

Physik der Kondensierten Materie

Wiederholungsexamen zum Erhalt der Kreditpunkte der **Veranstaltung 10878**, gehalten durch C. Schöninger im Herbstsemester 2010.

Datum der Prüfung: 21. Dez 2010, 8:15 bis 10:00

Total = 30 Punkte (pass: > 15)

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

Name	
Studienfach	
Matrikelnummer	
Semester	
Wiederholung (ja/nein)	

Als Hilfsmittel können Sie folgendes verwenden: das Skript, eine eigene Zusammenfassung und einen Taschenrechner. Nicht zugelassen sind andere elektronische Kommunikationsmittel, Notebooks, PC's, Palm-top, 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. Viel Erfolg!

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

Konstanten:

Protonenruhemasse m_p	$1.67 \cdot 10^{-27}$	kg
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	$1.602 \cdot 10^{-19}$	As

1. STRUKTUR der MATERIE (5 Pkt)

1a) PUNKTE = 1: In einem Idealkristall besteht Translationsymmetrie. In Wirklichkeit gibt es keine Idealkristalle. Was kann die Translationsinvarianz zerstören? Machen Sie drei Vorschläge.

1b) PUNKTE = 1: Zeichnen sie das Netzwerk der sp^2 -Bindungen der Kohlenstoffatome von Graphene (Monoschicht von Graphit). Geben sie danach zwei Realisationen primitiver Basisvektoren für das Gitter von Graphene an.

1c) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: Die Symmetrieelemente spielen eine wichtige Rolle in der Klassifizierung der Kristalle. Alle sogenannten Bravaiskristalle weisen eine Translationsymmetrie auf. Wie steht es mit den Symmetrieeoperationen mit Fixpunkt? Welche Operationen aus der sogenannten orthogonalen Gruppe können bei einem Bravaiskristall vorkommen?

1d) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: In der Raumgruppe der Kristalle können neben der reinen Translation und der orthogonalen Abbildungen mit Fixpunkt zusätzliche Symmetrieeoperationen auftreten. Wie heißen die beiden Typen?

1e) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: Was ist die Flächenhäufigkeit der (110) Flächen im kubischen System?

1f) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: Was bedeuten die Bezeichnungen fcc und hcp und durch was unterscheiden sich die entsprechenden Kristalle?

1g) PUNKTE = 1: Wir betrachten das tetragonale Gitter mit den (primitiven) Basisvektoren $\vec{a}_1 = (1,0,0)a$, $\vec{a}_2 = (0,1,0)a$, $\vec{a}_3 = (0,0,2)a$ wobei sich die Angabe (x,y,z) auf das übliche orthogonale Koordinatensystem bezieht. Bestimmen Sie zuerst die drei reziproken Gittervektoren $\vec{b}_1, \vec{b}_2, \vec{b}_3$. Berechnen Sie dann den Abstand zweier benachbarten Gitterebenen mit Miller-Indices (1,0,1).

2. STREUUNG / BEUGUNG am KRISTALL (5 Pkt)

2a) PUNKTE = 1: Bestimmen Sie die Wellenlänge von ^4He Ionen in einem Atomstrahl, wenn die kinetische Energie 10 meV ist.

2b) PUNKTE = 1: Sie führen ein Streuexperiment an einem NaCl-Einkristall (fcc) mit Gitterkonstante $a=0.56$ nm durch. Sie verwenden einen Röntgenstrahl mit Energie 8.9 keV. Bestimmen Sie den Streuwinkel für die ersten zwei Streureflexe (d.h. für die mit kleinstem Streuwinkel).

2c) PUNKTE = 1: Machen sie eine Skizze für die Streuintensität als Funktion des Streuwinkels für die letzte Aufgabe (es genügt, wenn sie zwei Streureflexe aufzeichnen). Machen Sie das für eine niedrige und für eine hohe Temperatur. Geben Sie eine Erklärung ab.

2d) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: Was ist ein Synchrotron und welche Vorteile bietet es für die Strukturaufklärung mittels Röntgenstreuung (wenigstens 2 Vorteile)?

2e) PUNKTE = $\frac{1}{2}$: Nennen sie zwei der insgesamt vier Voraussetzungen / Annahmen, die der Bragg-Beziehung zu Grunde liegen?

2f) PUNKTE = 1: Warum ist die Streuintensität S als Funktion des Streuvektors $\Delta\vec{k}$ eine gerade Funktion, d.h. $S(-\Delta\vec{k}) = S(\Delta\vec{k})$? Führen Sie S zuerst auf die Streuamplitude A zurück.

3. SCHWINGUNGEN im KRISTALL (5 Pkt)

3a) PUNKTE = 1: Was für zwei wesentliche Unterschiede bestehen zwischen einem idealen Gas und einem Kristall für den Charakter und Dispersionsbeziehungen von langwelligen Schwingungsmoden?

3b) PUNKTE = 1: Zeichnen Sie die Zustandsdichte $\rho(\omega)$ für eine Dispersionsrelation der Form

$\omega(\vec{k}) = \sqrt{(\omega_0)^2 + (c\vec{k})^2}$ auf, und zwar zuerst für den 1-dimensionalen Fall (k-Vektor ist ein Skalar) und dann auch noch in 2 Dimensionen. Die Skizzen sollen den Sachverhalt qualitativ darstellen!

3c) PUNKTE = 1: Wie verhält sich die spezifische Wärme als Funktion der Temperatur bei tiefen Temperaturen, wenn die Zustandsdichte der Gitterschwingungen durch die letzte Aufgabe beschrieben wird. Geben Sie die zu erwartende Proportionalität an.

3d) PUNKTE = 1: (i) Was ist gemeint, wenn man sagt, ein optischer Übergang erfolge „senkrecht“? Machen Sie bitte eine Skizze. (ii) Was ist der physikalische Grund für den „senkrechten“ Übergang?

3e) PUNKTE = 1: Wir betrachten 2 Kristalle, die unterschiedliche Dispersionsrelationen für Gitterschwingungen haben und die zusammen im Kontakt sind. Was passiert im allgemeinen, wenn eine Gitterwelle vom Kristall 1 zur Grenzfläche zwischen Kristall 1 und Kristall 2 gelangt? Können sie sich eine Situation vorstellen, bei der die Welle total reflektiert wird?

4. FREIE ELEKTRONEN (5 Pkt)

4a) PUNKTE = 1/2: Wie hängt der (klassische) Hall Widerstand von der Elektronenkonzentration ab?

4b) Punkte = 1/2 : Die Drude Leitfähigkeit ist durch folgenden Ausdruck gegeben: $\sigma = e^2 n \tau / m$. Schreiben Sie diese Gleichung um, in dem Sie die Mobilität b verwenden.

4c) PUNKTE = 1/2: Wie gross ist das Widerstandsquantum ausgedrückt in Ohm?

4d) PUNKTE = 1/2: Wie ändert das chemische Potential (d.h. die Fermi-Energie) in einem abgeschlossenen Elektronengas eines eindimensionalen Quantendrahtes mit der Temperatur T qualitativ. Wird E_F mit T grösser oder kleiner?

4e) PUNKTE = 1: Zeichnen Sie die Fermi-Funktion $f(E)$ für eine tiefe und für eine erhöhte Temperatur in einem Graphen als Funktion von E auf !

4f) PUNKTE = 1: Wie hängt die Fermi-Energie von der Dichte der Elektronen in 2 Dimensionen ab, wenn die Zustandsdichte durch $E(k) = \hbar v_F |\vec{k}|$ gegeben ist ?

4g) PUNKTE = 1: Warum ist es sinnvoll für ein Elektronengas den Ausdruck $\chi T / C_V$ hinzuschreiben? Hierin ist χ die paramagnetische Suszeptibilität, T die absolute Temperatur und C_V die spezifische Wärme der Elektronen.

5. MATERIALASPEKTE + „Periodische“ ELEKTRONEN (6 Pkt)

5a) PUNKTE = 1/2: Warum kann ein Material, das nur aus einer Atomsorte mit einer ungeraden Valenz besteht, trotzdem ein Isolator sein? Geben Sie eine knappe Begründung.

5b) PUNKTE = 1/2: Sind die Elektronenbänder eher schmal oder eher breit, wenn der Überlapp gering ist? Wie steht es mit den Massen ?

5c) PUNKTE = 1/2: Für die Wärmeleitung eines Materials gibt es 2 Beiträge: der Beitrag der Gitterschwingungen und der Beitrag der Elektronen. Warum verwendet man möglichst gute elektrische Leiter, um Wärme bei tiefen Temperaturen abführen zu können?

5d) PUNKTE = ½: Wir betrachten einen Kontakt zwischen zwei Fermi-Gasen unterschiedlicher Temperatur. Welche Seite lädt sich *positiv* auf, die heisse oder die kalte?

5e) PUNKTE= 1: Wie verläuft die Fermi-Energie E_F in einem 2-dimensionalen (idealen) Elektronengas als Funktion eines senkrecht angelegten Magnetfeldes B bei starkem B -Feld. Geben Sie zuerst E_F an ohne Zeeman Energie und dann auch noch mit dem Zeeman Energiebeitrag.

5f) 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.

5g) PUNKTE = 1: Die Dielektrizitätskonstante eines idealen Metalls kann vereinfacht als $\epsilon = 1 - (\omega / \omega_p)^2$ geschrieben werden. Warum wird die Wahrscheinlichkeit für die Reflektion von Licht an einem solchen Metall 100%, wenn die Frequenz kleiner als die Plasmafrequenz ist (Sie müssen schon etwas mehr sagen, als dass epsilon negativ wird)?

5h) PUNKTE = 1: Wir betrachten ein einziges Elektron in einem Blochzustand, welches zu einem eindimensionalen Band mit der Dispersionsbeziehung $E(k) = -\hbar\omega_0 \cos(ka)$ gehört (a ist die Gitterkonstante). Es werde ein kleines statisches elektrisches Feld mit der Wert V/a angelegt (V ist eine Spannung). Bestimmen Sie die Frequenz der Blochoszillation. Wie gross ist die Frequenz bei einer Spannung von $100 \mu V$?

6. HALBLEITER (4 Pkt)

6a) PUNKTE = 1: Wie unterscheiden sich Isolatoren von Metallen. Nennen sie zwei Eigenschaften, die grundsätzlich anders sind. Bitte sagen sich auch, wie diese Eigenschaften fuer die zwei Fälle sind.

6b) PUNKTE = 1

Wie sieht die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit für einen reinen undotierten Halbleiter aus? Welche graphische Darstellung ist besonders gut geeignet und warum?

6c) PUNKTE = ½: Wo liegt das Fermi Niveau in einem intrinsischen Halbleiter im Grenzfall $T \Rightarrow 0$.

6d) PUNKTE = ½: Wie gross muss die Temperatur werden, dass ein dotierter Halbleiter „intrinsisch“ wird.

6e) PUNKTE = ½: Formulieren Sie bitte die Ladungsbilanz für einen n-dotieren Halbleiter. Benutzen Sie dazu die Größen n , p und N_D^+ . Sie bezeichnen in der genannten Reihenfolge die Dichte der Elektronen im Leitungsband, die Dichte der Löcher im Valenzband, sowie die Dichte der ionisierten Donatoren.

6f) PUNKTE = ½: Welcher Strom dominiert in Sperrrichtung einer Diode: der Diffusionsstrom oder der Feldstrom?