Name(n)/Matrikelnummer(n): Übungsgruppe:

Festkörperphysik, SoSe 2023
Übungsblatt 2

Prof. Dr. Thomas Michely
Dr. Wouter Jolie (wjolie@ph2.uni-koeln.de)
II. Physikalisches Institut, Universität zu Köln

Ausgabe: **Mittwoch, 19.04.2023**
Abgabe: **Mittwoch, 26.04.2023, bis 8 Uhr über ILIAS**

Aufgabe Nr.:	1	2	3	4	**Summe**
Points:	5	5	5	5	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).

   - Zu den Symmetrieoperationen einer Punktgruppe zählen
     - Drehungen um 1,2,3,4,5, und 6 zählige Achsen. ☐
     - die Inversion. ☐
     - die Drehinversion. ☐
     - die Gleitspiegelung. ☐
     - die Drehspiegelung. ☐
   - Folgende Gitter sind Bravaisgitter in 2 oder 3 Dimensionen
     - das einfach (primitive) kubische Gitter (3D). ☐
     - das monoklin raumzentrierte Gitter (3D). ☐
     - das trikline Gitter (3D). ☐
     - das Honigwabengitter (2D). ☐
     - das rhombisch basiszentrierte Gitter (3D). ☐
   - Leerstellen in der Kristallstruktur
     - sind im thermodynamischen Gleichgewicht bei endlichen Temperaturen immer in endlicher Konzentration vorhanden. ☐
     - werden in ihrer Konzentration durch die Minimierung der Gesamtenergie des Systems bestimmt. ☐

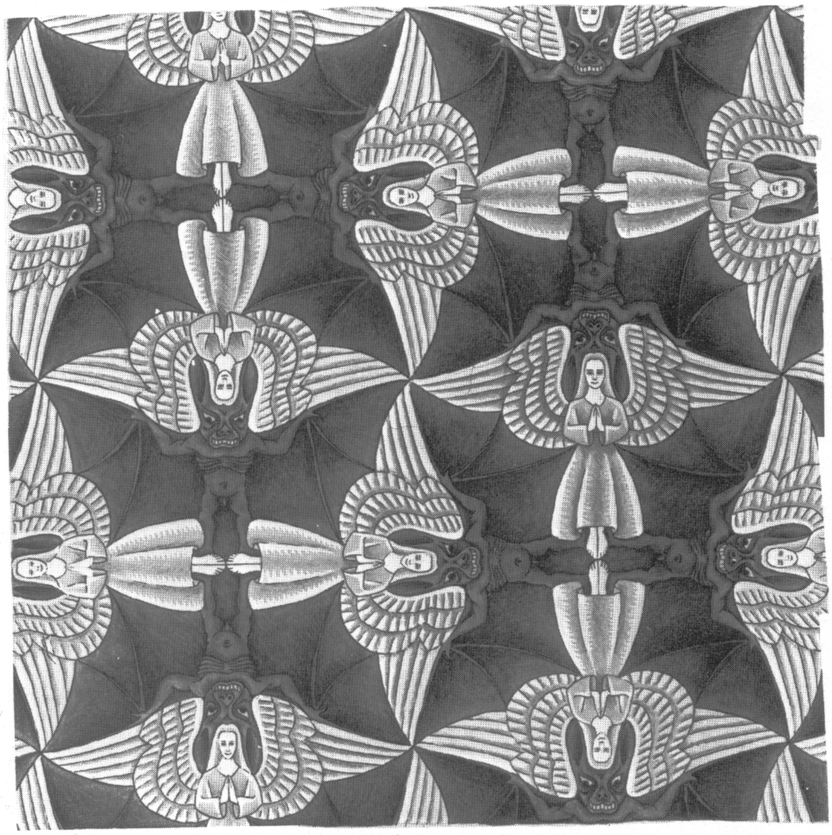
- besitzen einen wesentlichen Beitrag zur Konfigurationsentropie des Systems. ☐
- sind in ihrer Konzentration umso höher, je größer die mit ihrer Bildung verknüpfte Energie ist. ☐
- können nach einer Temperaturänderung im Kristall nur dann in der Gleichgewichtskonzentration sein, wenn die Leerstellen sich bewegen (diffundieren) können. ☐

- Die experimentell gemessene kritische Scherspannung σ_c
  - unterscheidet sich um weniger als eine Zehnerpotenz vom Schubmodul G des Materials. ☐
  - ist insbesondere für Einkristalle einige Zehnerpotenzen kleiner als das Schubmodul G. ☐
  - wird zunächst für ein versetzungsarmes Material sehr klein im Vergleich zu G sein, wenn das Material Frank-Read-Quellen oder andere Quellen für Versetzungen enthält. ☐
  - sinkt nach anfänglicher Verformung mit zunehmender Versetzungskonzentration immer weiter ab. ☐
  - kann durch die Ausscheidung kleiner Teilchen einer zweiten Phase deutlich erhöht werden, wenn diese Teilchen die Versetzungen verankern. ☐
- Versetzungen
  - sind spezielle Materialien deren Kristallstruktur aus treppenartig angeordneten Einheitszellen besteht. ☐
  - sind Liniendefekte, deren Charakter lokal durch die Orientierung der Defektline und die Richtung des Burgers Vektors in Bezug auf die Richtung der Defektlinie angegeben werden kann. ☐
  - können als Ringe vorkommen, die unter dem Einfluss einer äußeren Schubspannung schrumpfen, bis sie ganz verschwinden. ☐
  - besitzen eine Energie pro Längeneinheit, die sich aus der Energie des Versetzungskerns und der Energie des elastischen Verzerrungsfeldes zusammensetzt. Letztere ist proportional zum Quadrat des Burgers Vektors. ☐

2. **[5 Punkte] Symmetrien**

Geben Sie zunächst die Einheitszelle im Folgenden Bild an. Identifizieren Sie Symmetrien und geben Sie jeweils die Positionen der Symmetrieelemente (Punkte, Achsen, Ebenen) in der Einheitszelle an.

Hinweis: Es gibt verschiedene zählige Drehachsen, Inversionszentren, Spiegel- und Gleitspiegelebenen.



3. **[5 Punkte] Leerstellenkonzentration und thermische Ausdehnung**

(a) Beweisen Sie unter Benutzung der Stirling-Formel $\ln N! \approx N \ln N - N$ die in der Vorlesung benötigte Näherung $\frac{\partial}{\partial n}\left(\ln \frac{(N+n)!}{N!n!}\right) \approx \ln\left(\frac{N}{n}\right)$.

(b) Für Kupfer ist die Bildungsenergie für Leerstellen $\varepsilon_l = 1.18$ eV und die Vibrationsentropie je Leerstelle $\sigma_{\text{th}} = 1,5\ k_{\text{B}}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtsleerstellenkonzentration $\frac{n}{N}$ bei Raumtemperatur und bei der Schmelztemperatur $T_{\text{melt}} = 1358$ K.

(c) Wie groß ist die relative Änderung des Kristallvolumens $\Delta V/V$, die sich aus der Leerstellenkonzentration ergibt, wenn man den Kristall von Raumtemperatur bis zum Schmelzpunkt von Kupfer erwärmt?

(d) Der mittlere lineare thermische Ausdehnungskoeffizient von Kupfer von Raumtemperatur bis zum Schmelzpunkt sei $\alpha = 16,5 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$. Wie groß ist der Beitrag der Leerstellen dazu?

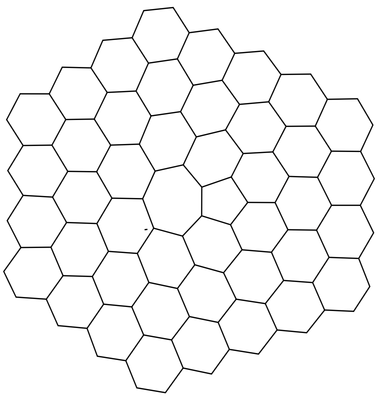
4. **[5 Punkte] Versetzungen**

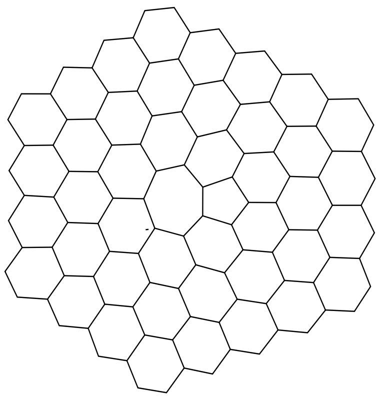
Im Bild sehen Sie die Kristallstruktur des zweidimensionalen Materials *Graphen* mit einem Defekt, der den Kern einer Versetzung bildet. Die Linien sind die Bindungen zwischen den Atomen, während die Atome auf den Knotenpunkten sitzen, d.h. jedes Kohlenstoffatom hat drei Bindungen zu Nachbarn. Die Versetzung kann man sich vorstellen als eine eingeschobene Linie zusätzlicher Hexagone.

(a) Zeichnen Sie weit entfernt vom Versetzungskern zwei kürzestmögliche Gittervektoren ein, und konstruieren Sie die Wigner-Seitz-Zelle. Wählen Sie dabei die kleinste mögliche Basis. Wie viele Atome gehören zu dieser?

(b) Zeichnen Sie den Burgersvektor der Versetzung ein.

(c) Markieren Sie im Bild die Atome, die entfernt werden müssen, und zeichnen Sie die Bindungen ein, die neu gebildet werden müssen, damit wieder ein defektfreier Kristall erhalten wird, bei dem nur noch Hexagone auftreten.





Zwei mal das gleiche Bild – einmal zum ausprobieren, einmal für Ihre ordentliche Lösung

Erreichbare Gesamtpunktzahl: 20