

# KATIHAL FİZİĞİ 2-FİZ 410

Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi  
Fizik Bölümü

**YARIİLETKENLER- devam**

**4. hafta**

# Hareket Denklemleri

- Bir enerji bandındaki bir elektronun hareket denklemini nasıl bulursunuz?

➤  $v_g = \frac{dw}{dk}$  grup hızı;  $w = \frac{\epsilon}{\hbar}$  frekans

➤  $v_g = \frac{d}{dk} \left( \frac{\epsilon}{\hbar} \right) = \frac{1}{\hbar} \frac{d\epsilon}{dk}$  veya  $\vec{v} = \frac{1}{\hbar} \vec{\nabla}_k \epsilon(k)$  (1)

E elektrik alanının elektron üzerinde  $\delta t$  zaman aralığında yaptığı  $\delta E$  işi;

➤  $\delta E = -eE v_g \delta t$  (2)

➤  $\delta E = \left( \frac{d\epsilon}{dk} \right) \delta k = \hbar v_g \delta k$  (3)

} (2)=(3)

# Hareket Denklemleri

$$\triangleright -eE v_g \delta t = \hbar v_g \delta k$$

$$\delta k = -\frac{eE \delta t}{\hbar}$$

$$\hbar \frac{\delta k}{\delta t} = -e\mathbf{E} = \mathbf{F} \quad (5) \quad \text{bir kristalde } \hbar dk/dt \text{ elektron üzerindeki dış kuvvete eşittir.}$$

$$\triangleright \frac{d(mv)}{dt} = \mathbf{F} \quad \text{boş uzayda}$$

# Hareket Denklemleri

$$\hbar \frac{d\mathbf{k}}{dt} = -e \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (6)$$

(1) denklemini (6)'da yerine koyarsak

$$\hbar \frac{d\mathbf{k}}{dt} = -\frac{e}{\hbar} \nabla_{\mathbf{k}} \epsilon \times \mathbf{B}$$

$$d\mathbf{k}/dt = -\frac{e}{\hbar^2} \nabla_{\mathbf{k}} \epsilon \times \mathbf{B} \quad (7)$$

- Denklem (7); elektron  $\mathbf{k}$  uzayında  $\epsilon$  enerjisinin gradiyenti ile manyetik alanın oluşturduğu bir düzlemde dik olacak şekilde hareket eder. Yani elektron sabit bir enerji yüzeyi üzerinde hareket eder.

# Hareket Denklemleri

Hareket denklemini Bloch fonksiyonlarından yararlanarak da bulabiliriz.

□  $\psi_{\mathbf{k}}$  Bloch fonksiyonunu yazmak istersek;

$$\psi_{\mathbf{k}} = \sum_{\mathbf{G}} C(\mathbf{k} + \mathbf{G}) e^{i(\mathbf{k} + \mathbf{G}) \cdot \mathbf{r}}$$

□ bu  $\mathbf{k}$  durumundaki elektronun momentumunun beklenen değeri;

$$P_{el} = \hbar \left( \mathbf{k} + \sum_{\mathbf{G}} \mathbf{G} |C(\mathbf{k} + \mathbf{G})|^2 \right)$$
$$\sum_{\mathbf{G}} |C(\mathbf{k} + \mathbf{G})|^2 = 1$$

# Hareket Denklemleri

- Zayıf bir dış kuvvet, kristal sistemine bir zaman aralığında uygulanıyorsa, impuls;

$$J = \int F dt$$

$$J = \Delta p_{top} = \Delta p_{el} = \hbar \Delta k$$

- nötür bir kristal (serbest elektronu olmayan) kristalin elektrik alanı ile etkileşmez (direkt yada indirekt). Eğer bir iletim elektronu örgünün periyodik potansiyeli ile etkileşiyorsa;

# Hareket Denklemleri

$$J = \Delta p_{top} = \Delta p_{örgü} + \Delta p_{el}$$

$$\Delta p_{el} = \hbar \left( \Delta k + \sum_G G [(|\nabla_k C(k + G)|^2) \cdot \Delta k] \right)$$

$$\Delta p_{örgü} = -\hbar \left( \sum_G G [(|\nabla_k C(k + G)|^2) \cdot \Delta k] \right)$$

$$\Delta p_{örgü} + \Delta p_{el} = J = \hbar k$$

$$\hbar \frac{dk}{dt} = F$$

# Boşluklar

- Bir elektronun valans bandından ayrılarak iletim bandına geçmesi ile bant içerisinde bir **boşluk**(boş yörünge veya boş orbital) oluşur.
- Uygulanan alan (manyetik ve/veya elektrik) altında **boşluklar** pozitif yüklü bir elektron gibi davranır.
- boşlukların pozitif yüklü bir elektron gibi davranmasının sebebi;



# Boşluklar

Boşlukların pozitif yüklü bir elektron gibi davranmasının sebebi;

$\mathbf{k}_b = -\mathbf{k}_e$  dalga vektörü

$\varepsilon_b(\mathbf{k}_b) = -\varepsilon_e(\mathbf{k}_e)$  enerji

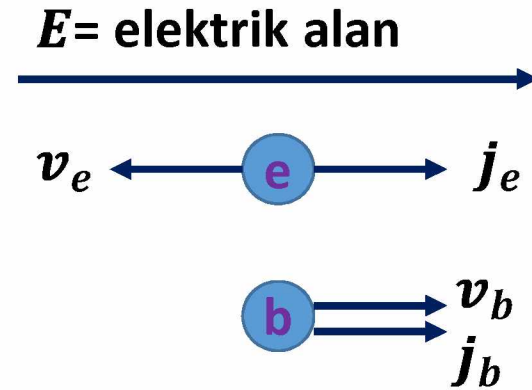
$\mathbf{v}_b = \mathbf{v}_e$  hız

$m_b = m_e$  kütle

$\hbar \frac{(dk_b)}{dt} = e(E + \mathbf{v}_b \times \mathbf{B})$  boşluk için

$$\hbar \frac{(dk_e)}{dt} = -e(E + \mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) \text{ elektron için}$$

## Elektrik alan içindeki elektron ve boşlukların hareketi



$v_e$  ve  $v_b$  boşluk ve elektronların sürüklenme hızları zıt yönde olmasına rağmen, elektrik akım yönleri aynıdır.

# Kaynaklar

1. 'Katıhal Fiziğine Giriş', Charles Kittel, (Çeviri: Gülsen Önengüt, Demir Önengüt), 8. baskı, Palme 2014
2. 'Katıhal Fiziği', Doç. Dr. Şakir Aydoğan, 1. baskı, Nobel Yayın Dağıtım, 2011
3. 'Katıhal Fiziği', Prof. Dr. Mustafa Dikici, 3. baskı, Seçkin Yayıncılık, 1993
4. 'Katıhal Fiziğine Giriş', Prof. Dr. Tahsin Nuri Durlu, 2. baskı