

I) STRUKTUR UND BINDUNG IN KRISTALLEN

1. Was muss man für die Beschreibung einer Kristallstruktur angeben? Welche Gittertypen gibt es? Welche Symmetrien können in Kristallen auftreten. Warum sind nur bestimmte Rotationssymmetrien in Kristallen möglich? Zeigen sie, welche Rotationssymmetrien in einem fcc Kristall auftreten. Wie gibt man Richtungen und Gitterebenen im Kristall an? **(B)**
2. Welche Arten von Bindungen treten in Festkörpern auf? Worauf beruhen Sie und was sind Ihre charakteristischen Merkmale? Geben Sie typische Beispiele für Kristalle mit diesen Bindungen an. Wie beeinflusst die Art der Bindung die Kristallstruktur? **(B)**

II) BEUGUNG UND REZIPROKES GITTER

1. Welche Teilchen werden für Beugungsuntersuchung der Kristallstruktur verwendet? Beschreiben Sie jeweils Art der Wechselwirkung mit dem Festkörper und spezifische Besonderheiten der unterschiedlichen Beugungsexperimente.
2. Beschreiben Sie die Beugung am Kristallgitter in Bragg- und Laueformulierung. Wie hängen Netzebenenabstand und reziproker Gittervektor zusammen? **(B)**
3. Erläutern Sie den Begriff Streuamplitude und geben Sie diese allgemein für ein Ensemble von streuenden Teilchen an. Wie hängt die Streuamplitude mit experimentellen Messgrößen eines Beugungsexperiments zusammen?
4. Wie ist das reziproke Gitter definiert? Wie können die Einheitsvektoren des reziproken Gitters aus denen des Gitters im Realraum berechnet, bzw. geometrisch konstruiert werden? Welche Bedeutung hat es für die Beschreibung von Beugungsexperimenten? **(B)**
5. Wie sind die Brillouinonen des Gitters definiert? Zeigen Sie am Beispiel eines 2D Gitters, wie Sie konstruiert werden. Was ist die Bedeutung der Zonengrenze? **(B)**
6. Erläutern Sie als Beispiel für eine experimentelle Streumethode das Laueverfahren. Erklären Sie mit Hilfe der Ewald-Konstruktion das beobachtete Beugungsbild.
7. Was ist der Strukturfaktor einer Kristallstruktur? Wie misst man ihn und welche Probleme treten dabei auf? Zeigen Sie anhand des Strukturfaktors für ein einfaches bcc Gitter, dass bei zentrierten Gittern bestimmte Braggreflexe verschwinden.

III) GITTERSCHWINGUNGEN UND THERMISCHE EIGENSCHAFTEN

1. Erklären Sie Gitterschwingungen am Beispiel eines einfachen Gitters mit einem Atom in der primitiven Einheitszelle. Was ist die harmonische Näherung, zu welchen Lösungen für Normalschwingungen führt sie und was sind deren Eigenschaften? Beschreiben Sie den Verlauf der Dispersionsrelation, erklären Sie, warum ist sie auf die erste Brillouinzone beschränkt ist, und diskutieren Sie wichtige Grenzfälle? Was versteht man unter Phononen? **(B)**
2. Beschreiben Sie qualitativ Gitterschwingungen für ein Gitter mit mehreren nicht-äquivalenten Atomen in der Basis. Geben Sie den grundsätzlichen Verlauf der verschiedenen Dispersionszweige an und diskutieren Sie für wichtige Grenzfälle die zugehörigen Schwingungsmoden. Woher rühren die Bezeichnungen „optische“ und „akustische“ Phononen? **(B)**
3. Mit welchen experimentellen Methoden lassen sich Phononendispersionsrelationen vollständig bestimmen? Erläutern Sie das Messprinzip sowie den grundsätzlichen experimentellen Aufbau. Welche weiteren Messmethoden liefern (eingeschränkt) Informationen zu Gitterschwingungen?
4. Geben Sie die Dichte der Schwingungsmoden im reziproken Raum an und erläutern Sie, wie man daraus die Zustandsdichte $D(\omega)$ bestimmt. Erläutern Sie den Verlauf bei sehr niedrigen Frequenzen sowie an der Oberkante von Dispersionszweigen.
5. Wodurch ist die mittlere Zahl von Phononen einer Schwingungsmode und deren Beitrag zur mittleren Energie bei fester Temperatur gegeben? Wie berechnet sich daraus der Beitrag zur inneren Energie und zur Wärmekapazität? Geben Sie das Gesetz von Dulong und Petit an und begründen Sie es aus dem Verhalten der Verteilungsfunktion.
6. Beschreiben Sie das thermische Verhalten von Festkörpern im Einstein- und im Debye-Modell (Grundannahmen, Verlauf von Zustandsdichte und resultierender Wärmekapazität). Welche Dispersionszweige werden durch diese beiden Modelle näherungsweise beschrieben?
7. Beschreiben Sie den Wärmetransport in Festkörpern im Phononenbild. Welche Prozesse begrenzen den Wärmetransport? Erklären Sie damit qualitativ den Verlauf der Wärmeleitfähigkeit.

IV) ELEKTRONISCHE EIGENSCHAFTEN

1. Beschreiben Sie im Modell des freien Elektronengases die Bandstruktur, die Verteilung der Zustände im reziproken Raum, die Besetzungswahrscheinlichkeit und die elektronische Zustandsdichte eines Festkörpers am absoluten Nullpunkt und bei einer endlichen Temperatur. Wie hängen Fermienergie und chemisches Potential zusammen? Welche Festkörper werden mit diesem Modell gut beschrieben? **(B)**
2. Diskutieren Sie den Beitrag der Leitungselektronen eines Metalls zur spezifischen Wärmekapazität. Welche Temperaturabhängigkeit finden Sie insgesamt (Gitter + Elektronen) für einfache Metalle wie z. B. Alkalimetalle?
3. Erklären Sie das Ohmsche Gesetz mit Hilfe des Modells des freien Elektronengases. Welche mikroskopischen Prozesse tragen zum elektrischen Widerstand bei? Warum ist die Leitfähigkeit temperaturabhängig? Warum kann Streuung von Elektronen an anderen Elektronen vernachlässigt werden?
4. Gegeben sei ein elektrisch leitender Festkörper mit einem einzigen Typ von Ladungsträgern. Mit welchen Experimenten können der Typ der Ladungsträger (Elektronen, Löcher), ihre effektive Masse, sowie ihre Teilchendichte und Beweglichkeit bei Raumtemperatur bestimmt werden?
5. Welche allgemeine Form besitzen die Einelektronenzustände in einem gitterperiodischen Potential, was sind deren Eigenschaften? Begründen Sie damit, warum es ausreicht, Wellenfunktionen und Bandstruktur in der ersten Brillouinzone zu kennen. **(B)**
6. Erläutern Sie die Bandstruktur, die sich für fast freie Elektronen ergibt. Wie kommt die Bandlücke an der Zonengrenz zustande? **(B)**
7. Erklären Sie mit dem Bändermodell den Unterschied zwischen Metallen, Halbleitern und Isolatoren. Warum sind Kalium ein Metall, Silizium ein Halbleiter und die Erdalkali schlechte Metalle? **(B)**
8. Erläutern Sie ausgehend von den Wellenfunktionen freier Atome das Zustandekommen von Bändern in einem Festkörper. Wie ändern sich die Energieeigenwerte als Funktion des Abstands? Wovon hängt die Breite der Energiebänder qualitativ ab?
9. Diskutieren Sie die Bandlücke in einem Halbleiter. Wie lässt sie sich experimentell bestimmen? Was ist der Unterschied zwischen einer direkten und einer indirekten Bandlücke, wie äußert sich dies im Experiment?
10. Was bestimmt die effektive Masse und Ladung der Ladungsträger in einem Kristall? Erklären Sie dies am Beispiel von Elektronen nahe der Unterkante des Leitungsbandes sowie Löchern nahe der Oberkante des Valenzbandes. Was ist die physikalische Ursache der effektiven Masse? **(B)**
11. Konstruieren Sie für ein Valenzband das zugehörige Lochband. Wie hängen die Eigenschaften der Löcher mit denen der zugehörigen Elektronenzustände zusammen. Beschreiben Sie für ein einzelnes fehlendes Elektron in einem ansonsten gefüllten Valenzband die Bewegung im elektrischen Feld im reziproken Raum. Betrachten Sie dafür einmal direkt die Bewegung der Elektronen und alternativ die Bewegung der Löcher.
12. Diskutieren Sie die Eigenleitung in einem hochreinen Halbleiter. Beschreiben Sie die Besetzung in Valenz- und Leitungsband, die Konzentrationen von Leitungselektronen und Löchern als Funktion der Temperatur und die resultierende Leitfähigkeit.
13. Beschreiben Sie dotierte Halbleiter. Welche Arten von Zuständen gibt es? Wie hängen Ladungsträgerkonzentration und Fermienergie von der Temperatur ab? Erklären Sie damit, warum Halbleiterbauelemente nur in einem begrenzten Temperaturbereich arbeiten können.
14. Zeichnen Sie die Fermifläche für ein quadratisches Gitter aus Atomen mit einem Valenzelektron für freie und fast freie Elektronen. Diskutieren Sie für beide Fälle qualitativ die Form der Fermifläche (im erweiterten und im reduzierten 2D Zonenschema), wenn Sie die Elektronendichte sukzessive weiter erhöhen? **(B)**
15. Erklären Sie am Beispiel eines einfachen 2D Gitters den Unterschied zwischen Elektronenbahnen, Lochbahnen und offenen Bahnen. Erläutern Sie jeweils das Verhalten im Magnetfeld. Nennen Sie eine experimentelle Methode, mit der Informationen über Fermiflächen gewonnen werden können.

V) SUPRALEITUNG UND MAGNETISMUS

1. Nennen Sie die zwei wesentlichen experimentellen Beobachtungen, die die Existenz von Supraleitung in einem Festkörper zeigen. Was ist der Unterschied zwischen einem Supraleiter und einem (fiktiven) idealen Normalleiter (d.h. einem Metall mit Widerstand $R=0$)? Nennen Sie drei weitere experimentelle Charakteristika, die man in konventionellen Supraleitern in der Regel beobachten kann und diskutieren Sie diese. **(B)**
2. Beschreiben Sie das Verhalten eines Supraleiters in einem externen Magnetfeld als Funktion der Temperatur. Welche Rolle spielt die Form der Probe, wie verhält sich das Magnetfeld am Rand des Supraleiters? Was ist der Unterschied zwischen Supraleitern erster und zweiter Art? Beschreiben Sie für den zweiten Fall den mikroskopischen Zustand zwischen H_{c1} und H_{c2} .

3. Erklären Sie qualitativ den mikroskopischen Ursprung der (konventionellen) Supraleitung. Nennen Sie experimentelle Beobachtungen, die diese Überlegungen unterstützen (z.B. Paarbildung, Rolle von Gitterschwingungen und Elektronenspin).
4. Erklären Sie den Unterschied zwischen dia-, para- und ferromagnetischen Materialien. Woher rühren Dia- und Paramagnetismus (qualitativ) aus mikroskopischer Sicht? Erläutern Sie, wie man den Beitrag zum Magnetismus für ein bestimmtes Atom/Ion mit bekannter Elektronenkonfiguration ermittelt. **(B)**
5. Diskutieren Sie den Unterschied zwischen Paramagnetismus, der durch gebundene Elektronen verursacht wird, und dem Paramagnetismus der Leitungselektronen. Wie hängt jeweils die entstehende Magnetisierung vom angelegten Magnetfeld ab und wie erklärt man dies mikroskopisch? Welche Temperaturabhängigkeit zeigt jeweils die magnetische Suszeptibilität?
6. Diskutieren Sie die mikroskopische Ursache des Ferromagnetismus. Welche Typen von Austauschwechselwirkungen gibt es in Festkörpern? Erklären Sie den Ferromagnetismus von Metallen (z.B. von Ni, Fe). Beschreiben Sie die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung. **(B)**
7. Beschreiben Sie drei unterschiedliche Formen von magnetischer Ordnung in Festkörpern und geben Sie eine experimentelle Methode an, mit der sich diese magnetische Ordnung bestimmen lässt? Wie unterscheidet sich das (temperaturabhängige) magnetische Verhalten von ferro- und antiferromagnetischen Materialien?
8. Beschreiben Sie die Magnetisierungskurve eines Ferromagneten und erklären Sie das zugehörige mikroskopische Verhalten. Was ist der Unterschied zwischen hart- und weichmagnetischen Materialien? Warum gibt es in einem Ferromagneten Domänen? Wie ist die Struktur der Domänenwände?

(B): Basiswissen