

# STATİK ELEKTRİK ALAN ETKİSİ ALTINDA CİSİMLER

Şu ana değin elektrik alanı boşlukta (veya havada) inceledik. Şimdi, elektrik alanın cisimler içerisinde / üzerinde etkilerini inceleyeceğiz. Cisimler, elektriksel özelliklerine göre:

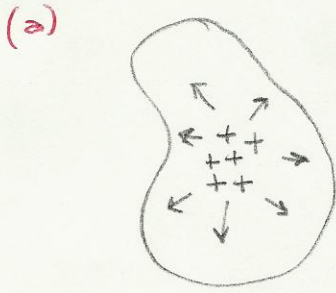
- İletkenler,
- Yarı iletkenler,
- Yalıtkanlar (dielektrikler)

olmak üzere 3 gruba ayrılabilirler. En kaba atom modeline göre, her atom pozitif yüklü bir çekirdek (nükleus) etrafında dönen negatif yüklü parçacıklardan (elektronlar) oluşur.

İletkenlerde, dış yörüngedeki elektronlar, bir atomdan başka bir atoma kolaylıkla hareket edebilir. Yalıtkanlarda, harici bir etkiyle bile en dış yörüngedeki elektronları koparmak mümkün değildir.

## Statik Elektrik Alan Etkisi Altında İletken Cisimler:

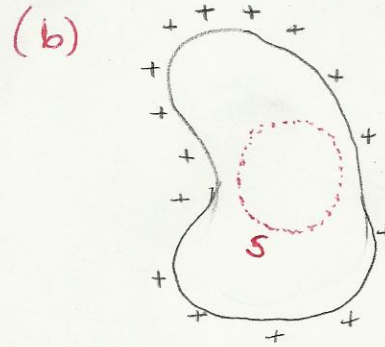
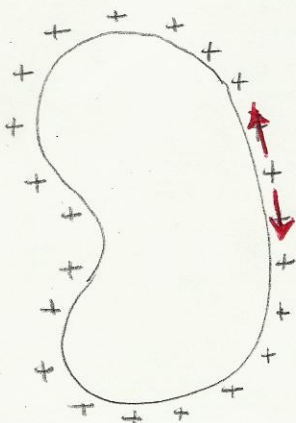
İyi bir iletkenin iç kısmına bir miktar pozitif (veya negatif) yük bırakıldığını düşünelim. (a) İletken cismin içerisinde bir elektrik alan oluşacak, bu elektrik alan dolayısıyla yükler birbirlerinden uzaklaşmaya başlayacaktır. Bu hareket, bütün yükler yüzeye ulaşmaya ve her bir yük üzerindeki net kuvvet sıfır oluncaya kadar (yani denge durumuna kadar) devam edecektir. Neticede, cismin iç kısmında hiç yük kalmayacaktır. (b)



İletken cismin içerisinde:

$$\vec{E} = 0$$

←



Metal (iletken) cismin içerisinde herhangi bir  $S$  kapalı yüzeyi seçelim:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} = 0$$

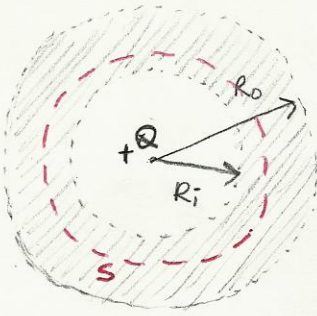
Ne şekilde bir  $S$  yüzeyi seçersek seçelim, bütün yükler cismin yüzeyinde olacağı için;  $S$  yüzeyi içerisinde kalan yük  $Q = 0$  olacaktır.

← Cismin üzerindeki her bir yükün dengede duruyor olması demek, her bir yüke diğer yükler tarafından uygulanan farklı yönlerdeki yüklerin sadeleşiyor olması demektir.  
⇒ Her bir yük üzerindeki net kuvvet = 0.



İletken cismin yüzeyinde  $\vec{E}_t = 0$

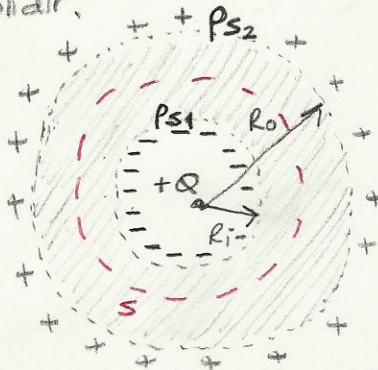
Örnek:



Şekilde görülen ve iç yarıçapı  $R_i$ , dış yarıçapı  $R_o$  olan iletken küresel kabuğun merkezine,  $+Q$  yük bırakılmış olsun. Uzayın her yerinde elektrik alanı ve elektrik potansiyeli hesaplayınız.

İletken cisim içerisinde elektrik alan 0 olmak zorundadır. Bunun sağlanabilmesi için, iletken kabuk içerisinde seçilecek bir Gauss yüzeyi içerisinde kalacak toplam yük  $Q_T = 0$  olmalıdır. (Bkz: şekildedeki  $S$  yüzeyi)

Merkezde  $+Q$  yük olduğuna göre,  $S$  yüzeyinin içerisinde  $Q_T = 0$  olması için  $S$  yüzeyinin içerisindeki bir yerlerde  $-Q$  yük bulunması gerekir. İletken cisimlerin içerisinde yük olamayacağı, yükler sadece iletken cisimlerin yüzeyinde bulunabileceği için, demek ki küresel kabuğun iç yüzeyinde bir yüzey yük yoğunluğu (toplamı  $-Q$  olacak şekilde) bulunmalıdır.



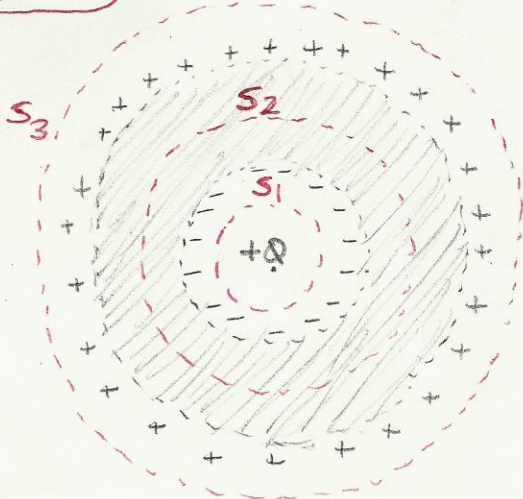
$\rho_{s1} \text{ (C/m}^2\text{)}$

$\downarrow$   
 $\rho_{s1} 4\pi R_i^2 = -Q$  olmalıdır

İletken cisim, yük bakımından nötr idi. Cismin iç yüzeyinde  $-Q$  kadar yük olduğuna göre, yüklerin korunumu prensibinden ötürü cismin başka bir yerlerinde  $+Q$  kadar yük olması gerekmektedir. Yükler, iletken cismin sadece yüzeyinde bulunabileceği için; demek ki yükler cismin dış yüzeyinde bulunmalıdır. Dolayısıyla küresel kabuğun dış yüzeyinde de bir yüzey yük yoğunluğu (toplamı  $+Q$  olacak şekilde) bulunmalıdır.

$\rho_{s2} \text{ (C/m}^2\text{)}$

$\rho_{s2} 4\pi R_o^2 = +Q$



Uzayın her yerinde elektrik alanı, artık hesaplayabiliriz:

a)  $R < R_i$  için  $\oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

$E_R 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E_R = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$

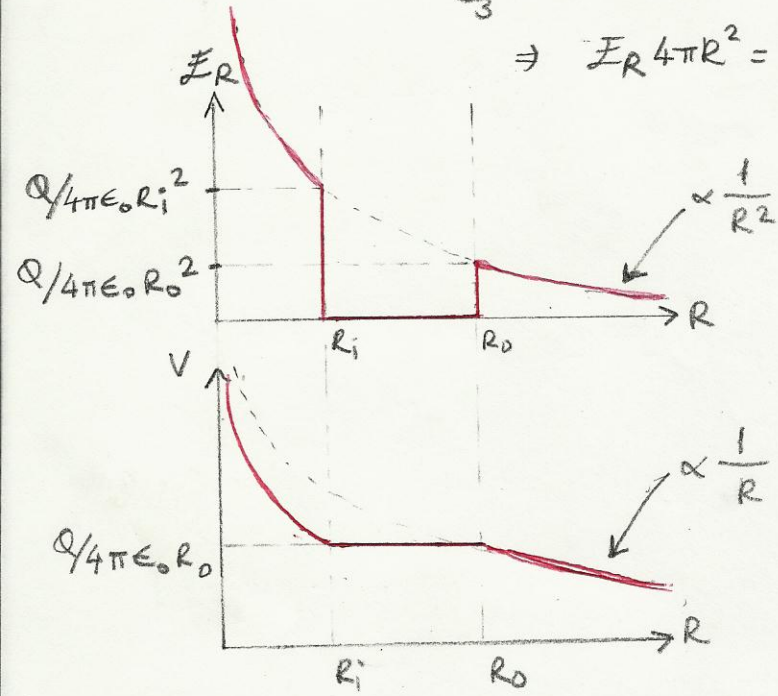
$\Rightarrow \vec{E} = \hat{a}_R E_R = \hat{a}_R \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \text{ (V/m)}$



b)  $R_i < R < R_o$  için  $\oint_{S_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_T}{\epsilon_0} = \frac{Q-Q}{\epsilon_0} = 0 \Rightarrow \vec{E} = 0 \text{ (V/m)}$   
 (iletken cismin içerisinde)

c)  $R > R_o$  için  $\oint_{S_3} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_T}{\epsilon_0} = \frac{Q-Q+Q}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

$\Rightarrow E_R 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E_R = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \Rightarrow \vec{E} = \hat{a}_R \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \text{ (V/m)}$



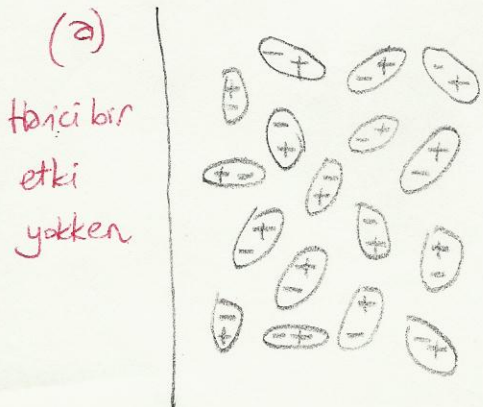
Elektrik potansiyelin grafiğini çizerken  $R = \infty$  'dan gelirken elektrik alanına karşı iş yaptığımızı düşünerek çizmekte fayda var.

(1)  $\propto \frac{1}{R^2}$  olan elektrik alanına karşı yapacağımız iş  $\propto \frac{1}{R}$  olacaktır ( $R > R_o$  bölgesinde) ve ( $R < R_i$  bölgesinde)

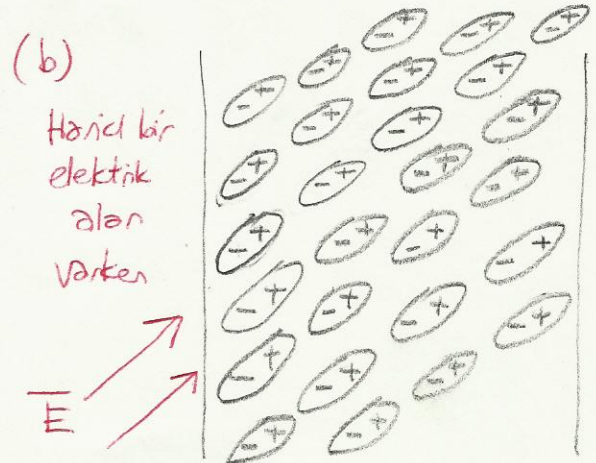
(2) Elektrik alanın 0 olduğu bölgede elektrik alanına karşı iş yapılmayacağı için potansiyel de sabit kalacaktır ( $R_i < R < R_o$  bölgesinde)

### Statik Elektrik Alan Etkisi Altında Yalıtkan Cisimler (Dielektrik Cisimler)

Bütün cisimler, negatif yüklü elektronlar tarafından çevrelenmiş pozitif yüklü nükleuslardan oluşan atomlar içermektedir. Makroskopik düzeyde bütün dielektriklerin atomları/molekülleri nötrdür; ancak harici bir elektrik alanın etkisi altında atomlar/moleküller içerisindeki pozitif/negatif yükler zıt yönlerde kuvvetlere maruz kalacaktır. Bu da cismin içerisinde dipoller oluşması ve cismin polarize olması anlamına gelir.



Cismin içerisinde dipoller varsa bile, her biri rastgele farklı yönlerde olduğu için cisim, polarize değil





Daha önce, bir dipolün "dipol moment vektörü"nü tanımlamıştık:

$$\vec{p} = q \vec{d} \quad (\text{C.m})$$

$\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$   
 Dipol      (C)      (m) yükler  
 moment      arasındaki  
 vektörü      mesafe

Cisim üzerinde endüklennmiş olan dipollerin her biri için bir dipol moment vektörü olacaktır. Cisim üzerindeki polarizasyon miktarını ölçmeye yönelik olarak:

$$\vec{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_{k=1}^n \vec{P}_k}{\Delta V} \quad (\text{C/m}^2)$$

$\vec{P}$ : polarizasyon vektörünü tanımlayabiliriz.

$n$ : birim hacimdeki atom (molekül) sayısı  
 $\Rightarrow \sum_{k=1}^n \vec{P}_k$ : birim hacimdeki bütün dipollerin momentlerinin toplamı

Eğer bütün dipoller rastgele yönlennmiş ise  $\sum \vec{P}_k = 0$   
 $\Rightarrow \vec{P} = 0$  çıkacaktır

Eğer bir cismin içerisindeki dipoller, harici elektrik alan altında aynı yönde (harici elektrik alana paralel olacak şekilde) yönelmeye ne kadar meyilli (eğilimli) ise; o cisim daha polarize olacaktır; bir başka deyişle böyle cisimler için  $\vec{P}$ , daha büyük olacaktır.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (\text{C/m}^2)$$

$\leftarrow$  "elektrik akı yoğunluğu" veya "elektrik deplasman vektörü"  
 (displacement: +/- yüklerin konum değişiminden esinlenilerek bu isim verilmiştir)

$\leftarrow$  Sabit sayı       $\leftarrow$  Harici elektrik alan       $\leftarrow$  cismin özelliğine göre büyüklüğü değişen bir vektör

Sabit bir elektrik alan değeri için sabit değer      Farklı cisimler için farklı değerler

$\Rightarrow |\vec{D}|$  ile  $|\vec{E}|$  arasındaki oran, cisimden cisme fark edecektir. Yani,  $|\vec{D}|$  ile  $|\vec{E}|$  arasındaki oran, cisim özelliğidir.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \quad (\text{C/m}^2)$$

cismin elektrik geçirgenliği; dielektrik sabiti

göreceli (relative) dielektrik sabiti