro Energieintervall eine wichtige Rolle.

- a) Berechnen Sie unter der Annahme des freien Elektronengases die Fermi-Energie, die Fermi-Wellenzahl, die Fermi-Temperatur und die Fermi-Geschwindigkeit von Aluminium ($\rho=2,7 \text{ g/cm}^3$, $M=26,982 \text{ g/mol}$) im normalleitenden Zustand.
- b) Entwickeln Sie außerdem einen Ausdruck für die Zustandsdichten $D(E)$ und die mittlere Energie pro Elektron für Aluminium (also Metalle), Graphen und ein sehr langes, lineares Molekül mit konjugierten Doppelbindungen. Nehmen Sie dabei an, dass es sich bei Metallen um ein dreidimensionales Elektronengas handelt, während Graphen durch ein zweidimensionales Elektronengas und das lineare Molekül durch ein eindimensionales Elektronengas beschrieben werden können. Vernachlässigen Sie die atomare Anordnung sowie Randbedingungen an den Enden der Strukturen und gehen Sie jeweils von einem freien Elektronengas aus. Skizzieren Sie den Verlauf der Zustandsdichte als Funktion der Energie $D(E)$

3. Spezifische Wärme des Elektronengases

Entsprechend der klassischen statistischen Mechanik sollten die freien Elektronen eine spezifische Wärme von $c_V = (3/2)R$ liefern. Es zeigt sich aber, dass der elektronische Anteil zur spezifischen Wärme bei tiefen Temperaturen proportional zur absoluten Temperatur ist und bei $T=0\text{K}$ verschwindet.

- a.) Berechnen Sie die spezifische Wärme von freien Elektronen in Aluminium bei 2K. Nutzen Sie dazu die in Aufgabe 2a) bestimmte Fermi-Temperatur.
- b.) Ermitteln Sie die gesamte spezifische Wärme für Aluminium bei dieser Temperatur. Die Debye-Temperatur von Aluminium beträgt 398K.
- c.) Bestimmen Sie das Verhältnis der Beiträge zur spezifischen Wärme von Elektronen und Phononen bei 3K; 30K und 300K. Diskutieren Sie die Ergebnisse.

Vortrag 1: Tiefe Temperaturen und Thermometrie

(zum 02.05.2013)

Die Erzeugung und Messung tiefer Temperaturen stellen eine wichtige Voraussetzung für die Erforschung der Supraleitung dar. Erläutern Sie in einem Kurzvortrag einige der wichtigsten Methoden zum Erreichen von tiefen Temperaturen im Bereich von wenigen mK bis über 100K. Gehen Sie dabei auch auf verschiedene Möglichkeiten zur Temperaturmessung ein.

Literatur

- [1.] *Practical Cryogenics - An Introduction to Laboratory Cryogenics*, N. H. Balshaw, **Oxford Instruments Superconductivity Limited**, Whitney (1996)
- [2.] *Matter and Methods at Low Temperatures*, F. Pobell, **Springer Verlag**, Berlin (2007)
- [3.] *Experimental Techniques for Low Temperature Measurements: Cryostat Design, Materials, and Critical-Current Testing*, J. W. Ekin, **Oxford University Press**, Oxford (2006)

Den / die Artikel können Sie bei Ihrem Übungsgruppenleiter bekommen.