

## Beispiele für die Art der Fragen bei der schriftlichen Prüfung aus Festkörperphysik I wie diese bei vorangegangenen Prüfungen gestellt wurden (zum Teil wiederholt gestellt)

Stand August 2010

Beschreiben Sie kurz die harmonische und adiabatische Näherung und deren Auswirkungen

Beschreiben sie die Schwingungsmoden einer **monoatomaren** linearen Kette (Bewegungsgleichungen, Randbedingungen, Lösungen für die Amplituden, Dispersionsrelation mit Skizze). Erklären Sie die Bedeutung der Brillouinzonengrenzen.

Beschreiben sie die Schwingungsmoden einer **monoatomaren** linearen Kette (Bewegungsgleichungen, Randbedingungen, Lösungen für die Amplituden, Dispersionsrelation). Erklären Sie die Bedeutung der Brillouinzonengrenzen. Wie werden die verschiedenen Äste der Dispersionsrelation bei ein- bzw. mehratomigen Ketten oder Gittern bezeichnet? Begründen Sie die Bezeichnungen.

Beschreiben Sie die Gitterschwingungsmoden einer linearen Kette aus 2 Atomsorten (Bewegungsgleichungen, Lösungen für die Amplituden, Dispersionsrelationen) Wie werden die zwei verschiedenen Äste der Dispersionsrelation bezeichnet? Begründen sie die Bezeichnung.

Beschreiben Sie die Grundideen auf denen das **Debye-Modell** für die spezifische Wärme eines Festkörpers beruht. Diskutieren Sie das Debye-Modell im Grenzfall hoher und tiefer Temperaturen (ohne die Details der Berechnung der Grenzwerte)? Wodurch wird die Debye-Temperatur festgelegt, wie kann sie experimentell bestimmt werden?

Beschreiben sie die Grundannahmen auf denen das das Einstein-Modell für die spezifische Wärme eines Festkörpers beruht und jene auf denen das Debye-Modell beruht. Diskutieren sie das Debye-Modell im Grenzfall hoher und tiefer Temperaturen? Wodurch wird die Debye-Temperatur festgelegt, wie kann sie experimentell bestimmt werden?

Welche Bedingung muss das Potential erfüllen damit Umklapp-Prozesse bei Phononen auftreten. Beschreiben Sie Normal und Umklapp Prozesse von Phononen und erklären Sie deren Einfluß die Wärmeleitung. Skizzieren Sie die Temperaturabhängigkeit des Gitterbeitrages zur Wärmeleitung?

Beschreiben Sie Normal und Umklapp Prozesse von Phononen und erklären Sie deren Einfluß die Wärmeleitung.

Diskutieren Sie die Wärmeleitung des Kristallgitters anhand des sehr vereinfachten Modells, in dem der Energietransport in einem „Gas von Phononen in einem Gitter“ betrachtet wird. Welche Temperaturabhängigkeit lässt sich daraus ableiten? Erläutern Sie die Bedeutung von Umklappprozessen für den Wärmetransport.

Beschreiben Sie kurz und qualitativ die Bedeutung und Auswirkung des Debye-Waller Faktors.

Welche Grundideen und Annahmen liegen dem Sommerfeld-Modell zugrunde? Welche Lösungen ergeben sich daraus für die Eigenzustände und Energieeigenwerte der Elektronen? Was bedeuten die Begriffe Fermi-Energie, Fermi-Wellenvektor und Fermi-Geschwindigkeit?

Diskutieren Sie die Annahmen und Ansätze des Sommerfeldmodells für freie Elektronen: Schrödingergleichung, Randbedingungen und die daraus resultierenden Lösungen für die Wellenfunktion, Zustandsdichte  $D(k)$  und  $D(E)$ , Fermiwellenvektor, Fermienergie. Stellen Sie diese Annahmen jenen des Drude-Modells gegenüber.

Welches Ergebnis liefert das Sommerfeldmodell für die Temperaturabhängigkeit der inneren Energie und elektronischen spezifischen Wärme (mit Ansatz für die Berechnung der inneren Energie, jedoch ohne Ableitung) und welche Information läßt sich aus der experimentellen Bestimmung des Sommerfeldkoeffizienten eines Metalls gewinnen.

Welches Ergebnis liefert das Sommerfeldmodell für die elektronische Zustandsdichte  $D(E)$  und die elektronische spezifische Wärme  $C(T)$  (beide **ohne Ableitung und Vorfaktoren!**)? Welche Information läßt sich aus der experimentellen Bestimmung des Sommerfeld-koeffizienten eines Metalls gewinnen.

Diskutieren Sie das Bloch-Theorem. Was versteht man unter Blochfunktionen (Beispiel, Skizze). Warum ist es sinnvoll, die Betrachtung von  $k$ -Zuständen und  $k$ -Abhängigkeiten auf die erste Brillouinzone zu beschränken? Wodurch kommt die Bandaufspaltung an der Zonengrenze zustande? Was sind die Konsequenzen für die Fermifläche?

Diskutieren sie das Bloch-Theorem (Aussage?). Was versteht man unter einer Blochfunktion (Beispiel, Skizze). Zeigen Sie, dass Blochfunktionen und deren Dispersionsrelationen  $E(k)$  periodische Funktionen im reziproken Gitter sind.

Diskutieren sie das Model der „nahezu freien Elektronen“. Dispersion für einfach kubisches Gitter mit verschwindendem Potential? Diskutieren Sie die **Bandaufspaltung an der Zonengrenze**: Eigenzustände, zugehörige Ladungsdichteverteilungen und eine grobe Abschätzung der Bandaufspaltung (Ansatz, Skizzen , **ohne detaillierte Ableitung**).

Diskutieren Sie die tight - binding Näherung: Grundannahmen, Ansätze für die Bloch-Funktionen, Hamilton-Operator und daraus resultierende Dispersion (bei einfach kubischem Gitter und Berücksichtigung der Transferintegrale nur bis nächste Nachbarn) und effektive Masse bei kleinen  $k$ -Vektoren.

Geben Sie die Geschwindigkeit und effektive Masse eines Bandelektrons an, wenn die Dispersionsrelation des Bandes  $E(\mathbf{k})=E_0 +A[\cos(k_x a)+\cos(k_y a)+\cos(k_z a)]$  ist und Sie speziell die Werte am Rand der Brillouinzone bei  $\mathbf{k} = \pi/a(1,0,0)$  einer kubischen Struktur interessieren, wobei  $a$  die Gitterkonstante ist.

Auf welchen Annahmen beruht das Semiklassische Modell und wozu dient es? Was versteht man unter der Gruppengeschwindigkeit und der effektive Masse des Bandelektrons und wie hängen diese mit der Dispersion  $E(k)$  zusammen?

Was versteht man unter der Gruppengeschwindigkeit und effektiven Masse eines Bandelektrons im semiklassischen Modell? Geben sie die Geschwindigkeit und effektive Masse eines Bandelektrons an, wenn die Dispersionsrelation für dieses Band  $E(\mathbf{k})=E_0 +A[\cos(k_x a)+\cos(k_y a)+\cos(k_z a)]$  ist und sie speziell die Werte am Rand der Brillouinzone bei  $\mathbf{k} = \pi/a(1,0,0)$  einer kubischen Struktur interessieren, wobei  $a$  die Gitterkonstante ist. Wie groß ist die Bandbreite dieses Bandes?

Beschreiben sie das Konzept der Relaxationszeitnäherung und das der Linearisierung im Zusammenhang mit der Boltzmann-Transportgleichung. Was folgt daraus dann für die stationäre Nichtgleichgewichtsverteilungsfunktion  $f(k)$  der Elektronen im homogenen elektrischen Feld?

Beschreiben sie die linearisierte Boltzmann-Transportgleichung und das Konzept der Relaxationszeitnäherung. Was folgt daraus dann für die stationäre Nichtgleichgewichtsverteilungsfunktion  $f(k)$  der Elektronen im homogenen elektrischen Feld **und** homogenen Temperaturgradienten?

Diskutieren Sie die Zusammenhänge zwischen der elektrischen Stromdichte und Wärmestromdichte unter der Wirkung eines elektrischen Feldes und eines Temperaturgradienten sowie den Seebeck und Peltier Effekt.

Beschreiben Sie kurz das Bohr van Leeuwen Theorem. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus?

Beschreiben Sie kurz die Hundschen Regeln und woraus sie sich ergeben. Warum sind die Hundschen Regeln in Seltenen Erden und deren Verbindungen gut erfüllt nicht jedoch in Übergangsmetallen?

Unter welchen Bedingungen entstehen **Landau Niveaus**? Warum oszilliert die Zustandsdichte als Funktion des Magnetfeldes (schematisch)? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus?

Zeigen Sie, dass die Brillouinfunktion für  $S=1/2$  ein ***tanh*** ist und geben Sie die entsprechenden Beziehungen für die Zustandssumme und freie Energie an. Schematische Skizzen von  $M/M_0$  als Funktion von  $H/T$  und  $T/H$ , sowie der inneren Energie und der spezifischen Wärme.

Nennen Sie die mikroskopischen Mechanismen für langreichweitige Ordnung.

Geben Sie die Eigenwerte von:  $\mathcal{H}^{Spin} = A\hat{S}_a \cdot \hat{S}_b$  für ein Spin  $1/2$  System an. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den Singulett bzw. Triplett Zustand? Zeigen Sie kurz die Ableitung des Molekularfeldmodells für den Heisenbergoperator.

Aus welchen Näherungen und Konzepten ergibt sich das **Curie-Weiss**'sche Gesetz? Welche Bedeutung hat die Curie Konstante? Welchen Einfluss kann das Kristallfeld auf die Curie Konstante haben? Was versteht man unter dem *effektiven Moment*; Unterschied zum *Sättigungsmoment*?

Vergleichen Sie den Paramagnetismus von lokalen Momenten und Bandelektronen.

Beschreiben Sie die unterschiedlichen Modelle für die paramagnetische Suszeptibilität von Leitungselektronen und lokalisierten Elektronen. Welche Temperaturabhängigkeiten ergeben sich für die Suszeptibilität in diesen Fällen. Welche Bedeutung hat die Curie Konstante? Was versteht man unter dem effektiven Moment; Unterschied zum Sättigungsmoment?

Beschreiben Sie die Grundlagen des Stoner-Wohlfarth Modells für Bandmagnetismus (bei  $T = 0$ : Herleitung des Stonerkriteriums, Stoner Suszeptibilität)

Diskutieren Sie die *Landau Theorie für Phasenübergänge 2. Ordnung* am Beispiel eines isotropen Ferromagneten (Bedeutung der Begriffe des „Ordnungsparameters (OP)“ und der „spontanen Brechung der Symmetrie“, Skizze für die Freie Energie als Funktion des OP). Was passiert bei  $T_C$  in diesem einfachen Modell?

Welche Modifikationen - im Vergleich zur vorangegangenen Frage - sind nötig, um die Landau Theorie für Phasenübergänge 2. Ordnung auf *inhomogene Supraleiter* anzuwenden (Ansatz für die Freie Energie und Bedeutung der zusätzlichen Beiträge, aber ohne Details der Ginzburg Landau Gleichungen)

Warum wäre Supraleitung nur mit  $\rho = 0$  kein thermodynamischer Zustand?  
Schematische Skizzen.

Was versteht man unter der Kondensationsenergie des supraleitenden Zustandes und woraus leitet sie sich ab? Skizzieren Sie  $M(H)$  und  $B(H)$  Kurven eines Typ-I und Typ-II Supraleiters. Welche Energiebilanz führt (wie?) zum Typ-I und Typ-II Supraleiter. Welche Längenskalen sind dabei wesentlich? Woraus ergibt sich der Sprung der spezifischen Wärmekapazität bei der supraleitenden Sprungtemperatur (für  $B=0$ ) und wie groß ist er?

Diskutieren Sie die Bedeutung der charakteristischen Längen und des Ginzburg Landau Parameters in der Ginzburg Landau Theorie für Supraleiter.

Diskutieren Sie den Josephson Effekt am SL/Isolator/SL Tunnelkontakt (mit Herleitung für den Josephson Gleichstrom).

Wie dringt das Magnetfeld an einer Grenzschicht in den Supraleiter ein (Ableitung)? Was versteht man unter dem Mischzustand (Shubnikov Phase) bzw. dem Zwischenzustand eines Supraleiters? Beschreiben Sie die Bedeutung der charakteristischen Längen und des Ginzburg-Landau Parameters eines Typ II Supraleiters

Was versteht man unter dem Entmagnetisierungsfaktor? Welche Korrekturen sind bei Magnetisierungsmessungen aufgrund des Entmagnetisierungsfaktor notwendig.

Beschreiben Sie die Flussquantisierung. Wie verhält sich ein supraleitender Ring im Magnetfeld?