

# KATIHAL FİZİĞİ 2-FİZ 410

Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi  
Fizik Bölümü

## ENERJİ BANTLARI

1. hafta

**ELEKTRİKSEL İLETKENLİK** : Bir cismin elektriği iletme yeteneği olarak tanımlanabilir.

Maddeler elektriksel iletkenliklerine göre sınıflandırılırlar.

**İletkenlik ( $\sigma$ )**, bir iletken içerisinde akımın ne kadar rahat aktığının bir göstergesidir.

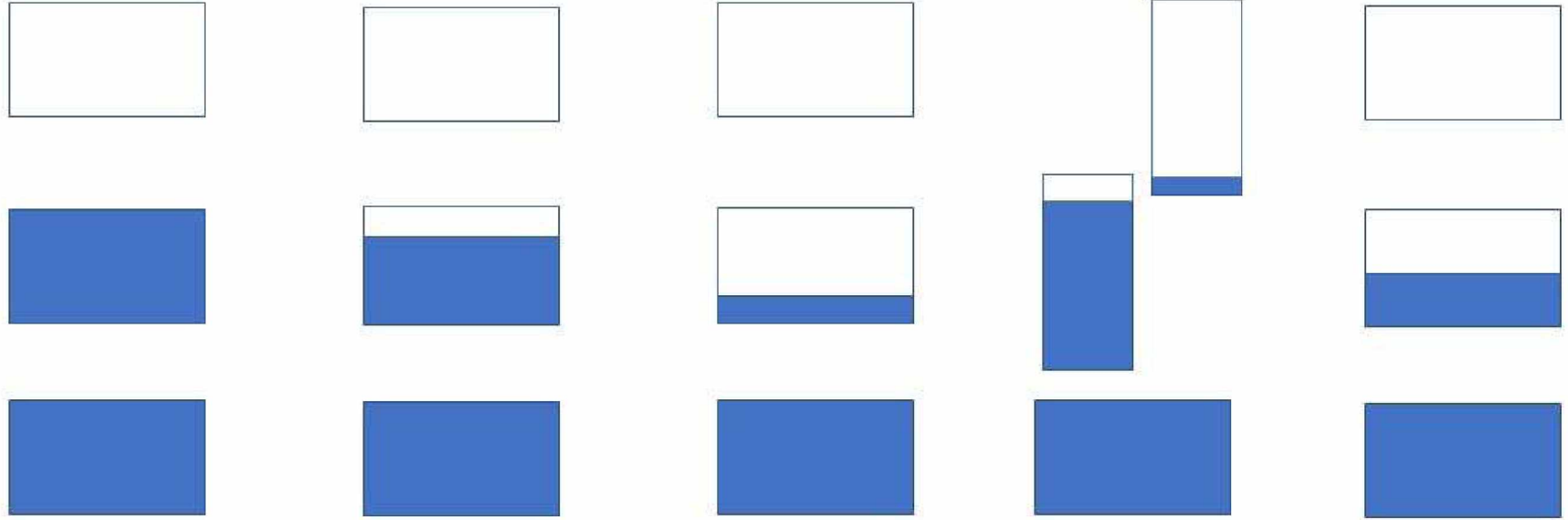
• İletken :  $\sigma_{Au} > \sigma_{Ag} > \sigma_{Cu}$        $R_{Au} < R_{Ag} < R_{Cu}$

$$R \propto 1/\sigma$$

- Direnç (R)  $\propto$  öz direnç ( $\rho$ )
  - Akım (I)
  - **Kayıp = P = I<sup>2</sup>R**
- Yarıiletken
  - Yalıtkan

Enerji

## ENERJİ BANTLARI



Yalıtkan

Yarıiletken

Yarıiletken

Yarımetal

Metal

İzinli enerji bantlarının şematik elektron gösterimi.

Dolu alanlar elektronların işgal ettiği bölgeleri göstermektedir.

# Değerlik bandı ve iletkenlik bandı

Atomlar arasındaki bağları oluşturan elektronlar çekirdeğe en uzak olan en son bantta bulunurlar. Bir atomda fazla sayıda enerji bandı olabilir, ( $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 \dots$ ) İlk bant çekirdeğe en yakın olan ve sıkı bağlı elektronları içeren  $1s$ 'dir.

- Elektron içeren en son temel hal bandı **değerlik bandı** (veya **valans bandı**) ya da elektronlarla dolu en yüksek işgal edilmiş enerji bandı
- Değerlik bandının üstünde yer alan elektronlarla işgal edilmemiş band; **iletkenlik bandı**
- İletkenlik bandının tabanı ile değerlik bandının tepesi arasındaki enerji farkı; **yasak band aralığı**





➤ Saf bir metal için  $\rho (T = 1 \text{ K}) \propto 10^{-10} \text{ ohm.cm}$  olabilir  
(süperiletkenlik olasılığı dışında)



**FARK  $10^{32}$**

➤ İyi bir yalıtkan için  $\rho (T = 1 \text{ K}) \propto 10^{22} \text{ ohm.cm}$  olabilir

# Elektronlar uygulanan alana nasıl tepki verirler?

- **Yalıtkan**  izinli bantlar dolu veya boş
- **Metal**  bir veya daha fazla sayıda bant kısmen dolu  
(% 10, % 90)
- **Yarıiletken**  bir veya iki bant biraz dolu veya biraz boş
- **Yarı metal**  bir veya iki bant biraz dolu veya biraz boş

□ Yarı metallerde iletkenlik bandının kenarı değerlik bandının tepesinin biraz aşağısındadır. Bu sebeple değerlik bandındaki boşluk yoğunluğu ile iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu azdır.

# Serbest elektron modeli

Çevresi ile etkileşmeyen elektron ( potansiyelin sabit olduğu ortamda hareket eder, kristaldeki diğer atomlardan etkilenmez)

Bir boyutta Schrödinger denklemi ( V sabit potansiyeli için)

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} = E\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}$$

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} = i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}$$

# Serbest elektron modeli

- Schrödinger denkleminin çözümü

$$\Psi(x) = C_1 \exp(ikx) + C_2 \exp(-ikx)$$

$$k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \quad \text{veya} \quad E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$



# k'nın yorumu

- 1/uzunluk boyutunda
- Ters uzaya ait bir vektör

tek boyutta momentum operatörü   $p_x = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$

bir boyutta elektron +x yönünde hareket ederse  $\Psi(x) = C_1 \exp(ikx)$

$$p_x \Psi(x) = \frac{\hbar}{i} \frac{d\Psi}{dx} = C_1 \hbar k \exp(ikx) = \hbar k \Psi(x)$$

$$p_x = \hbar k$$

# k'nın yorumu

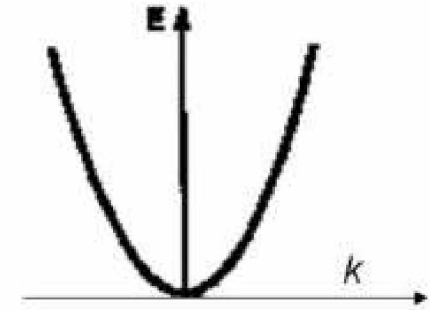
- Klasik mekanikte  $v = p/m$  ise

- $v = \frac{\hbar k}{m}$

- $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{1}{2} m v^2$

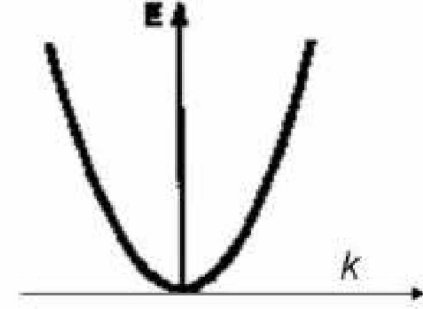


- Sonuç olarak elde edilen eğri bir parabolik eğri



## k'nın yorumu

$$\bullet E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{1}{2} m v^2$$



- Klasik mekanikle benzer bir sonuç = serbest elektronun herhangi bir enerji değeri alabileceğini söylüyor.
- k veya -k momentumuna sahip elektronların enerjisi aynı
- Momentum aynı, ilerleme yönleri zıt
- Sabit bir potansiyel alanı içerisinde hareket eden serbest elektronun kinetik enerjisi değişmez.

# k'nın yorumu

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{1}{2} m v^2$$

Serbest elektronların içinde hareket ettiği katıyı L kenar uzunluğuna sahip bir küp olarak düşünürsek ve periyodik sınır şartlarını bu katı için sağlamasını istersek, o zaman k dalga vektörünün izinli değerleri

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m} (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)$$

$$k_x, k_y, k_z = 0, \mp \frac{2\pi}{L}, \mp \frac{4\pi}{L}, \dots$$

$$E_k = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m} \left( n_x \frac{2\pi}{L} \right) \left( \left( n_x \frac{2\pi}{L} \right)^2 + \left( n_y \frac{2\pi}{L} \right)^2 + \left( n_z \frac{2\pi}{L} \right)^2 \right)$$

# 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