

---

**Aufgabe 41)****(a90)**

a) Zeigen Sie, dass für ein parabolisches Band die effektive Masse konstant ist!

b) Geben Sie folgendes modellhafte Energieband ( $E_0 = 2 \text{ eV}$ ,  $d = 0.5 \text{ nm}$ ):

$$E(k_x) = \frac{E_0}{2} [1 - \cos(kd)]$$

Zeichnen Sie das  $E(k_x)$ -Diagramm über die 1. Brillouin-Zone! Berechnen Sie die effektive Masse für die gegebene Bandstruktur für  $|k_x| \ll \frac{\pi}{d}$ . Welche Bedeutung hat der Parameter  $d$ ?

---

**Aufgabe 42)****(a50)**

Durch Addition geeigneter Vektoren des reziproken Gitters lassen sich beliebige Zustände des  $k$ -Raumes in äquivalente Zustände überführen, welche sich innerhalb der 1. Brillouin-Zone befinden. Auf diese Weise lässt sich das "reduzierte" Energie- bzw. Zonenschema eines Elektronengases konstruieren.

Betrachten Sie ein freies Elektronengas mit der isotropen Energie-Wellenzahl-Beziehung:

$$E(k) = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2$$

dessen Fermikugel den Radius  $k_F = 1.2 \pi/a$  besitzt.

(a) Zeichnen Sie die Energieparabel  $E(k_x)$  eines **eindimensionalen** freien Elektronengases für die ersten drei Energiebänder, d.h. im Bereich der ersten drei Brillouin-Zonen. Zeichnen Sie die Energieparabel auch im reduzierten Energieschema, und markieren Sie jeweils die von Elektronen besetzten Zustände.

(b) Wie sieht die Fermikugel mit dem Radius  $k_F = 1.2 \pi/a$  in einem ebenen quadratischen Gitter aus? Markieren Sie die von Elektronen besetzten Zustände. Wie kann man das auf die 1. Brillouinzone abbilden?

(c) Was ändert sich an den obigen Darstellungen, wenn anstelle des freien Elektronengases ein Elektronengas betrachtet wird, welches sich in einem schwachen periodischen Potential befindet?

---

---

**Aufgabe 43)****(a36)**

Die Energielücke zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband in Silizium beträgt bei Zimmertemperatur 1,14 eV. Wie groß ist die Grenzwellenlänge eines Photons, das ein Elektron vom oberen Teil des Valenzbandes in den unteren Teil des Leitungsbandes anregen kann? Was gilt für Germanium mit einer Bandlücke von nur 0,74 eV? Ist für diese Aufgabe die maximale oder minimale Wellenlänge gemeint und warum?

---

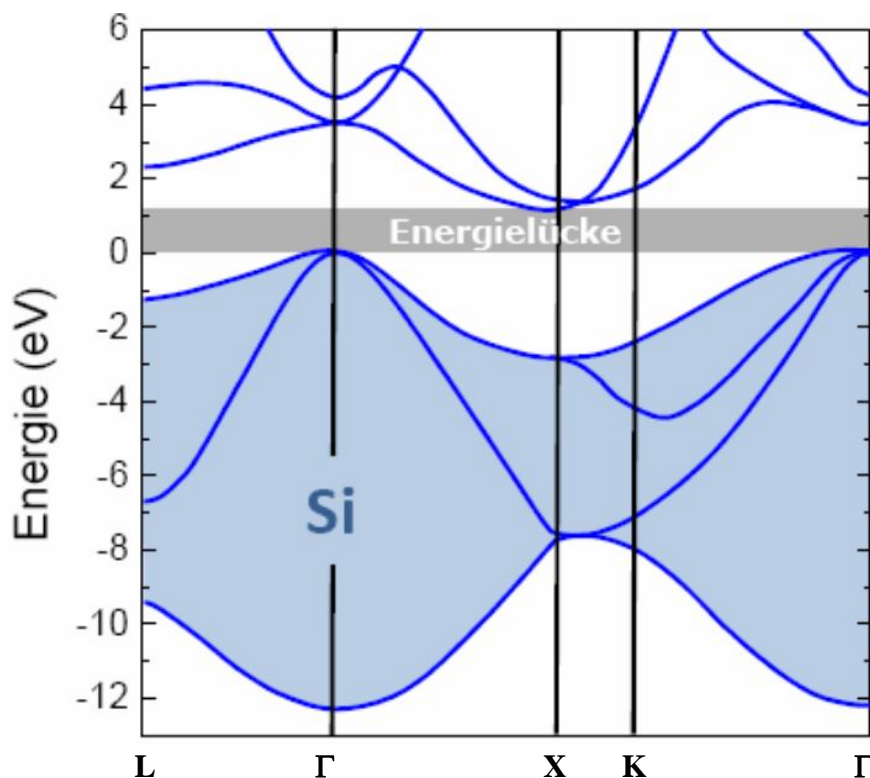
**Aufgabe 44)****(a93)**

Was versteht man unter einem direkten bzw. einem indirekten Halbleiter? Wie kann man experimentell nachweisen, ob es sich bei einem Halbleiter um einen direkten oder indirekten Halbleiter handelt?

---

**Aufgabe 45)****(a100)**

Die Grafik stellt die Bandstruktur von Silizium da. Was bedeuten die Buchstaben auf der x-Achse? Handelt es sich um einen direkten oder um einen indirekten Halbleiter? Welche Wellenlängen von Licht können Silizium durchdringen? Welche Wellenlängen werden absorbiert? Welches Licht braucht man für Anregungen mit einem direkten Übergang? Sollte Silizium für uns durchsichtig sein?



**Aufgabe 46)****(a46)**

Für Indiumantimonid ist  $E_G = 0.23 \text{ eV}$ , die Dielektrizitätskonstante beträgt  $\epsilon_r = 18$  und die effektive Masse der Elektronen  $m_e = 0.015 m_0$ . Man dotiert Indiumantimonid mit Siliziumatomen.

a) Leiten Sie analog zum Bohrschen Atommodell den Bahnradius und die Bindungsenergie der Donatoren im Grundzustand her und berechnen sie diese Werte dann für den dotierten Halbleiter.

b) Ab welcher Donatorkonzentration treten deutliche Überlappungseffekte zwischen den Bahnen benachbarter Fremdatome auf? Was bedeutet das dann für die Elektronen?

-----

**Aufgabe 47)****(a92)**

Diskutieren sie die Lage der Fermienergie als Funktion der Temperatur für einen intrinsischen Halbleiter, für einen p - dotierten Halbleiter und für einen n- dotierten Halbleiter!

-----

**Aufgabe 48)****(a25)**

Die Sättigungsmagnetisierung in Eisen ist etwa  $1,7 \cdot 10^6 \text{ A/m}$ . Wie hoch ist das magnetische Moment  $\mu$  eines einzelnen Eisenatoms in Bohrschen Magnetonen  $\mu_B$ , wenn man annimmt, dass bei Sättigung alle atomaren Momente ausgerichtet sind?

Angaben: Dichte von Eisen:  $7,8 \text{ g/cm}^3$ ; Atommasse  $55,8 \text{ u}$ ;  $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;

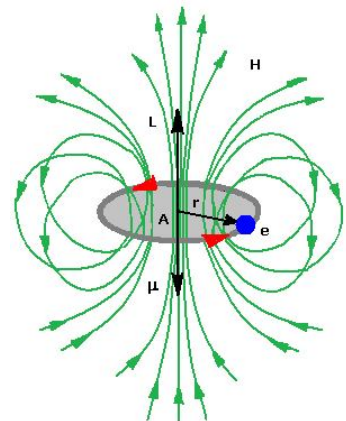
$$\mu_{\text{Bohr}} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ (A m}^2 = \text{J/T)}.$$

-----

**Aufgabe 49)****(a96)**

Ein magnetischer Dipol  $\mu$ , der sich im Ursprung des Koordinatensystems befinden soll, erzeugt in seiner Umgebung die magnetische Flussdichte:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \frac{3\vec{r}(\vec{\mu} \cdot \vec{r}) - \vec{\mu}r^2}{r^3}$$



- a) Was versteht man unter einem magnetischer Dipol? Wie ist der magnetische Dipol definiert?
- b) Berechnen Sie die maximale Stärke des Magnetfeldes, welches ein Atom mit dem magnetischen Moment  $\mu = \mu_B$  am Ort eines Nachbaratoms erzeugt. Der für die Ferromagneten Fe, Ni und Co typische Abstand nächster Nachbarn  $r_0$  kann aus den folgenden Angaben berechnet werden:
- Fe besitzt ein bcc-Gitter mit  $a = 2.866 \text{ \AA}$ , Co ein hcp-Gitter mit  $a = 2.507 \text{ \AA}$  und Ni ein fcc-Gitter mit  $a = 3.524 \text{ \AA}$ .
- c) Vergleichen Sie die maximale Energie der Dipol-Dipol-Wechselwirkung mit der thermischen Energie der Dipole bei der Curie-Temperatur, die für die genannten Materialien in der Größenordnung von 1000K liegt.
- d) Welche Flussdichte müsste am Ort eines Atoms mit dem magnetischen Moment  $\mu = \mu_B$  vorhanden sein, um auch bei einer Curie-Temperatur von 1000K ausgerichtet zu bleiben?
- e) Auf welchen Abstand müsste man 2 Atome annähern, damit die magnetische Wechselwirkungsenergie bei 1000K liegt?
- f) Kann man die klassische Dipol-Dipol-Wechselwirkung für den Magnetismus in diesen Stoffen verantwortlich machen?
- g) Wie kann man dann überhaupt erklären, das es ferromagnetische Stoffe gibt?

---

### Aufgabe 50)

(a52)

Zum besseren Verständnis des Kapitels "lokalisierter Magnetismus" müssen einige Begriffe aus der Atom- und Molekülphysik wiederholt werden. Beantworten sie dazu folgende Fragen:

- a) In welcher Reihenfolge werden die Schalen im Atom besetzt? Warum werden sie nicht der Reihe nach energetisch besetzt, wie sie bei Bohr oder Schrödinger im Wasserstoffatom berechnet wurden?
- b) Wie werden Drehimpulse in der Quantenmechanik addiert?
- c) Was besagt die Russel-Sanders- Kopplung?
- d) Wie sehen die Termsymbole für Elektronenkonfigurationen bei der Russel-Sanders-Kopplung aus?
- d) Was besagt das Pauliprinzip?
- e) Wie lauten die Hundschen Regeln?
- f) Skizzieren sie mit Hilfe eines symbolischen Kästchenschemas und der Hundschen Regeln die Besetzung von 4f-Orbitalen im Grundzustand der Ionen  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$  und  $\text{Lu}^{3+}$ . Wie lauten dazu die entsprechenden Termbezeichnungen  $^{2S+1}L_J$  des Grundzustandes.

g) Wie berechnet man den Landé-Faktor? Was hat der Landé-Faktor mit dem magnetischen Moment eines Atoms zu tun? Wie berechnet man damit Energieaufspaltungen im Atom?

h) Warum liefern abgeschlossene Schalen kein magnetisches Moment?

i) "Interpretieren" sie folgende Tabelle:

Ion	Schale	$S$	$L$	$J$	Term	$p_{\text{Hund}}$	$p_{\text{Exp}}$
Ce <sup>3+</sup>	4f <sup>1</sup>	1/2	3	5/2	<sup>2</sup> F <sub>5/2</sub>	2,54	2,51
Pr <sup>3+</sup>	4f <sup>2</sup>	1	5	4	<sup>3</sup> H <sub>4</sub>	3,58	3,56
Nd <sup>3+</sup>	4f <sup>3</sup>	3/2	6	9/2	<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub>	3,62	3,5
Pm <sup>3+</sup>	4f <sup>4</sup>	2	6	4	<sup>5</sup> I <sub>4</sub>	2,68	
Sm <sup>3+</sup>	4f <sup>5</sup>	5/2	5	5/2	<sup>6</sup> I <sub>5/2</sub>	0,85	1,74
Eu <sup>3+</sup>	4f <sup>6</sup>	3	3	0	<sup>7</sup> F <sub>0</sub>	0,0	3,4
Gd <sup>3+</sup>	4f <sup>7</sup>	7/2	0	7/2	<sup>8</sup> S <sub>7/2</sub>	7,94	7,98
Tb <sup>3+</sup>	4f <sup>8</sup>	3	3	6	<sup>7</sup> F <sub>6</sub>	9,72	9,77
Dy <sup>3+</sup>	4f <sup>9</sup>	5/2	5	15/2	<sup>6</sup> H <sub>15/2</sub>	10,63	10,63
Ho <sup>3+</sup>	4f <sup>10</sup>	2	6	8	<sup>5</sup> I <sub>8</sub>	10,60	10,4
Er <sup>3+</sup>	4f <sup>11</sup>	3/2	6	15/2	<sup>4</sup> I <sub>15/2</sub>	9,59	9,5
Tm <sup>3+</sup>	4f <sup>12</sup>	1	5	6	<sup>3</sup> H <sub>6</sub>	7,57	7,61
Yb <sup>3+</sup>	4f <sup>13</sup>	1/2	6	7/2	<sup>2</sup> F <sub>7/2</sub>	4,53	4,5
Lu <sup>3+</sup>	4f <sup>14</sup>	0	0	0	<sup>1</sup> S <sub>0</sub>	0,0	0,0

**Aufgabe 51)**

**(a97)**

a) Was sind longitudinale und transversale Wellen?

b) Was besagt die Dispersionsrelation für Gitterschwingungen?

c) Was bedeuten die Begriffe optischer bzw. akustischer Zweig der Dispersionskurve (üblicherweise dargestellt für die 1. Brillouinzone)? Wann treten beide Zweige auf?

d) Hat das irgend etwas mit der elektronischen Bandstruktur im Festkörper zu tun?

e) Was bedeuten die Begriffe longitudinaler und transversaler optischer/akustischer Zweig?

f) Berechnen sie die erlaubten Schwingungsfrequenzen  $\omega$  der Gitterschwingungen für eine eindimensionale Kette aus zwei verschiedenen Atomen mit den Massen  $M_1$  und  $M_2$  ( $M_1 > M_2$ ) zwischen denen sich jeweils ein Feder mit der Federkonstanten  $D$  befindet für  $k = 0$  und  $k = \pi/a$ . Wie schwingen dort die Atome (machen Sie eine Skizze!) ?

g) Was passiert, wenn man einen Festkörper mit einer Frequenz anregt, die innerhalb der Lücke oder über der maximalen Frequenz liegt? Schwingen dann noch die Atome?

---

### Aufgabe 52)

(a94)

Gegeben sei eine lineare, quasi-elastische Kette aus Atomen der Masse  $M = 200$  u. Der Abstand zwischen benachbarten Atomen sei  $a = 4 \text{ \AA}$ . Wechselwirkung herrsche nur zwischen den nächsten Nachbarn. Die Schallgeschwindigkeit sei  $v_s = 4000$  m/s.

a) Wie groß ist die Kopplungskonstante  $C$  zwischen benachbarten Atomen?

(b) Wie groß ist die maximale Frequenz einer ungedämpften Welle?

(c) Was passiert mit Schallwellen im Festkörper, die eine größere Frequenz haben, als die maximal mögliche Frequenz?

(c) Skizzieren Sie die Auslenkung einiger Atome für eine Welle mit  $q = \pi/a$  und für eine Welle mit  $q = \pi/2a$ , jeweils für  $\omega t = 0$  und  $\omega t = \pi$  und für  $\omega t = \pi/2$ .

---

ENDE ...