

## Theorie der Kondensierten Materie I WS 2011/2012

Prof. Dr. J. Schmalian  
Dr. B. NarozhnyBlatt 8  
Besprechung 16.12.2011

## 1. Blochische Oszillationen

10 Punkte

Betrachten Sie die Bewegungsgleichungen von Bloch-Elektronen im äußeren elektrischen Feld:

$$\mathbf{v} = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{k}} E_n(\mathbf{k}),$$

$$\frac{d\mathbf{k}}{dt} = -e\mathbf{E}.$$

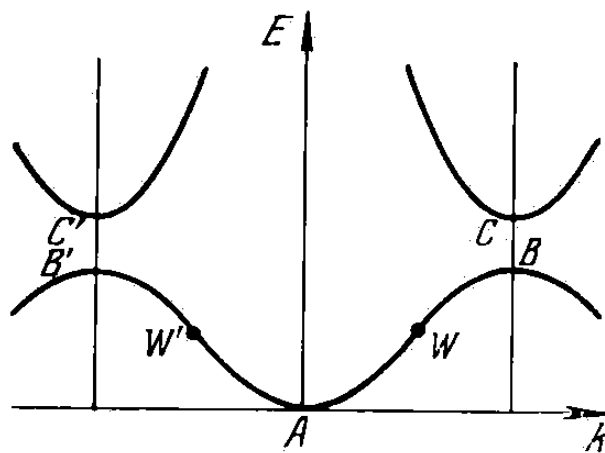
- (a) Bestimmen Sie jetzt die Beschleunigung der Bloch-Elektronen und zeigen Sie, dass die entsprechende Gleichung ähnlich wie die übliche Newton-Gleichung ist.

*Hinweis:* Führen Sie den Tensor der effektiven Masse ein.

- (b) Welche Vorzeichen können die Eigenwerte des Tensors der effektiven Masse haben? Was ist die physikalische Bedeutung der negativen effektiven Masse?

- (c) Betrachten Sie die Bandstruktur in der Abbildung und beschreiben die Bewegung der Bloch-Elektronen.

*Hinweis:* Beachten Sie die Punkte, wo sich das Vorzeichen der effektiven Masse ändert.



## 2. Bloch-Elektronen im Magnetfeld

10 Punkte

Wir betrachten Elektronen in einem periodischen Potential. Im einfachsten Fall handelt es sich um ein einfach kubisches Gitter in der *tight-binding* Näherung mit dem Spektrum  $\epsilon(\mathbf{k}) = -2t(\cos(ak_x) + \cos(ak_y) + \cos(ak_z))$  wobei  $t$  das *hopping*-Integral ist. Das Bandminimum liegt bei  $\mathbf{k} = 0$ , Entwickeln in der Nähe des Bandminimums liefert für  $ak_i \ll 1$

$$\epsilon = \epsilon_0 + tk^2a^2 \quad (k \equiv |\mathbf{k}|) \quad (1)$$

mit  $\epsilon_0 = \epsilon(0)$ . Das Spektrum entspricht also dem eines Teilchens mit der effektiven Masse  $m^* = \hbar^2/(2ta^2)$ .

Nun nehmen wir an, dass sich solch ein Elektron mit effektiver Masse  $m^*$  in einem schwach oszillierenden elektrischen Feld  $\mathbf{E} = E_x \hat{\mathbf{x}} \exp(-i\omega t)$  und in einem konstanten Magnetfeld  $\mathbf{B} = -B \hat{\mathbf{z}}$  bewegt.

Zeigen Sie, dass dies zur Zyklotron Resonanz führt,

$$i(\omega - \omega_c)v = \frac{e}{m^*}E_x, \quad (2)$$

mit der Zyklotron-Frequenz  $\omega_c = \frac{eB}{cm^*}$  und der "komplexen" Geschwindigkeit  $v \equiv v_x + iv_y$ .