

Festkörperphysik, SoSe 2023**Übungsblatt 8**

Prof. Dr. Thomas Michely

Dr. Wouter Jolie (wjolie@ph2.uni-koeln.de)

II. Physikalisches Institut, Universität zu Köln

Ausgabe: Mittwoch, 07.06.2023**Abgabe: Mittwoch, 14.06.2023, bis 8 Uhr über ILIAS**

Aufgabe Nr.:	1	2	3	4	Summe
Points:	5	5	6	4	20
Punkte:					

Bitte Aufgaben zusammen mit Aufgabenblatt als PDF hochladen. Namen, Matrikelnummer und Gruppennummer deutlich lesbar eintragen (sonst Punktabzug). Abgabe in Gruppen zu 2, max. 3 Personen erwünscht. Die Teammitglieder müssen in der gleichen Übungsgruppe sein.

1. [5 Punkte] Kurzfragen

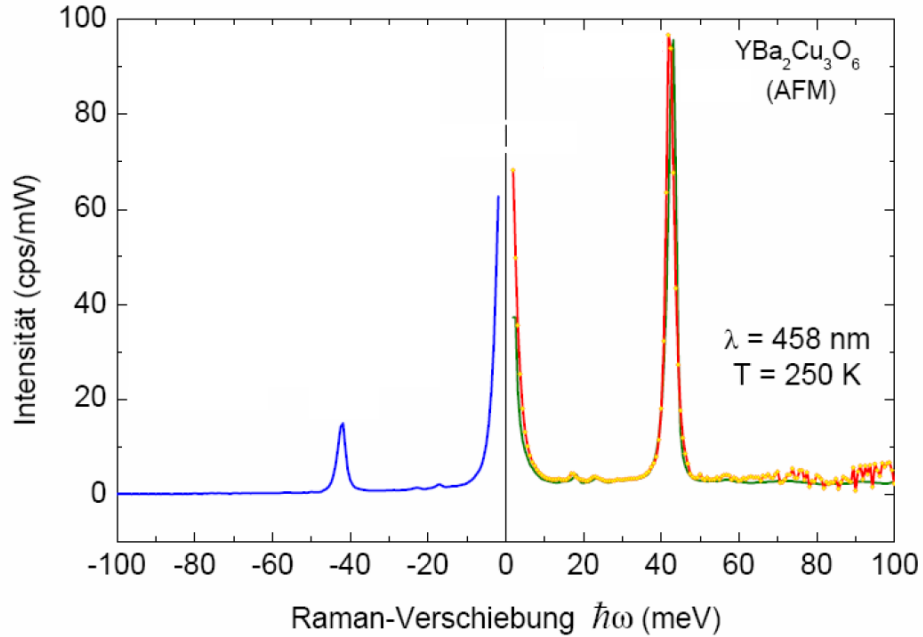
Markieren Sie im folgenden die richtigen Satzenden (Mehrfachauswahl möglich).

- Der Kristallimpuls
 - kann bei einem Stoßprozess in einem Kristall zunehmen. ☐
 - kann bei einem Stoßprozess in einem Kristall abnehmen. ☐
 - eines Teilchens kann sich nur bei einem inelastischen Stoßprozess im Kristall ändern. ☐
 - und seine Erhaltung bei Stoßprozessen bis auf einen reziproken Gittervektor ist Ausdruck der diskreten Translationssymmetrie in einem Kristall. ☐
 - eines Photons ist unabhängig von seiner Energie immer nahezu Null in Bezug auf die Ausdehnung einer Brillouinzone. ☐
- Die Phononendispersion
 - kann durch elastische Neutronenstreuung mit Hilfe eines Dreiachsenspektrometers gemessen werden. ☐
 - kann durch inelastische Lichtstreuung (Ramanspektroskopie) gemessen werden. ☐
 - gibt bis auf eine Konstante die Energie eines Phonons als Funktion seines Wellenvektors \vec{k} an. ☐
 - hat den identischen Verlauf wie die Dispersionsrelation der Gitterwellen. ☐

- ist anders als die Dispersion der Gitterwellen nicht auf die 1. Brillouinzone beschränkt. ☐
- Phononen
 - sind Quasiteilchen mit Kristallimpuls. ☐
 - der optischen Zweige haben bei tiefen Temperaturen die Besetzungszahl $1/2$. ☐
 - können nur durch Stoßprozesse erzeugt oder vernichtet werden. ☐
 - werden hinsichtlich ihrer Besetzungszahlen durch die Fermi-Dirac Statistik beschrieben. ☐
 - können mittels Ultraschall aus Kristallen extrahiert werden. ☐
- Die Wärmekapazität
 - ist klassisch linear von der Temperatur abhängig. ☐
 - zeigt aufgrund der Quantenmechanik kleine Abweichungen vom klassischen Erwartungswert bei tiefen Temperaturen. ☐
 - wird in ihrer Temperaturabhängigkeit gut durch das Debysche T^2 -Gesetz beschrieben. ☐
 - ist die partielle Ableitung der Energie der Gitterschwingungen nach der Temperatur, wenn der Druck p konstant gehalten wird. ☐
 - wird in ihrer Temperaturabhängigkeit durch die Temperaturabhängigkeit der Zustandsdichte im Frequenzraum $D(\omega)$ beschrieben. ☐
- Die Debye-
 - Temperatur trennt grob den Bereich ausgefrorener Moden (quantenmechanischer Bereich) vom klassisch beschreibbaren Bereich (alle Moden aktiv). ☐
 - Temperatur liegt für die Elemente typischerweise im Bereich um 10 K. ☐
 - Temperatur ist eindeutig durch die Debye-Frequenz festgelegt. ☐
 - sche Näherung nimmt an, dass die Gruppengeschwindigkeit der Gitterwellen konstant ist. ☐
 - Frequenz ist die Abschneidefrequenz, oberhalb der in der Debyeschen Näherung keine Frequenzen von Gitterwellen auftreten. ☐

2. [5 Punkte] Raman-Spektroskopie

Die Abbildung zeigt ein Raman-Spektrum von $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ (blaue und grüne Linie: Messergebnisse.).

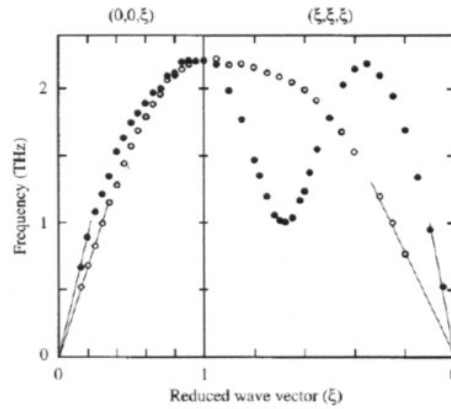


- (a) Recherchieren Sie die Struktur des Kristalls und stellen Sie das Ergebnis graphisch dar, zum Beispiel mit Hilfe von VESTA.
- (b) Durch welche Prozesse werden die abgebildeten Peaks hervorgerufen? Erklären Sie auch die unterschiedliche Intensität der Peaks.

3. [6 Punkte] Energieaufgelöste Neutronenspektroskopie

Ein weit verbreitetes Instrument für die inelastischen Neutronenspektroskopie ist das Dreiachsen-Spektrometer, das aus drei unabhängig voneinander einstellbaren Rotationsachsen für den Monochromatorkristall, die Probe und den Analysatorkristall besteht (siehe Vorlesung). Mit einem solchen Instrument wird die Phononendispersionsrelation von Kalium gemessen (siehe Abbildung, offene Symbole: Transversal-akustische Mode, geschlossene Symbole: Longitudinal-akustischen Mode. Der Faktor $2\pi/a$ ist in dieser Darstellung herausgekürzt. Auf der y-Achse steht Frequenz, nicht Kreisfrequenz.). Die drei Achsen werden nun so ausgerichtet, dass man sensitiv auf die Erzeugung eines Phonons mit dem Wellenvektor $\vec{k}_{\text{ph}} = \frac{2\pi}{a}(0, 0, 1/2)$ ist. Der Analysator wird auf eine feste Energie für die austretenden Neutronen von $E_{k'} = 14,5$ meV eingestellt.

- (a) Welche Energie E_k müssen die einfallenden Neutronen haben, damit man die maximale Zählrate für die longitudinal-akustische Mode misst?
- (b) Den Impulsübertrag des Neutrons an den Kristall \vec{Q} kann man zerlegen nach $\vec{Q} = \vec{G} + \vec{q}$, wobei \vec{q} den Impuls des Phonons bezeichnet und \vec{G} ein reziproker Gittervektor. Sei $\vec{Q} = \frac{2\pi}{a}(2, 0, 1/2)$. Berechnen Sie den Streuwinkel.
- (c) Wie groß müsste der Impuls des Phonons sein, wenn ein Impulsübertrag von $\vec{Q} = \frac{2\pi}{a}(1, 0, 1/4)$ beobachtet werden soll? Bedenken Sie die Auslöschungsregeln des bcc-Gitters! Kalium kristallisiert in der bcc-Struktur mit einer Gitterkonstante von $a = 5,3$ Å.



4. [4 Punkte] **Mittlere Schallgeschwindigkeit aus dem Debye-Modell**

Verwenden Sie für die folgenden Festkörper die Debye-Temperatur, um die mittlere Schallgeschwindigkeit abzuschätzen:

- (a) Kalium (bcc, $a = 0,5225$ nm, $T_D = 89$ K).
- (b) Magnesium (hcp, $a = 0,321$ nm, $c = 0,521$ nm, $T_D = 450$ K).

Erreichbare Gesamtpunktzahl: 20