

# Kapitel 2

## Metalle

### 2.1 Vorbemerkungen

Metalle sind dadurch charakterisiert, dass das Fermi-Niveau innerhalb eines Energiebandes liegt

→ **teilweise gefülltes Leitungsband**

Einfache Beispiele: Alkalimetalle (Li, Na, K, Rb, Cs)

→ Valenzelektron des 1-wertigen Atoms wird im Kristall zum Leitungselektron

Anmerkung zur Anzahl von Zuständen in einem Energieband:

betrachte linearen Kristall (Länge  $L$ ) aufgebaut aus gerader Anzahl  $N$  primitiver Zellen der Gitterkonstante  $a$ .

Aus periodischen Randbedingungen  $\Psi_k(x + L) = \Psi_k(x)$  für die Wellenfunktion der Form  $\Psi_k(x) = e^{ikx}$  folgen die erlaubten  $k$ -Werte in der 1. Brillouin-Zone (BZ):

$$k = 0, \pm \frac{2\pi}{L}, \pm \frac{4\pi}{L}, \dots \pm \frac{N\pi}{L}. \quad (2.1)$$

(Reihe endet bei  $N\pi/L = \pi/a$  am Rand der 1. BZ)

⇒ Zahl der Zustände =  $N$  (= Zahl der primitiven Elementarzellen).

⇒ **Jede primitive Elementarzelle trägt genau einen unabhängigen Wert von  $k$  zu jedem Energieband bei**  
(gilt auch in 3 Dimensionen).

Mit jeweils zwei möglichen Einstellungen des Elektronenspins gibt es **2N unabhängige Niveaus in jedem Energieband.**

Wenn jede primitive Elementarzelle ein einzelnes, einwertiges Atom enthält

⇒ Band kann nur zur Hälfte mit Elektronen besetzt werden.

Mit nur teilweise gefülltem Leitungsband gilt:

Direkt bei  $\epsilon_F$  gibt es eine **hohe Dichte freier Zustände**

⇒ hohe elektrische Leitfähigkeit (auch bei  $T = 0$ );

typischer spezifischer Widerstand  $\rho(300\text{ K}) \sim 1\mu\Omega\text{cm} \dots 100\mu\Omega\text{cm}$

### **Modell der freien Elektronen:**

erklärt viele Eigenschaften von Metallen

(wurde lange vor der Quantenmechanik entwickelt)

#### Beispiele:

- Ableitung des ohmsches Gesetzes (Drude-Theorie)

- Zusammenhang: elektrische Leitfähigkeit  $\sigma \leftrightarrow$  thermische Leitfähigkeit  $K \approx K_{el}$   
 (in reinen Metallen überwiegt der  
 Beitrag  $K_{el}$  der Elektronen bei al-  
 len Temperaturen)

(Wiedemann-Franz-Gesetz  $K/\sigma \propto T$ )

### **Reale Kristalle:**

Gestalt der Fermi-Fläche kann deutlich von der Fermi-Kugel (freies  $e^-$ -Gas) abweichen

→ **viele Eigenschaften hängen entscheidend von der Gestalt der Fermi-Oberfläche ab**

Bsp.: Bewegung im Magnetfeld entlang Flächen konstanter Energie  
 (aus Kap.1.4: mit  $d\vec{k}/dt \propto \nabla_{\vec{k}}\epsilon \times B \rightarrow$  Bewegung  $\perp \nabla_{\vec{k}}\epsilon$ )

### **Interessante Ordnungsphänomene**

→ viele Metalle: Supraleiter bei tiefen Temperaturen

oder: Magnetische Ordnung (z.B. Ferromagnetismus in Fe, Co)

**Definition:**

**Metall  $\equiv$  Festkörper mit einer Fermi-Fläche**

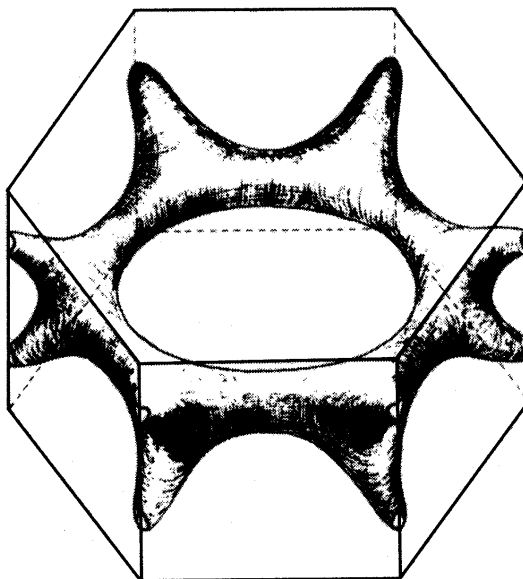


Abb. 2.1: Mehrfach zusammenhängende Lochfläche für Magnesium in den Bändern 1 und 2, nach L. M. Falicov [aus Ch. Kittel, *Einführung in die Festkörperphysik* (1999); Abb.9.32].

Im folgenden betrachten wir

1. **Beschreibung** von Fermi-Flächen  $\rightarrow$  Kap.2.2  
(Konstruktion,  
Bewegung von Elektronen im Magnetfeld,  
Berechnung von Bändern & Fermi-Flächen)
2. **experimentelle** Verfahren zur **Bestimmung** von Fermi-Flächen  $\rightarrow$  Kap.2.3
3. elektrischer **Widerstand im Magnetfeld**  $\rightarrow$  Kap.2.4
4. **Plasmaschwingungen** in Metallen  $\rightarrow$  Kap.2.5  
(= kollektive Anregungen des Elektronengases)
5. **Metall-Isolator-Übergänge** in Festkörpern  $\rightarrow$  Kap.2.6