Physik der Kondensierten Materie

Wiederholungsexamen zum Erhalt der Kreditpunkte der **Veranstaltung 10878**, gehalten durch C. Schönenberger im Herbstsemester 2011.

Datum der Prüfung: 22. Juni 2010, 13:15 bis 15:00

Total = 30 Punkte (pass: ≥ 15)

Bevor Sie beginnen, füllen Sie bitte Ihren Namen, Ihr Studienfach, Ihre Matrikelnummer und das (die) Semester (mit Jahrangabe) ein, in dem (denen) Sie die Veranstaltung Physik der Kondensierten Materie besuchten.

Name	
Studienfach	
Matrikelnummer	
Semester	
Wiederholung (ja/nein)	
KoMa in welchem Jahr besucht?	

Als Hilfsmittel können Sie folgendes verwenden: das Skript, eine eigene Zusammenfassung und einen Taschenrechner. Nicht zugelassen sind andere elektronische Kommunikationsmittel, Notebooks, PC's, Palmtop, Handy,…

Sie können so viele Blätter wie erforderlich verwenden.
Bitte numerieren Sie ihre Blätter durch und versehen Sie jedes einzelne mit Ihrem Namen (sehr wichtig!).
Arbeiten Sie ruhig und konzentriert. Verzweifeln Sie nicht, wenn Sie bei einer Aufgabe nicht weiterkommen. Zum Erreichen der Maximalnote müssen nicht alle Aufgaben gelöst werden. Verschwenden Sie keine Zeit, sondern gehen Sie zur nächsten Aufgabe.

Bitte verwenden Sie dieses Blatt als Deckblatt. Die Aufgabenblätter ziehen wir nicht ein. Sie können diese behalten. Viel Erfolg!

Aufgabe	**1** Struktur	**2** Beugung	**3** Phononen	**4** Freie Elektronen	**5** Material-Eigen-schaften	**6** Halbleiter	Σ
maximale Punktzahl	5	5	5	6	5	4	30
erreichte Punktzahl							

<u>Konstanten</u>:

Protonenruhemasse m_p	$1.67 \cdot 10^{-27}$	kg und
Planckkonstante $\hbar$	$1.054 \cdot 10^{-34}$	Js
Planckkonstante h	$0.663 \cdot 10^{-33}$	Js
Boltzmann-Konstante k_B	$1.38 \cdot 10^{-23}$	J/K

Elementarladung e $1.60 \cdot 10^{-19}$ As

1. STRUKTUR der MATERIE (5 Pkt)

1a) PUNKTE = 1: ⇒ Zeichnen Sie eine Schicht von Graphene. Markieren Sie dabei die Position der Kohlenstoffatome deutlich. ⇒ Geben Sie nun 2 verschiedene Paare von primitiven Basis Vektoren an. Verwenden Sie zur deutlichen Unterscheidung zwei verschiedene Farben.

1b) PUNKTE = 1.5 ⇒ Zeichen Sie den 2-dimensionalen Kristall mit dichtester Kugelpackung. ⇒ Zeichnen Sie eine stereographische Projektion der dazugehörenden Symmetriegruppe. ⇒ Wie viele Symmetrieelemente enthält diese Gruppe insgesamt?

1c) PUNKTE = 1.5: Die primitive Einheitszelle eines 2-dimensionalen Kristalls mit einatomiger Basis sei ein Rechteck. ⇒ Welche Symmetrieelemente hat dieser Kristall? ⇒ Was folgt daraus für die Elemente des Leitfähigkeitstensors σ, der in zwei Dimensionen im allgemeinen die 4 Elemente σ_{xx}, σ_{xy} σ_{yx} σ_{yy} enthält?

1d) PUNKTE = ½: Die Raumgruppe eines Kristalls enthält Translationen, Rotationen und Spiegelungen. Es gibt noch zwei weitere Elemente. Wie heissen diese?

1e) PUNKTE = ½: Was ist die Flächenhäufigkeit der (100) Fläche im kubischen System in 3 Dimensionen?

2. STREUUNG / BEUGUNG am KRISTALL (5 Pkt)

2a) PUNKTE = 1: ⇒ Erklären Sie die Bragg'sche Bedingung mittels einer Skizze.

2b) PUNKTE = 1: Die Bragg'sche Streuung kann man als elastische Streuung an Gitterebenen verstehen. Wir betrachten die Streuung an den (100) Ebenen. ⇒ Wenn im gemessenen Reflexionsspektrum ein Intensitätsmaximum mit (200) bezeichnet ist, was bedeutet das dann physikalisch?

2c) PUNKTE = 1: ⇒ Bestimmen Sie die mittlere Wellenlänge von thermischen H-Atomen in einem Atomstrahl, die der mittleren kinetischen Energie der Atome entspricht, wenn diese Energie durch eine Temperatur von 200 K gegeben ist?

2d) PUNKTE = 1 ⇒ Was sind die (vier) Voraussetzungen / Annahmen, die der Bragg-Beziehung zu Grunde liegen? Nennen Sie drei davon.

2e) PUNKTE = 1: Wir messen in einem Streuexperiment die Temperaturabhängikeit der Reflexe, die zu den reziproken Gittervektoren (100) und (111) gehören. ⇒ Welcher der beiden Reflexe wird mit zunehmender Temperatur in der Intensität schneller abnehmen und warum?

3. SCHWINGUNGEN im KRISTALL (5 Pkt)

3a) PUNKTE = 1: ⇒ Wie viele Bewegungsfreiheitsgrade und ⇒ wieviel Schwingungsfreiheitsgrade besitzt das Molekül C_8H_{18}?

3b) PUNKTE = 1: Wir betrachten den Gitterschwingungsbeitrag an die spezifischen Wärme. ⇒ Welcher der beiden Materialien Blei oder Silizium liefert wohl einen grösseren Anteil bei Zimmertemperatur? ⇒ Begründen Sie ihre Aussage.

3c) PUNKTE = 1: Das Debye Modell zur spezifischen Wärme macht eine wichtige Annahme bezüglich der Dispersionsrelation. ⇒ Welche ist das? . ⇒ Welche Annahme steckt im Vergleich dazu im Einstein Modell?

3d) PUNKTE = 1: ⇒ Bestimmen Sie die Zustandsdichte $\rho(\omega)$ für akustische langwellige Phononen (Schallwellen) in einer Dimension. ⇒ Wie hängt die Zustandsdichte von der Schallgeschwindigkeit ab?

3e) PUNKTE = 1: ⇒ Geben Sie die mittlere Energie eines quantisierten Schwingungszustands mit der Frequenz ω als Funktion der Temperatur T in einer Gleichung an. ⇒ Geben Sie zusätzlich die Grenzwerte für $kT >> \hbar\omega$ und $kT << \hbar\omega$ an.

4. FREIE ELEKTRONEN (6 Pkt)

4a) PUNKTE = ½ : Was besagt das Pauli-Prinzip, welches für die Besetzung elektronischer Eigenzustände von grosser Bedeutung ist?

4b) PUNKTE = ½ : Wie hängt der Hall Widerstand im Drude Modell von der Dicke der Probe ab?

4c) PUNKTE = ½ : Wie hängt die spezifische Wärme eines idealen Fermigases von der Temperatur ab? Ist das von der Dimension abhängig?

4d) PUNKTE = ½ : Ist ein guter elektrischer Leiter auch immer ein guter Wäremleiter? Begründung bitte?

4e) PUNKTE = 1: Wie hängt die Fermi-Wellenlänge und die Fermigeschwindigkeit eines idealen Fermigases von freien Elektronen (Dispersionsbeziehung $E = \vec{p}^{\,2}/2m_e$) in 2 Dimensionen von der Elektronendichte ab?

4f) PUNKTE = 1: Wir betrachten ein zweidimensionales Elektronengas mit hoher Mobilität in einem starken senkrechten Magnetfeld. Wenn ein Strom von 1 μA durch die Probe fliesst, wie gross ist die zu erwartende Hallspannung, wenn 2 Landaustände vollständig besetzt sind, das dritte aber leer ist. Schreiben Sie das Resultat als Gleichung und ebenso als Zahlenwert.

4g) PUNKTE = 1: Formulieren Sie eine Gleichung zur Bestimmung der Fermienergie E_F für ein Elektronensystem, welches aus drei Energieeigenzustände E_1, E_2, E_3 mit Entartungen N_1, N_2, N_3 besteht, wenn die Gesamtzahl der Elektronen N ist. Benutzen Sie das Summenzeichnen, um eine kompakte Schreibweise zu erhalten.

4h) PUNKTE = 1: Bestimmen Sie die Zustandsdichte $\rho(E)$ für ein Elektronengas in 1 Dimension mit linearer Dispersionsrelation $E(k) = \hbar v_F |k|$. Wie hängt die Zustandsdichte von der Energie ab?

5. MATERIALASPEKTE + „Periodische“ ELEKTRONEN (5 Pkt)

5a) PUNKTE = 1: Was ist die typische Bindungsenergie pro Atom in einem Ionenkristall (z.B. NaCl) und wie gross in etwa in einem Kristall, welcher nur durch van der Waal's Bindungen zusammengehalten wird (z.B. Kr)?

5b) PUNKTE = 1: Welches Material hat eine grösser Plasmafrequenz, Ag oder dotiertes Silizium? Woher kommt der Unterschied?

5c) PUNKTE = 1: Was gilt für die Bandlücke eines Isolators, wenn der Isolator für Licht mit $\lambda > 500$ nm transparent ist. Bestimmen Sie einen expliziten Ausdruck als Gleichung und setzten Sie dann ein.

5c) PUNKTE = 1: Zeichnen Sie die ersten beiden Bänder für „freie“ Blochelektronen in einer Dimension. Wie ändert sich die Bandstruktur, wenn die Elektronen nicht mehr frei sind, sondern sich in einem periodischen Potential bewegen?

5f) PUNKTE = 1: Ein Festkörper in einer Dimension hat an der Fermienergie $E_F=0$ genau 2 Bänder, die sich kreuzen. Die Bänder haben die Dispersionsrelation $E(k) = \pm\hbar|k|v_F$. Zeichen Sie ein Bild der Energiebeziehung. Was erwarten Sie für den elektrischen Leitwert σ bei T=0. Erwarten Sie einen Leiter oder einen Isolator vorzufinden? Begründen Sie bitte!

6. HALBLEITER (4 Pkt)

6a) PUNKTE = ½: Was sind die Minoritätsladungsträger in einem p-Halbleiter?

6b) PUNKTE = ½: Was ist ein kompensierter Halbleiter?

6c) PUNKTE = 1: Warum ist die Elektron- und Lochdichte in einem intrinsischen Halbleiter identisch? Wie ändert die Konzentration im wesentlichen mit der Temperatur?

6d) PUNKTE = 2: Wir betrachten einen Halbleiter in einer Dimension. Folgende 2 Bänder liegen vor: $E(k) = \pm E_0(\cos(ka) - 2)$. Zeichen Sie die Dispersionsbeziehung zuerst auf. Wie gross ist die Bandlücke? Wir nehmen an, die Fermienergie läge bei $E_F=0$. Ein Elektron wird bei k=0 im Valenzband entfernt. Wir betrachten den Lochzustand. Wie bewegt sich dieser Lochzustand im direkten und im indirekten Raum, wenn ein positives elektrisches Feld E angelegt wird. Geben Sie konkret k als Funktion der Zeit t, die effektive Masse als Funktion von k und den Ort des Lochs x(t) als Funktion der Zeit (nur für kleine Zeiten) an.