

## BÖLÜM 6-Elektriksel İletkenlik

Elektronlar ve deşikler yüklü parçacıklar olduğundan, örneğin bir elektrik alanının etkisi altındaki bir yarıiletken içinde düzenli bir şekilde hareket edebilirler. Bu hareket, belirli katıların elektriksel iletkenlik olgusunun kaynağında bulunan sürüklenme akımı adı verilen bir elektrik akımı oluşturur. Bu akımın büyüklüğü, bir katının "iyi" veya "kötü" bir iletken olup olmadığını belirler ve katıdaki mobil elektrik yükü taşıyıcılarının yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bu bölümde genel bir model olan ve hareketli yük taşıyıcıları içeren her katı için geçerli olan Drude modelinden yola çıkarak katılardaki elektriksel iletkenliği modellenecektir. Bu model, gazların kinetik teorisine dayanmaktadır.

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Bir **iletkenin** içindeki atomların düzenli bir şekilde yerleştiğini ve serbest yani iletim elektronlarının bulunduğunu kabul edelim. İletim elektronları katının bir parçası değilse ilgili atomlara bağlıdır. Elektrik alan yokluğunda iletken içindeki serbest elektronlar  $10^6$  m/s süratle rasgele doğrultularda hareket ederler. Bu durum bir tank içindeki gazların hareketine benzer. Bazen bu serbest elektronlar *elektron gazı* olarak tanımlanır. Elektrik alan yokluğunda akım oluşmaz ve serbest elektronların ortalama hızları sıfırdır. Yüklerin bir kısmı bir yönde hareket ederken kalan kısmı ise zıt yönde hareket eder.

İletkenin uçları arasında bir potansiyel farkı oluşturulursa durum değişir ve elektronlar bir tarafa doğru sürüklenirler. Elektronların çarpışmalar arasındaki sürati ışık hızı mertebesinde ( $10^6$  m/s) iken ortalama süratleri çok küçüktür ( $10^{-4}$  m/s).

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Drude modelinde elektronların oluşturduğu gaz dikkate alınır. Bu gazın içindeki bir elektronunun

(i) momentum ve enerji ile uzayda serbestçe hareket etmekte olduğu,

(ii) Gaz içindeki diğer elektronlarla veya iyon korları ile veya kristaldeki düzenliklerle çarpışabilir,

(iii) Çarpışma olasılığı iki çarpışma arasındaki  $dt$  süresine bağlıdır,

(iv) Parçacıkların ısısal dengesi çarpışmalar sonucunda ortaya çıkar,

## BÖLÜM 6-Serbest elektron Fermi gazı

Drude modelinde elektronun hareketi atomlarla çarpışmadan önceki hareketinden bağımsızdır. Elektrik alan içinde elektronun kazandığı aşırı enerji atomlarla çarpışmaları sonucunda azalır. Çarpışma sonucunda atomlar tarafından kazanılan bu enerjiler atoma titreşim enerjisi olarak aktarılır ve iletkenin sıcaklığı artar. Bu ısınma bazen yararlı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin tost makinelerinde veya ısınma amaçlı kullanımlarda olduğu gibi.

Elektronun kütlesini  $m_e$  ve yükünü  $q$  ( $= -e$ ) olarak alıp  $E$  elektrik alanı içine konulduğunu kabul edersek elektrona etki eden kuvvet  $F = qE$  olarak yazılabilir. Newton'un ikinci yasasıyla,  $F = mea$ , elektronun ivmesi aşağıdaki denklemdeki gibi yazılabilir:

$$F = mea = qE \text{ eşitliğinden } a = qE/me$$

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Kavramsal olarak, elektrik yükü  $-q$  olan elektronun  $E$  düzgün bir elektrik alan şiddeti içinde olduğun kabul edelim. Bu elektrona uygulanan kuvvet sabittir ve  $-qE$ 'ye ( $q > 0$ ) eşittir. Newton'un kütle hareketi yasasına göre:

$$m \frac{dv}{dt} = -qE$$

burada  $v$  elektronun hızı ve  $m$  onun kütlesidir (yarı iletkende  $m = m_e$  etkin kütledir). Bu bağıntı, elektronun ivmesinin sabit olduğu ve dolayısıyla hızının zamanla çizgisel olarak arttığı anlamına gelir. Pratikte hız süresiz olarak artmaz, çünkü enerjiyi/momentumu değiştiren elektron hızının çarpışmalarla aşırı yüksek değerlere ulaşmasını engellenir.

# BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

1. Fiziksel bileşenler: Bir iletkeni, düzenli bir atom dizisi artı bazen iletim elektronları olarak adlandırılan bir serbest elektronlar koleksiyonu olarak düşünebiliriz. Sistem atomların ve iletim elektronlarının birleşimi olarak tanımlanır. İletim elektronları, atomlar bir katının parçası olmadığında kendi atomlarına bağlı olsalar da, atomlar bir katıya yoğunlaştığında serbest hale gelir.

2. Bileşenlerin davranışı:

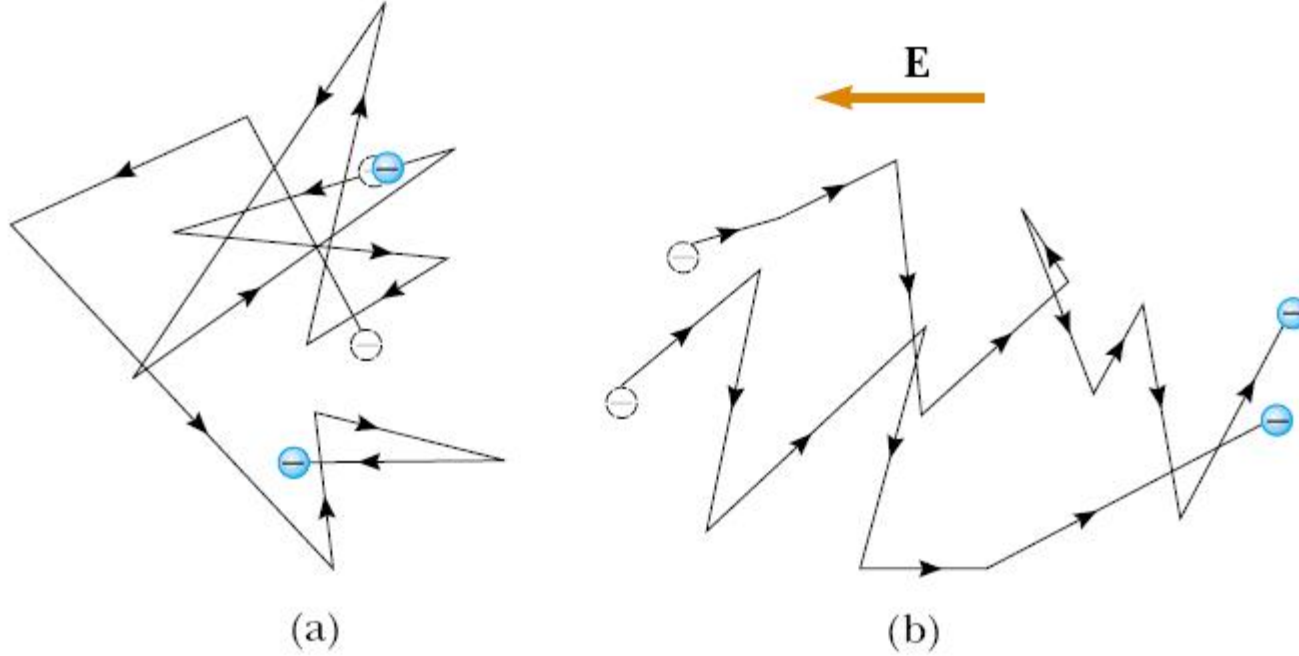
(a) Bir elektrik alanı olmadığında, iletim elektronları iletken boyunca rastgele yönlerde hareket eder. Durum, bir kap içinde hapsolmuş gaz moleküllerinin hareketine benzer. Aslında, bazı bilim insanları bir metaldeki iletim elektronlarını elektron gazı olarak adlandırır.

(b) Sisteme bir elektrik alanı uygulandığında, serbest elektronlar elektrik alanın tersi yönünde sürüklenirler, ortalama sürüklenme hızı  $v_d$  çok daha küçüktür (tipik olarak  $10^{-4}$  m/s) çarpışmalar arasındaki ortalama hızları ise  $10^6$  m/s'dir.

(c) Her çarpışmadan sonra elektronun hareketi, çarpışmadan önceki hareketinden bağımsızdır. Elektronların elektrik alan tarafından üzerlerinde yapılan iş nedeniyle kazandıkları fazla enerji, elektronlar ve atomlar çarpıştığında iletkenin atomlarına aktarılır.

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

$$\mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m_e}$$



**Şekil 27.9** (a) Elektrik alan yokluğunda iletken içinde rasgele yönlerde hareket eden iki yük taşıyıcısı. Sürüklenme hızı sıfırdır. (b) Elektrik alan varlığında yük taşıyıcılarının hareketi. İletken içindeki rasgele hareketlilik biraz bozulmuş ve yük taşıyıcılarının sıfırdan farklı ortalama bir sürüklenme hızı ortaya çıkmıştır.

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli-ortalama hız

Bu ivmelenme sadece çarpışmalar arasında olur ve elektrona sürüklenme hızı kazandırır. Çarpışmadan hemen sonraki elektronun başlangıç hızı  $v_i$  ise (bu an  $t = 0$  alınır), herhangi bir  $t$  anındaki hızı (sonraki çarpışmaya kadar) aşağıdaki gibi verilebilir :

$$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t = \mathbf{v}_i + \frac{q\mathbf{E}}{m_e}t$$

$\tau$  – iki çarpışma arasında geçen süre olmak üzere ortalama hız aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\overline{\mathbf{v}_f} = \mathbf{v}_d = \frac{q\mathbf{E}}{m_e}\tau$$

Bu denklemden yararlanarak akım yoğunluğu aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d = \frac{nq\mathbf{E}}{m_e}\tau = \frac{nq\tau}{m_e}\mathbf{E}$$

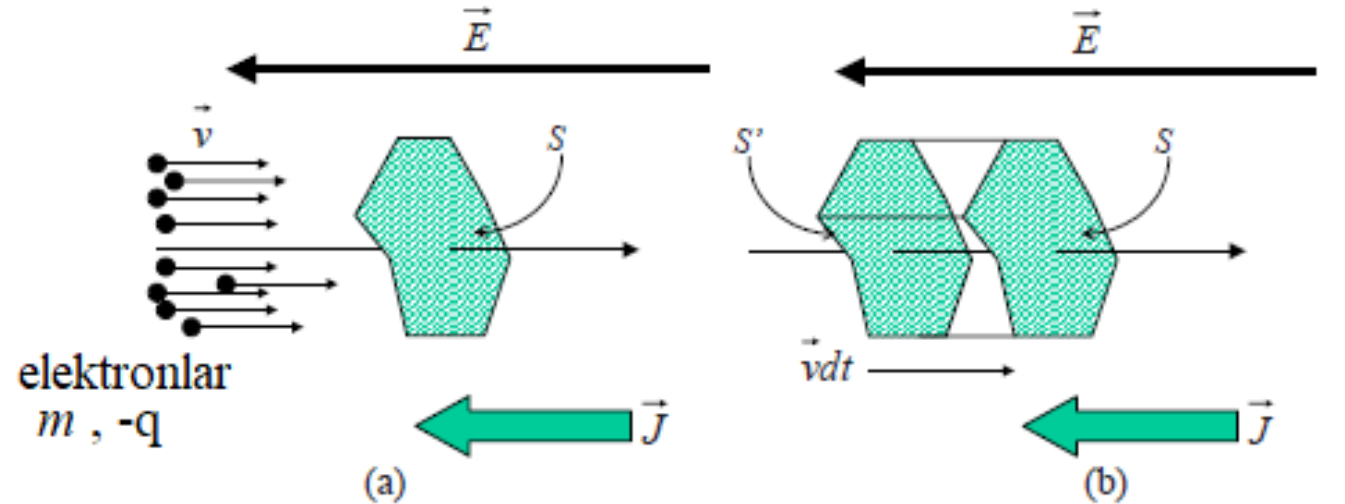


## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Akım yoğunluğu vektörü  $J$ , yük akışına paralel olan ve büyüklüğü, gösterildiği gibi, yük akışına dik bir birim alan yüzeyinden birim zamanda geçen elektrik yükü miktarına (Coulomb cinsinden) eşit olan bir vektördür. Akım yoğunluğu  $A \cdot cm^{-2}$  biriminde ifade edilir.

Şekilde (a) düzgün bir elektrik alanındaki elektronların akışı ve akım yoğunluğu vektörü, (b) bir  $dt$  zamanından sonra akan elektronlarınkine eşit bir hızda yüzey alanı  $A$ 'nın yer değiştirmesi.

Fundamentals Of Solid State Engineering, Razeghi, 2002. p250



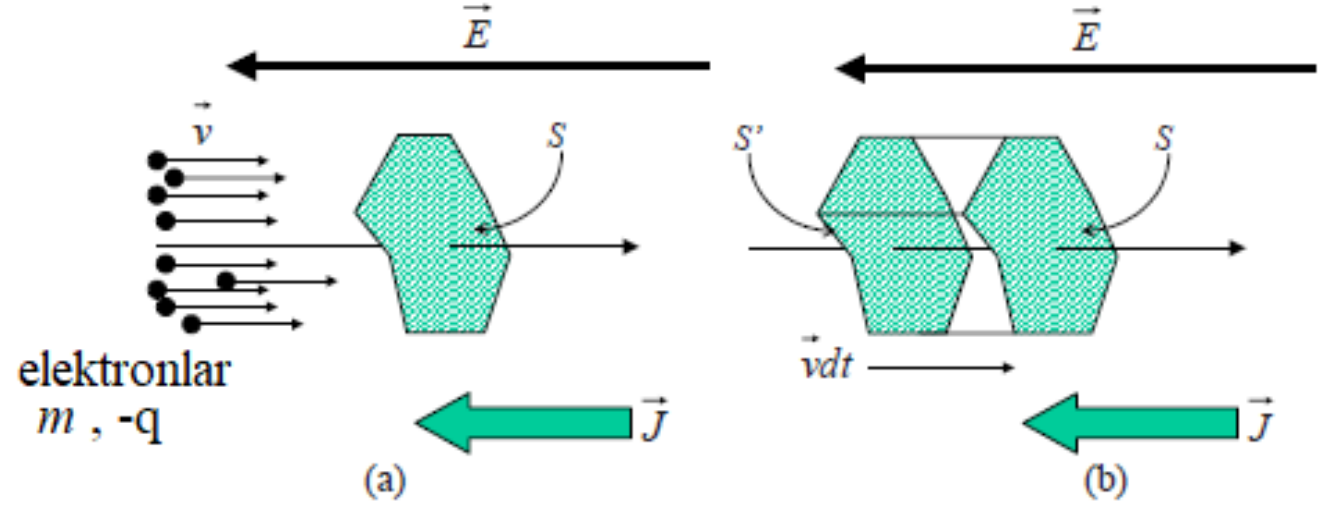
## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Akım yoğunluğu,  $dt$  zaman aralığında  $S$  yüzeyini geçecek elektronların sayısı hesaplanarak belirlenebilir. Bu elektronlar aslında şekilde  $S$  ve  $S'$  ile gösterilen yüzeyler arasında tanımlanan bir hacimde bulunur. Bu hacim  $Avdt$ 'ye eşittir, burada  $A$ ,  $S$  yüzeyinin alanıdır. Uzayın bu bölgesinde bir  $n$  elektron konsantrasyonu olduğunu ve hepsinin  $v$  hızına sahip olduğunu varsayarsak,  $dt$  zaman aralığında,  $A$  alanı ile  $S$  yüzeyini geçen toplam elektrik yükü miktarı:  $dQ = nqvAdt$

Toplam yük yüzey alanı ve zamana bölünürse,

$$\mathbf{J} = \frac{I}{A} = nqv$$

akım yoğunluğu yazılabilir.



$\Delta Q = (\text{Kesitteki taşıyıcılarının sayısı}) \times (\text{her taşıyıcıdaki yük}) = (nA\Delta x)q$  ve  $\Delta x = v_s\Delta t$  kullanılırsa,

$$\frac{dQ}{dt} = I_{ort} = nqvA$$

## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Akım yoğunluğu  $\mathbf{J} = \frac{nq\mathbf{v}}{A\Delta t}$  denklemindeki

$\mathbf{v}$  -Elektronların hızlarının aynı olamayacağından ortalama bir hızı temsil eder.

$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -q\mathbf{E}$  denkleminin integrali alınır ve elektronların ardışık iki çarpışma süresi integral sonucunda

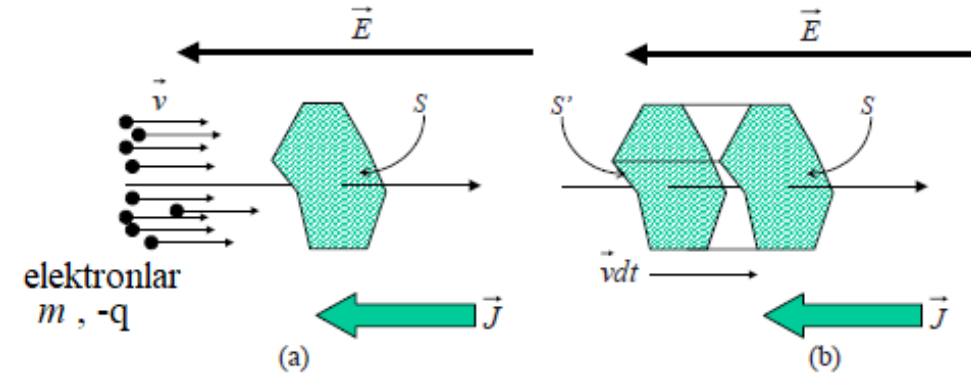
kullanılırsa :  $m\mathbf{v} = -q\tau\mathbf{E}$  yazılabilir. Sürüklenme hızı (yani elektronun hızını kaybetme süresine bağlı)

$$\mathbf{v}_s = -\mu\mathbf{E}$$

yazılabilir. Denklemden

$$\mu = \frac{q\tau}{m}$$

her elektrik alan değerine karşılık elektronun kazanacağı hızdır.



## BÖLÜM 6-Elektron gazı-Drude modeli

Sürüklenen elektronların akım yoğunluğu

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} ,$$

denklemdaki orantı katsayısı  $\sigma = nq\mu = \frac{nq^2\tau}{m}$  iletkenlik olarak isimlendirilir. İletkenliğin tersi  $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{nq\mu}$

malzemenin elektrik yüklerine karşı gösterilen dirençtir. Akım yoğunluğu ile elektrik alan arasındaki doğru orantı Ohm yasası olarak bilinir. Akım yoğunluğu

$WH$  yüzeyi ile çarpılırsa  $I = JWH$  akım değeri elde edilir.

$V$  gerilim ise elektrik alanın  $L$  uzunluğu ile çarpılınca

$$\text{elde edilir. } I = JWH = WH\sigma E = \frac{WH}{L} \sigma LE = \frac{WH}{L} \sigma V = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{L}{WH} \frac{1}{\sigma} \text{ veya } R = \frac{L}{A} \rho$$

