

III .3. ELEKTRİK POTANSİYELİ

III.3.01. ELEKTRİK POTANSİYELİ, POTANSİYEL FARKI VE EŞPOTANSİYELLİ YÜZEYLER .

Potansiyel enerji kavramı, yerçekimi ve yayın esneklik kuvveti gibi korunumlu kuvvetler incelenirken ele alınmıştır. Çeşitli mekanik problemlerinin çözümünde, kuvveti ele almak yerine enerjinin korunumu yasasını kullanmak daha elverişli olmaktadır.

Elektriksel Coulomb kuvveti de korunumlu olduğundan elektrostatik olaylarda elektriksel potansiyel enerji kavramı vasıtasıyla kolaylıkla incelenebilmektedir. Bu tür konunun ele alınması sonunda , skaler bir büyüklük olan *elektriksel potansiyel* tanımlanır.

Potansiyel uzaysal konumun skaler bir fonksiyonu olup, elektrostatik olayların elektriksel alandan daha basit olarak açıklanmasında yararlı olur. Bir elektrik devresinin iki noktası arasında ölçülen voltaj bu noktalar arasındaki potansiyel farkını ifade eder.

Genel olarak elektrik alanı yalnızca vektörel bir büyüklük olan \mathbf{E} elektrik alan vektörü ile değil aynı zamanda *skaler* bir büyüklük olan V *elektrik potansiyeli* ile de nitelenir. Bu iki büyüklük arasında da birbiriyle yakın bir ilişki vardır.

Bir elektrik alanında, A ve B gibi iki nokta arasındaki *elektrik potansiyel farkını* bulmak amacıyla pozitif bir sınıma q yükü A noktasından B noktasına hareket ettirilir ve bu hareketi sağlayan dış kuvvet tarafından yapılan iş büyüklüğü tayin edilir. Böylece iki nokta arasındaki *elektrik potansiyel farkı* (voltaj)

$$V_A - V_B = \frac{W_{AB}}{q} \quad (01)$$

bağıntısıyla verilir. $W_{A B}$ işi *pozitif*, *negatif* veya *sıfır* olabilir. Bu durumlarda B deki elektrik potansiyeli A noktasındaki potansiyelden *daha yüksek*, *daha alçak* ve ona *eşit* olur. S I birim sisteminde elektrik potansiyel farkının birimi, *joule / Coulomb* = $J/C = Volt$ dur. Yani 1V luk potansiyel farkı boyunca 1C luk yükü götürmek için yapılması gereken iş 1J dır. Çekirdek Fiziği ve Atom Fiziğinde enerji birimi olarak genelde *elektron volt* kullanılır. Bu da 1V büyüklüğünde potansiyel farkı boyunca hareket eden bir elektronun (veya protonun) kazandığı enerji olarak tanımlanır. $1V=1J/C$ ve bir temel yük $1,6.10^{-19}C$ olduğundan elektron voltun (eV) joule cinsinden değeri,

$$1eV=1,6.10^{-19}C.1V=1,6.10^{-19} J$$

dur.

Genelde A noktası, elektrik alanı oluşturan bütün yüklerden çok uzakta (sonsuzda) seçilir ve bu uzaklıktaki V_A elektrik potansiyeli keyfi olarak sıfır kabul edilir. Uygulamalarda, üzerinde anlaşılması bir noktanın potansiyeli referans olarak seçilir. Genelde teknolojik uygulamalarda *yerküre referans noktası* olarak seçilir ve buranın potansiyeli *sıfır* kabul edilir. (01) bağıntısında A noktası sonsuzda seçilirse $V_A = 0$ yapılırsa ve indisler kullanılmassa *bir noktanın elektrik potansiyeli*

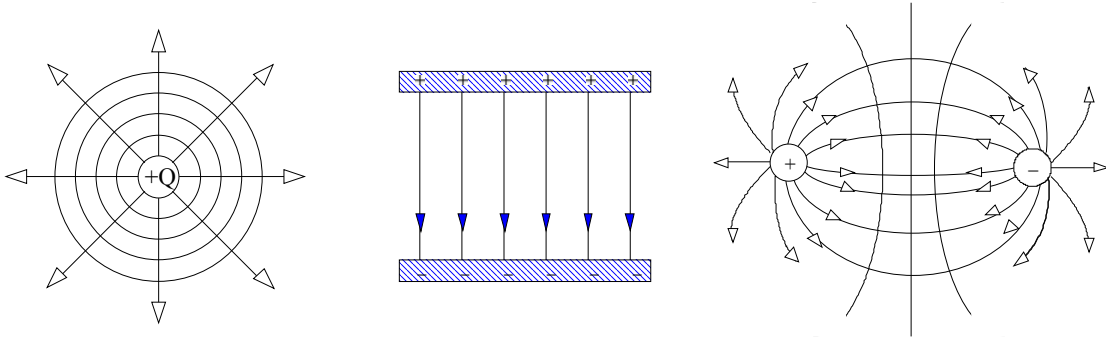
$$V = \frac{W}{q} \quad (02)$$

olur.

Potansiyel birim yük başına yapılan iş olduğundan skaler bir büyüklüktür. Burada W işi, bir dış etkenin q deneme yükünü sonsuzdan istenilen bir noktaya getirmesi için gereken iştir. Son bağıntıdan anlaşılacağı gibi, elektrik alanındaki bir noktanın potansiyeli, *bir birim pozitif yükü sonsuzdan bu noktaya getirmek için yapılan işe eşittir.*

Hep aynı potansiyele sahip olan noktaların geometrik yerine *eşpotansiyelli yüzey* adı verilmiştir. Bu kavram uygulamaların kolaylaştırılması için keyfi olarak geliştirilmiştir. Bir eşpotansiyelli yüzeyin her noktasında elektrik alan şiddetinin doğrultusu, daha açıkça kuvvet çizgileri, bu yüzeye diktir. Bir sına yükünü eşpotansiyelli yüzey üzerindeki iki nokta arasında hareket ettirmek için bir iş

gerekmemektedir, çünkü $V_A = V_B$ olduğundan $W_{AB} = 0$ olur. Şekil 01, a, b ve c de sırasıyla bir noktasal artı yükün, paralel yüklü levhaların düzgün alanının ve bir artı bir eksi nokta yük grubunun eşpotansiyelli yüzeyleri gösterilmiştir. Burada ok işaretli çizgiler elektrik alan kuvvet çizgilerini oksuz çizgilerde eşpotansiyelli yüzeyleri göstermektedir.



Şekil 01 . Eş potansiyelli yüzeyler .

III.3.02. ELEKTRİK ALANDA YAPILAN İŞ , BİR NOKTA YÜKÜN POTANSİYELİ VE POTANSİYEL GRADIENDİ

Elektrik alanın var olduğu her yerdeki bir q yüküne $F = q E$ değerinde bir kuvvet etkir. Yük bu kuvvetin etkisinde bir B noktasından bir A noktasına hareket ederse, elektrik alan tarafından bir iş yapılır. Hareket nedeniyle yükün elektrik potansiyel enerjisinde bir değişme olur. Veya q ya etki eden

elektrik kuvvetlerini yenmek ve hareketi sağlamak amacıyla bir dış etki ile elektrik kuvvetlerine karşı iş yapılır. Bu hareketin ivmesiz olabilmesi yani yükü dengede tutarak hareket ettirebilmek için gerekli dış kuvvetin doğrultusu elektriksel kuvvetle aynı yönü ters ve şiddetinde $F = -qE$ olmalıdır. *Deneme yükünün böyle bir kuvvet etkisinde elektrik alan içinde bir A noktasından bir B noktasına gitmesinde yapılan iş, alınan yola bağlı değildir.* Bunun doğruluğunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz: Deneme yüküne dr yer değiştirmesi için gerekli iş, (Şekil 02) deki yörüngede birim yay uzunluğunu ds olarak alırsak

$$dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = F ds \cos \theta$$

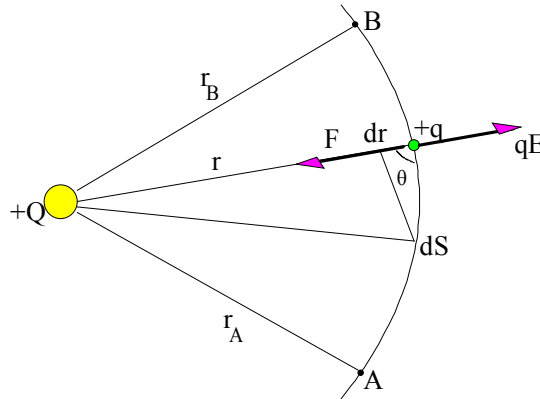
dır. Burada θ açısı \mathbf{F} ile $d\mathbf{s}$ arasındaki açıdır, $F = -qE$ olduğundan

$$dW = -qE ds \cos \theta \quad (03)$$

yazılır. A noktasından B noktasına giden belirli bir yerdeğiştirme için gerekli iş ifadesi

$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = -q \int_{r_A}^{r_B} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -q \int_{r_A}^{r_B} E dr \cos \theta \quad (04)$$

olacaktır.



Şekil 0 2 . Elektrik alanda yapılan iş .

$$W_{AB} = -q \int_{r_A}^{r_B} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{veya} \quad V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q} = - \int_{r_A}^{r_B} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (05)$$

05 bağıntısındaki integrale *çizgi integrali* adı verilir. Bu integralin değeri, elektrik alandaki sınama yükünün yörüngesine bağlı değildir. Buna göre elektrik alanda yapılan iş yola bağlı değildir. (05) ifadesindeki $V_B - V_A$ potansiyel farkı, kinetik enerjide bir değişme olmaksızın bir deneme yükünü bir dış etken tarafından A dan B ye götürmek için bir yük başına yapılması gereken işe eşittir.

A noktası sonsuz uzakta alınırsa ($r_A = \infty$) ve sonsuzdaki V_A potansiyeli $V_A = 0$ olarak seçilirse, son bağıntıya göre B noktasındaki V potansiyeli

$$V = - \int_{\infty}^{r_B} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{veya} \quad E = - \frac{dV}{ds} \quad (06)$$

(06) bağıntısı kısaca matematiksel bir ifade olarak

$$\mathbf{E} = - \text{grad } V \quad (06.a)$$

şeklinde de yazılır. Bu son ifadeye potansiyel gradienti adı verilir. Burdaki (-) işareti \mathbf{E} 'nin yönünün azalan (düşen) V 'ler yönünde olduğunu gösterir. (06.a) bağıntısında ds doğrultusu olarak; x , y ve z koordinat eksenleri seçilirse herhangi bir noktadaki \mathbf{E} 'nin bu üç eksen üzerindeki bileşenleri

$$E_x = - \frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = - \frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = - \frac{\partial V}{\partial z} \quad (06.b)$$

olur. Buna göre; uzayın bir noktasındaki V bilinirse yani $V(x, y, z)$ fonksiyonu belli olursa \mathbf{E} bileşenleri kısmi türev alınarak bulunur.

olur. Bu iki bağıntı yardımı ile, bir elektrik alanın çeşitli noktalarında \mathbf{E} alanı biliniyorsa, iki nokta arasındaki potansiyel farkı veya bir noktadaki potansiyeli hesaplayabiliriz.

Bir $+Q$ nokta yükünün elektrik alanında, (Şekil 02) bir deneme yükünü A noktasından B noktasına götürmek için gerekli iş, $dr = ds \cos \theta$, $E = k \cdot Q / r^2$ olacağından

$$W_{AB} = - \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

veya

$$W_{AB} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r_B} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r_A} = U_{PB} - U_{PA} \quad (07)$$

dır. Bu işin değeri pozitif işaretli yükler için pozitiftir. E_{pA} ve E_{pB} , sınama yükünün A ve B noktalarındaki elektrik potansiyel enerji değerleridir.

A ile B noktaları arasındaki potansiyel farkı ise

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) = \frac{U_{PB}}{q} - \frac{U_{PA}}{q} \quad (08)$$

olacaktır. Bu bağıntıya göre, *iki nokta arasındaki potansiyel farkı, birim pozitif sınama yükünü alçak potansiyelli noktadan yüksek potansiyelli bir noktaya getirmek için yapılan işe eşittir.* A noktası sonsuz uzakta alınır, $r_A = \infty$ için $V_A = 0$ olarak seçilirse, bir nokta yükün kendisinden r uzaklıkta bir B noktasındaki potansiyeli (08) bağıntısına göre, alt indislerde kaldırılarak

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r} = k \frac{Q}{r} \quad (09)$$

bağıntısıyla verilir.

Bağıntı (07) ve (08) den izleneceği gibi, yapılan iş ve potansiyel farkı sadece A ve B noktalarının Q yükünden olan ilk ve son uzaklıklarına bağlıdır. Buna göre *iş ve potansiyel farkı izlenen yörüngeden bağımsızdır yani yola bağlı değildir.* Aynı özellik kütle çekim kuvvetinde de bulunmaktadır, daha açık olarak kütle çekim alanında serbest olarak düşen bir cismin potansiyel enerjisi de sadece cismin ilk ve son yükseklik konumlarına bağlıdır.

III.3.03. ELEKTRİK POTANSİYEL ENERJİ

Bir Q yükünün elektrik alanında, sınama yükü üzerine yapılan iş, onun potansiyel enerjisinde artma oluşturur. Sınama yükü bu arada kinetik enerji kazanırsa, enerjinin korunumu ilkesine göre yükün toplam enerjisini bulabiliriz. Elektrik alanda v hızı ile hareket eden, m kütleli bir q yükünün *toplam enerjisi*

$$U = U_K + U_P = \frac{1}{2} m v^2 + q V \quad (10)$$

dır. Bu q yükünün ilk bulunduğu noktadaki potansiyeli V_1 ve bundan sonraki bulunacağı noktadaki potansiyeli V_2 ise son bağıntı

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + q V_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + q V_2 \quad (11)$$

olur. Kinetik enerji teoremine göre " kinetik enerjinin değişimi aynı sistem için yapılan işe eşittir " hareketteki q parçacığına etkiyen kuvvet tarafından yapılan iş

$$W = \Delta U = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_2^2$$

olacağından

$$\Delta U = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_2^2 = q \cdot (V_1 - V_2) = q \cdot \Delta V \quad (12)$$

$$\Delta U = q \cdot \Delta V = -q \cdot E \cdot d \quad (12.a)$$

(12.a) bağıntısındaki d deneme yükünün hareket ettiği A ve B noktası arasındaki yerdeğiştirme vektörüdür. Bu sonuçtan görüldüğü gibi q pozitifse ΔU negatif olacaktır. Buna göre bir pozitif yük elektrik alan doğrultusunda hareket ederse elektriksel potansiyel enerji kaybeder. Deneme yükü negatifse ΔU pozitif olur ve negatif yük elektrik alan doğrultusunda hareket ettiği zaman elektriksel potansiyel enerji kazanır. Bir pozitif yük durgun halde bir elektrik alan içine bırakılırsa alan yönünde; negatif yük de elektrik alana durgun halde bırakılırsa alana ters yönde ivmelenir.

Eğer parçacığın bulunduğu ikinci konumdaki potansiyeli $V_2 = 0$ seçer ve ilk konumdaki hızını $V_1 = 0$ kabul edersek (12) bağıntısı

$$\frac{1}{2} m v^2 = q V \quad (13)$$

şeklini alacaktır. Bu bağıntı V potansiyel farkında hızlandırılan yüklü parçacığın kazanacağı kinetik enerji değerini verir. Bu özellikten yararlanılarak teknikte kullanılan elektrostatik hızlandırıcılar, televizyonlar v.b (ve bunun gibi) bir çok alet ve cihazlar yapılmaktadır.

Uzayda bulunan Q_1, Q_2, Q_3, \dots gibi noktasal yükler grubunun kendilerinden r_1, r_2, r_3 uzaklıktaki bir A noktasındaki sına q yükü üzerinde oluşturacakları elektrostatik potansiyel enerji

$$U_{PA} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} + \dots \right)$$

$$U_{PA} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \sum \frac{Q}{r} \quad (14)$$

olur. Daha açık olarak, A noktasındaki toplam elektrik potansiyel enerji, her bir yükün o noktada oluşturacakları potansiyel enerjilerinin *cebirsal toplamına eşit* olur.

III.3.04. NOKTASAL YÜKLERİN POTANSİYEL ENERJİSİ

Noktasal yükler topluluğunun ele alınan herhangi bir A noktasında oluşturacağı potansiyel, sanki topluluk içinde bir yük varmışta diğerleri yokmuş gibi ve her yüke bu kural uygulanarak ayrı ayrı bulunur ve sonra onların cebirsal toplamları yapılır. Bunun nedeni potansiyel farkının skaler bir büyüklük olmasıdır. Bu özellik bağıntı olarak

$$V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{Q_n}{r_n} \quad (15)$$

dır. Elektrik alanı yerine potansiyelin kullanılmasının kolaylığı ve üstünlüğü elektrik alanın vektörel büyüklük, potansiyelin skaler bir büyüklük olmasıdır.

Elektrik yüklerinin dağılımı sürekli olursa (15) bağıntısındaki toplam yerine bu kez kullanılır.

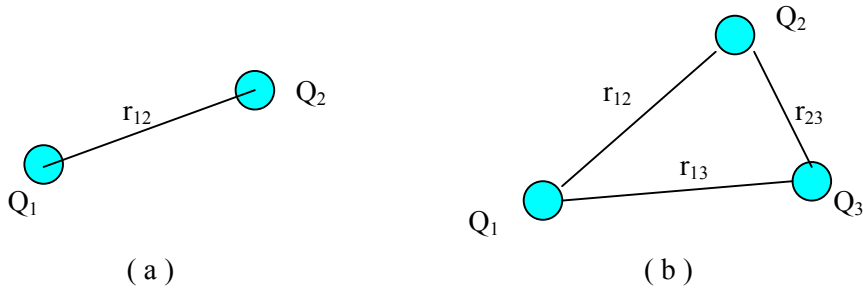
$$V = \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dQ}{r} \quad (16)$$

integrali alınır.

İki yükün potansiyel enerjisi

$$U = q_2 V_1 = k \frac{Q_1 Q_2}{r_{12}} \quad (17)$$

olarak ifade edilir (Şekil 03.a)



Şekil 03.a.b . Nokta yüklerin potansiyel enerjisi .

Üç noktasal yükün (Şekil 03.b) toplam potansiyel enerjisi

$$U = k \cdot \left(\frac{Q_1 Q_2}{r_{12}} + \frac{Q_1 Q_3}{r_{13}} + \frac{Q_2 Q_3}{r_{23}} \right) \quad (18)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

III.3.05. YÜKLÜ PARELEL LEVHALAR ARASINDAKİ POTANSİYEL

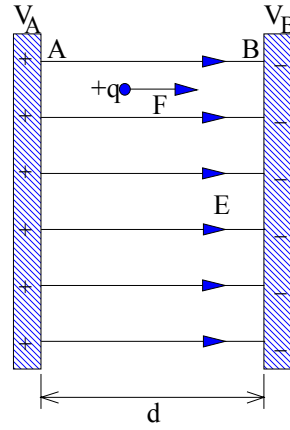
Şekil 0 3 deki gibi , zıt yüklü iki paralel levha arasındaki E elektrik alanı simetrik yapı nedeniyle düzgün olacaktır. Elektrik alanı ayrıca plakalara diktir. Levhalar arasındaki dik uzaklık d ve iç yüzeylerin üzerindeki A ve B noktalarındaki potansiyeller V_A ve V_B ise

$$V_A - V_B = -(V_B - V_A) = \int_0^d E ds \cdot \cos\theta \quad (19)$$

olur. Levhalar arasında E değeri sabit ve $\cos \theta = 1$ olacağından

$$V_A - V_B = E \cdot d \quad \text{veya} \quad E = \frac{V_A - V_B}{d} \quad (20)$$

elde edilir.



Şekil 0 . Yüklü paralel levhalar arasındaki potansiyel .

III.3.06.YÜKLÜ İLETKEN KÜRENİN POTANSİYELİ VE İLETKEN İÇİNDEKİ BİR OYUK . CORONA YÜK YÜK BOŞALMASI.

İletken, net bir yük taşıdığında bu yük daima iletkenin dış yüzeyinde toplanmaktadır ve yüzeydeki yük yoğunluğu düzgün değildir. Ayrıca iletkenin yüzeyinin çok yakınında elektrik alanı yüzeye diktir ve elektrik alanı iletken içinde sıfırdır. Elektrik alanın yüzeye paralel bir bileşeni bulunmamaktadır, eğer paralel bir bileşeni bulunmuş olsaydı yükler hareket edecekler ve ortaya akım çıkacaktı .

Denge durumundaki yüklü bir iletken yüzeyindeki her bir noktanın potansiyeli aynıdır. Bunu durumu Şekil 05'den yararlanarak görebiliriz.

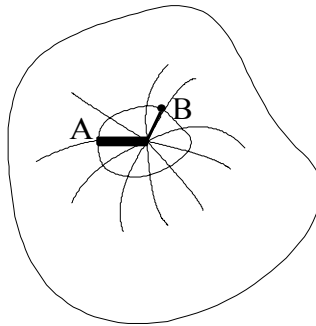
Şekil 05. Yüklü bir iletken yüzeyinde her bir noktanın potansiyeli aynıdır.

Şekil 05'deki A ve B noktalarını birleştiren yol boyunca \mathbf{E} dima $d\mathbf{s}$ yer değiştirmesine diktir. Böylece $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$ olacaktır. Bağıntı (06)'dan

$$V_B - V_A = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

bu iletken yüzey için A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı sıfır olacaktır. Buna göre; dengedeki herhangi yüklü bir iletkenin yüzeyi eşpotansiyel yüzeydir. ***İletken içindeki alan sıfır olduğundan iletken içerisinde her yerde potansiyel sabittir ve bu değer iletkenin yüzeyindeki potansiyel değerine eşittir.***

Şimdi Şekil-06'daki gibi herhangi bir iletken içindeki bir oyugu ele alalım , bu oyugun içindeki alan sıfır dır.



Şekil 06. Bir oyuk içindeki elektrik alan.

Bilindiği gibi *iletkenin üzerindeki her noktada potansiyel aynı değerdedir*. Buna göre Şekil 06'daki A ve B noktalarındaki potansiyel aynı olduğundan oyukun içindeki elektrik alan **E** ise,

$$V_B - V_A = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

olacaktır. **E** sıfırdan farklı ise **E . ds**' yi her zaman pozitif yapacak bir **ds** yolu bulunabilir. Ve o zaman da integral pozitif olacaktır. Oysa $V_B - V_A = 0$ olduğundan integral de sıfır olacaktır. Burada ancak **E** = 0 olduğunda matemaiksel işlem anlam kazanmaktadır. Bu na göre oyuk içinde hiçbir yük olmadığı zaman, iletken duvarla çevrili bir oyukta elektrik alan olmaz.

Bu sonucun uygulama alanları vardır örnek olarak, bir elektronik devre veya bir laboraduarı iletken bir duvarla çevirerek perdeleme işlemi yapılabilir. Duyarlı elektriksel ölçümlerin yapılması gerektiğinde bu perdeleme işlemi yapılmaktadır.

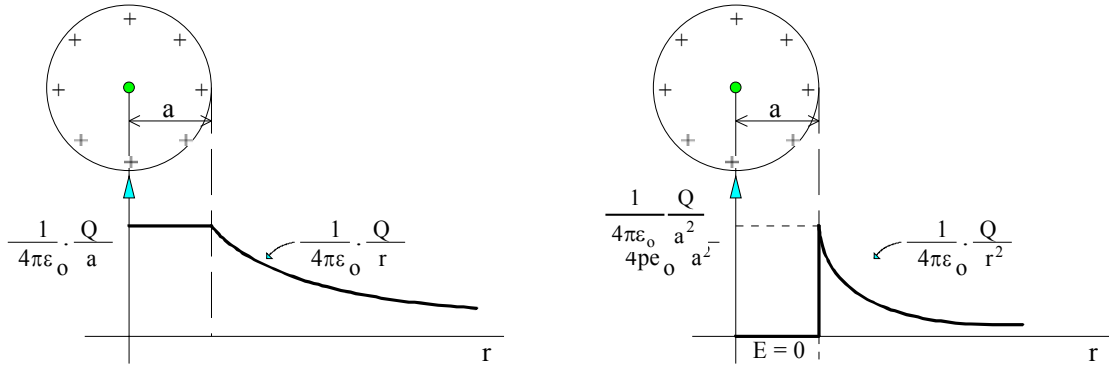
Yüklü küresel bir iletkenin dışındaki elektrik alan şiddeti, yükün hepsi kürenin merkezinde olanla aynıdır. Dolayısıyla kürenin dışında bulunan noktalardaki potansiyel, bir nokta yükün potansiyel bağıntısı gibi

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r} \quad (21)$$

olacaktır.. Burada r kürenin yarıçapına eşit veya daha büyük olabilir. *Kürenin içerisindeki noktalarda elektrik alan şiddeti sıfırdır dolayısıyla bütün iç noktalarda potansiyel değeri aynıdır*. Kürenin yarıçapı a ise yüzeyindeki potansiyel

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{a} \quad (22)$$

olacaktır. (20) bağıntısı kürenin dış noktalarındaki potansiyeli, (21) bağıntısında kürenin içerisindeki ve üzerindeki noktalardaki potansiyeli verir. Şekil 07 'de artı yüklü , a yarıçaplı iletken küreden oluşan elektrik alan ve potansiyel grafik olarak gösterilmiştir Potansiyel değeri kürenin iç ve üstünde sabit değerdedir ve kürenin hemen dışında r nin fonksiyonu olarak $1/r$ gibi azalır. Elektrik alan değeri kürenin içinde sıfır değerdedir ,kürenin yüzeyinde maksimum değere ulaşır ve yüzeyin hemen dışında $\frac{1}{r^2}$ gibi azalır.



Şekil 07. İletken bir kürenin elektrik alanı ve potansiyeli .

Hava içinde bulunan bir iletken tarafından tutulabilen maksimum yük , yaklaşık 3.10^6 Volt/m değerinde bir elektrik alan şiddetinin havayı iletken hale getirmesi değeri ile sınırlanmıştır. Genel olarak, E_m elektrik alan şiddetinin üst sınırını gösterirse, hava içinde bulunan a yarıçaplı bir küresel iletken tarafından tutulabilecek maksimum yük

$$Q_m = 4\pi \varepsilon_0 a^2 E_m$$

olacaktır. Örnek olarak 1 cm yarıçaplı bir küresel iletkenin sahip olabileceği maksimum potansiyel

$$V_m = a E_m$$

bağıntısından yararlanılarak, $V_m = 0,01.3.10^6 = 30\ 000$ Volt olarak hesaplanır. Buna göre hiç bir yük miktarı, hava iç. inde bulunan böyle bir kürenin potansiyelini 30 000 volt'tan daha yukarı çıkaramaz. Eğer daha fazla yük miktarı küreye yüklenmeye kalkılırsa bu fazlalık kürenin yakın civarındaki havayı iyonlaştırarak havaya boşalır .

Van de Graff jenaratörü gibi yüksek potansiyel elde etmeye yarayan makinalarda büyük yarıçaplı küresel kutupların kullanılması yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı gereklidir. Eğer böyle bir kürenin yarıçapı $a = 2$ m olursa bu küre 6 milyon Volt'luk potansiyel biriktirerek bunu kullanım için saklar.

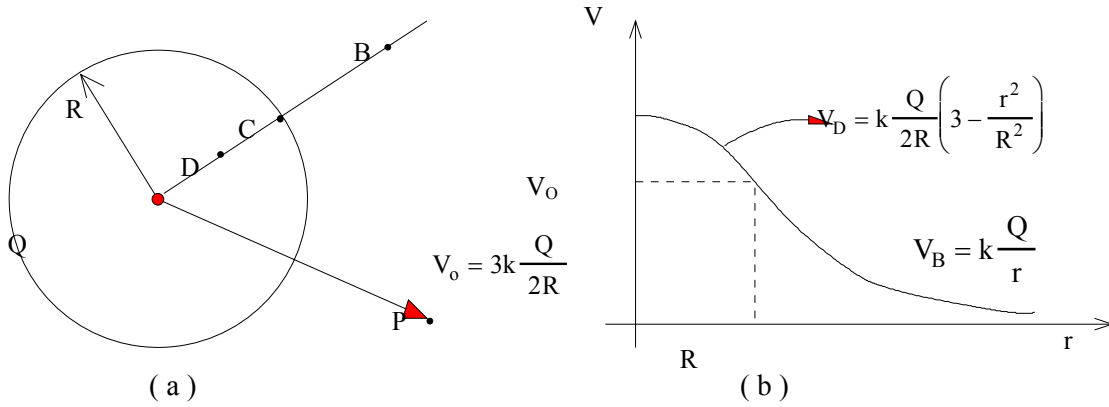
Yüklü bir iletkenin sivri uçlarındaki yük yoğunluğunun daha fazla olması nedeniyle , sivri uçları yakınında elektrik alan ve potansiyel yüksek değerlere ulaşır . Bu yüklü iletkenin diğer noktalarındaysa elektrik alan ve potansiyel değerleri zayıftır.. Daha açık olarak , sivri uç ele alınan bir yüzeyin eğrilik yarıçapı çok küçük olan bir parçasıdır. Maksimum potansiyel yarıçapla ters

orantılı olduğuna göre, hava içinde sivri uçlara uygulanan küçük potansiyelerde bile uçun hemen yanında yeterince yüksek alanlar oluşacaktır. Sivri uçlar yakınında elektrik alan şiddeti yüksek değere ulaştığında etrafındaki hava moleküllerini iyonize edecektir. Bunun sonucunda hava iletken hale gelecek ve potansiyel yeterince yüksek bir değerinde havaya bir yük boşalması olacaktır. Sivri uçlar tarafından oluşturulan bu etkiye **Corona yük boşalması** denilmektedir. Bu boşalma hali normal gözle bile izlenen yeşil bir ışık oluşturmakta ve sivri uçlar civarında görünür bir parlama izlenmektedir. Corona boşalması iletken etrafındaki havanın normal sıcaklık ve basınç koşullarında, elektrik alan değerininin $3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ veya daha büyük olması durumunda meydana gelir.

III.3. 07. DÜZGÜN YÜKLENMİŞ İZOLE EDİLMİŞ BİR KÜRENİN POTANSİYELİ

R yarıçaplı ve düzgün Q yüküyle yüklenmiş izole edilmiş bir küre ele alınsın Şekil 08.a ;

a) Kürenin dışındaki bir noktada $r > R$ de elektriksel potansiyeli hesaplayalım. Sonsuzda potansiyelin sıfır olduğunu kabul edelim



Şekil 08.a.b Düzgün yüklenmiş izole edilmiş bir kürenin potansiyeli

P noktasındaki elektriksel alanın büyüklüğü,

$$E_r = k \frac{Q}{r^2} \quad (r > R \text{ için})$$

dir. Q yükü pozitif olduğundan elektrik alan ışınal olarak dışa doğrudur. E nin değeri $E \cdot ds = E_r \cdot dr$ olduğundan

$$V_B = -\int_{\infty}^r E_r dr = -kQ \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2}$$

$$V_B = k \frac{Q}{r} \quad (r > R \text{ için})$$

bulunur.

b) C noktasında potansiyel değeri $r=R$ için

$$V_C = k \frac{Q}{R} \quad (r = R \text{ için})$$

şeklindedir.

c) Yüklü kürenin içindeki bir noktadaki elektrik alan

$$E_r = k \frac{Q}{R^3} \cdot r \quad (r < R \text{ için})$$

olarak bulunmuştu. Buradan $V_D - V_C$ potansiyel farkını

$$V_D - V_C = -\int_R^r E_r dr = -k \frac{Q}{R^3} \int_R^r r dr = k \frac{Q}{2R^3} (R^2 - r^2)$$

$$V_C = k \frac{Q}{R} \quad \text{olduğundan;}$$

$$V_D = k \frac{Q}{2R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

elde edilir. Bu yük dağılımı için V nin r ye göre değişimi Şekil 08.b dendir.

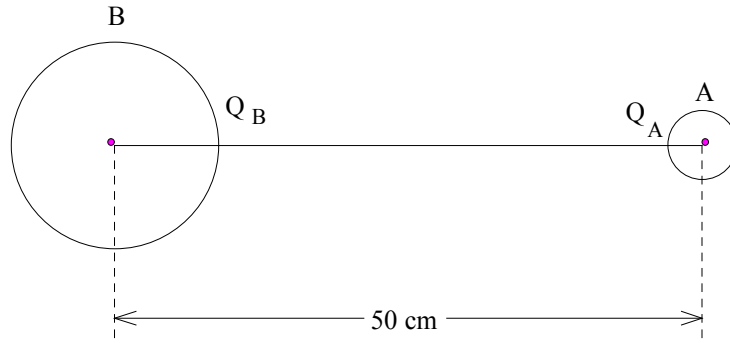
III.3.08. YÜKÜN İLETKENLER ARASINDAKİ BÖLÜŞÜMÜ

Yüklü bir iletken, yüksüz bir iletkenle elektriksel olarak birbiriyle temasa geçirilirse, ilk yük ikisi arasında bölüşülür. Yüklü iletkendeki yüklerin birbirlerini itmesi nedeniyle yüksüz iletkene değince yüklerin yer değiştirmesi doğaldır. Temasta ne kadar yükün bir iletkenen diğerine geçeceği tam

olarak bilinmemekle beraber bu geçişte, her iki iletkenin tüm noktalarını aynı potansiyele gelecektir. Kulanışlı olması bakımından

- 1) Aralarındaki uzaklık yarıçaplarına göre büyük olan ve bir birine bir iletken telle temas eden iki küreyi
- 2)Yüklü bir iletkenin,ikinci bir içi boş iletkenle iç taraftan temas etmeleri halini inceleyeceğiz (Şekil 09).

Önce 1 halini ele alalım; 1 cm yarıçaplı Q_A yüklü A küresi ile 10 cm yarıçaplı bir B küresinin merkezleri arasındaki uzaklık 50 cm olsun ve bunlar bir tel iletkenle birbirleri ile bağlansınlar. Tel yeterince ince olduğundan bunun üzerinde yük tutmadığı farz edilsin. Küçük kürenin ilk yüküde $10 \cdot 10^{-9}$ C olsun. Küreler ince telle bağlanınca, $10 \cdot 10^{-9}$ C luk yük o şekilde dağılırki, küre ile iletken tel aynı potansiyele gelirler.



Şekil 09. İki yüklü iletkenin iletkenle birleştirilmesi sonunda yükün bölüşümü

B küresindeki yük Q_B ile gösterilirse, B küresinin merkezindeki potansiyel

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{Q_B}{0,10} + \frac{Q_A}{0,50} \right)$$

dir. Diğer kürenin potansiyelide, aynı şekilde

$$V_A = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{Q_A}{0,01} + \frac{Q_B}{0,50} \right)$$

dir. Kürelerin her ikisinde aynı potansiyelde olacağından, ($V_A = V_B$),

$$\frac{Q_B}{0,10} + \frac{Q_A}{0,50} = \frac{Q_A}{0,01} + \frac{Q_B}{0,50}$$

dir. $Q_A + Q_B = 10 \cdot 10^{-9}$ C olduğuna göre,

$$Q_B = 9,25 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q_A = 0,75 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$V = 846 \text{ Volt}$$

olarak bulunur.

2 .durum , 1 cm yarıçaplı bir küre 10 cm yarıçaplı bir kürenin içine açılmış bir delikten girsin ve bunların merkezleri aynı olsun (Şekil 10). Açılan deliğin fiziksel olayı etkilemediğini varsayalım. Başlangıçta büyük kürenin yükü Q_B ve küçük kürenin yükü Q_A olsun B ve A küresinin potansiyeli

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_B}{0,10} + \frac{Q_A}{0,10} \right)$$

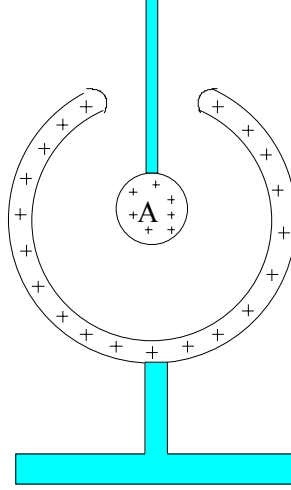
$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_B}{0,10} + \frac{Q_A}{0,01} \right)$$

dir. Buna göre A ile B arasındaki potansiyel farkı

$$V_{AB} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_B}{0,10} + \frac{Q_A}{0,01} - \frac{Q_B}{0,10} - \frac{Q_A}{0,10} \right)$$

$$V_{AB} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 90Q_A \quad (21)$$

olacaktır.



Şekil 10. Yüklü bir iletken içinde diğer bir iletken.

Buna göre V_{AB} pozitifdir ve A küresi B den daha yüksek bir potansiyelindedir. Bu durumda küreler birbiriyle temas ettirilirse (21) bağıntısına göre $Q_A = 0$ oluncaya kadar, A dan B ye yük akışı olacaktır. Bu da bizim beklemediğimiz bir sonuçtur, daha açık olarak *A küresindeki yükün hepsi, B nin yükü ve potansiyelinin ilk değeri ne olursa olsun, B ye geçecektir.* Teknolojide ve araştırmalarda kullanılmak üzere gerekli çok büyük potansiyel farkları bu özelliğten yararlanılarak yapılmış olan Van de Graaff jeneratörü denilen bir aletle elde edilir.

Şekil 10'dan , büyük küre üzerindeki yük, iç noktalarda bir alan oluşturmadığına göre, küçük küreyi büyük kürenin içinde yer değiştirmek için her hangi bir iş gerekli olmayacaktır. Böylece küçük kürenin potansiyeli bütün iç noktalarda aynı olacaktır ve konumu ve olursa olsun üzerinde hiç bir yük kalmayınca kadar potansiyeli dış iletkeninkinden daha yüksek olacaktır.

Ayrıca iletkenlerin şekillerinin küre şeklindeki olması gerekli değildir. Herhangi bir şekle sahip bir iletkenin içine sokulan diğer bir iletkenlede aynı etki gözlenecektir. Küresel şeklin tercih nedeni kullanım kolaylığı yönünden olsa gerektir. Şekilleri ne olursa olsun bu tür etkileşimde iletkenlerin ikisi arasında içerden bir temas yapıldığında, içteki iletkenin bütün yükü dıştaki iletkene geçecektir.

III.3.09. ELEKTROSTATİKLE İLGİLİ UYGULAMALARDAN BAZILARI

VAN DE GRAAFF JENARATÖRÜ

ELEKTROSTATİK ÇÖKELTİCİ

FOTOKOPİ MAKİNASI

Elektrostatik ilkelerine dayalı çeşitli uygulamalar sonucunda çok sayıda faydalı cihaz geliştirilmiştir. Bu cihazlardan bazıları: yüklü temel parçacıkları hızlandıran elektrostatik *van de Graaff jeneratörleri*, kopyalama işleminde kullanılan *fotokopi makinası*, kömür kullanan termik santrallerin oluşturduğu hava kirliliğini azaltmaya çalışan *elektrostatik çökeltici*, metal malzemelerin yüzeylerindeki atomları görüntüleyen *alan-iyon mikroskopu* ve oto üretiminde otoların boya işleminde kullanılan *elektrostatik boyama sistemleri* dir.

VAN DE GRAAFF JENARATÖRÜ

Van de graaff 1931 yılında, sürtünme ile elektriklenme etkisi, yüklerin bir iletkenin dış yüzeyinde toplanma etkisi ve sivri uçlarda elektrik alan yoğunluğunun daha fazla olması nedeniyle burdaki yüklerin kolay transferi etkisinden yararlanarak birkaç milyon voltluk bir potansiyel farkı oluşturan bir elektrostatik jeneratör planlayarak imal etmiştir. Bu tür jeneratörün çalışma yöntemi şekil 11 'de açıklanmıştır.

Şekil 11
Van de Graaff elektrostatik jeneratörü

Bu sistem yüksek voltaj farkı kaynağı olarak Çekirdek (nükleer fizik) fiziğinde sık sık kullanılır.

Bu elektrostatik jenaratör, esas olarak, yalıtkan yüksek sütunların tepesine monte edilmiş **büyük metal boş bir kürte** (Yüksek voltaj elektrodu) motorla hareket ettirilen yük taşıyıcı bir **kemer** ve yükleyici bir **doğru akım elektrik kaynağından** ibarettir.

Yalıtkan maddeden (ipek,naylon, lastik gibi) yapılmış sonsuz K kayışı (kemer) yukarda ve aşağıda bulunan P, Q mmakaraları üzerinde sürekli olarak bir motorla sürekli olarak hareket ettirilir.Sivri uçlu D iletkeni (veye metal tarak) S metal küresel kabuğa ve A sivri ucu bir yükleyici elektrik kaynağının (doğru akım jenaratörünün) + ucuna bağlanmıştır. Bu jenaratörün diğer ucu toprağa bağlıdır.Sivri uç etkisiyle + elektrik A dan ipek kemere püskürür (esasında elektronlar kayıştan sivri uçlara geçerler ve sonuçta kayış+ yüklenmiş olur) ve kemer bu + yükü yukarıya taşır. Bu yük D sivri uçuna ulaşınca, sivri uçta - yük ve S üzerinde + yük indüklenmiş olur. D ' den akan - yük , kemer üzerindeki + yük ile nötr hale gelir. Bu işlem kemer hareket ettikçe tekrarlanır ve metal küresel kabuk tutabileceği maksimum sınıra kadar (kürenin havaya eletrik yükünü boşaltmadan tutabileceği sınır) artan bir yük kazanır bunun sonucu olarak toprağa göre potansiyelide artar. Kürenin potansiyeli onun yarıçapıyla ters orantılıdır. Normal koşullarda havanın yalıtkanlığı,elektrik alan değeri $E_{max} = 3 \cdot 10^6$ volt / m ye ulaşınca bozulur. Kürenin voltajı (toprağa göre potansiyeli) ve elektrik alanı arasında r yarıçap olmak üzere $V = E r$ bağıntısı bulunmaktadır. Buna göre $V_{max} = E_{max} r$ olacak ve kürenin tutabileceği maksimum voltaj değeride belirlenmiş olacaktır. Ayrıca S yüzeyi üzerindeki yükü dolayısıyla potansiyeli sınırlayan şartlar laboratuvarın duvarları ve tavanı gibi başka cisimlerin alete yakın bulunması durumudur. Jenaratörün daha yüksek voltajlarda çalışabilmesi amacıyla , jenaratörün küresi içindeki hava özel bir sistemle aşağı yukarı 10 – 11 Atm./ cm² basınca kadar arttırılır. Yüksek basınçtaki havanın normal koşullardaki havaya göre yalıtkanlığının bozulması için gerekli elektrik alan değeri normal koşullardaki elektrik alan değerinden daha büyük olacaktır. Böylece aynı yarı çaplı küre bu kez daha yüksek elektrik alana dayanacak ve toprakla küre arasında daha yüksek potansiyel farkı oluşuracaktır.

Çekirdek fiziğinde kullanılan yüklü parçacıkların veya iyonların hızlandırılmasında kullanılan bir **van de Graaff elektrostatik hızlandırıcısı**, bir van de Graaff jenaratörüyle bir **iyon kaynağı** ve bu iyonları aşağı doğru hızlandırılmasında kullanılan havası boşaltılmış bir tüpten ibarettir Şekil 05. Seçilen hedeflerin protonlarla bombardımanı ile çekirdek reaksiyonları oluşturmak için gerekli iyon kaynağı ,artı yüklü yüksek voltaj elektrodu içinde yapılan hidrojen gazı içindeki bir elektrik boşalması ile elde edilir. Gereğinde yüksek enerjili elektronlar istendiğinde , elektron kaynağı çok zaman eksi yüklü yüksek voltaj elektrodu içinde bulunan sıcak flamandan elde edilir. Proton hızlandırılması halinde , protonlar boşluk tüpü içinde aşağı topraklanmış uca doğru hızlandırılırlar ve uçta bir hedef üzerine odaklanırlar. Hızlandırma işleminde elektronlar kullanıldığında , bu kez hedef yukarda olacak ve elektronlar topraklanmış uçtan yukarda bulanan hedefe doğru hızlandırılacaklardır.

Yükü Q olan bir parçacığın toprağa nazaran V potansiyel farkında kazandığı enerji $E = Q V = \frac{1}{2} m v^2$ olacaktır. Burada m partikülün kütlesi ve v 'de partikülün bu potansiyel farkında kazandığı hızdır. İlk yapılan van de Graaff jenaratöründe toprağa göre ulaşılan maksimum potansiyel farkı 1,5 milyon volt idi. Zamanımızda 20 milyon volt'luk elektrostatik jenaratörler yapılmıştır.

ELEKTROSTATİK ÇÖKELTİCİ

Gazlardaki elektrik boşalımdan yararlanılarak elektrostatik çökeltici cihazları yapılmıştır.Bu tür cihazlar yanıcı gazlarda ortaya çıkan bazı maddeleri ayırmak amacıyla kullanılır. Bu şekilde termik santrallarda ortaya çıkan dumandaki toz küllerinin % 99 'u bu cihazla süzülebilir. Şekil 12'de elektrostatik çökeltici şematik olarak gösterilmiştir 40 kV ile 90 kV arasındaki voltaj silindirik sistemin simetri merkezinden yukardan aşağıya doğru inen iletken

bir telle , silindirik sistemin dış duvarlarına uygulanır. Duvarların potansiyeli tele nazaran daha yüksek haldedir ve bu şekilde oluşan elektrik alan duvarlardan tele doğru olur. Tel etrafındaki elektrik

alan yeterince yüksek olduğunda telin çevresinde bir elektrik şarj boşalması (Corona elektrik boşalması) olur. Bu boşalma sonunda elektronlar , pozitif iyonlar ve O_2^- gibi negatif iyonlar meydana gelir.

Şekil 12 Elektrostatik çökeltici

Negatif iyonlar ve elektronlar düzgün olmayan elektrik alan tarafından sistemin dış duvarına doğru hızlanırken akan gaz içindeki kirli parçacıklarla çarpışırken veya iyon yakalılarak yüklenirler. Yüklenen bu kirli parçacıklar çoğunlukla negatif yüklü olduklarından bunlar elektrik alan tarafından dış duvara doğru çekilirler. Sistemin periyodik olarak sarsılması sonunda duvarda toplanan kirli parçacıklar aşağıya düşerler ve alttaki delikten dışarı çıkarak belli bir yerde toplanırlar.

Bu sistem , atmosfere termik santralin bacasından çıkacak olan zararlı atıkları azaltır ve ayrıca alt kısımda toplanan metal oksit yapıdaki değerli maddelerin yeniden elde edilmesine olanak sağlar.

FOTOKOPİ MAKİNASI

Bu kuru sistem kopyalama çok geniş bir alanda kullanılmakta ve doküman, mektup ve diğer basılmış evrakların çoğaltılmasında kullanılır. Bütün büro ve kütüphanelerde kuru sistem kopyalamaya dayalı olarak yapılmış olan fotokopi makinaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makinaların çeşitleri ve becerileri gün geçtikçe artmaktadır, hatta bunların yaptığı renkli kopyalamalarının aslından ayırt edilmesinde oldukça zorlanılmaktadır.

Kuru sistem kopyalamanın esası , elektrostatik ve potişin basit kavramlarına dayanır. Kopyalama sürecinde, karanlıkta zayıf bir iletken olup üzerine ışık düşünce iyi bir iletken olan **Foto iletken** madde kullanılır.

Kuru sistem kopyalama sürecindeki birinci adım , Şekil 13.a 'da gösterildiği gibi fotoiletken yüzeyin pozitif olarak yüklenmesidir. İkinci adım Şekil 13.b 'de gösterildiği gibi ışık kaynağı ve mercekle kullanılarak yüzeyde gizli pozitif yükler biçiminde görüntü oluşturulur. Üçüncü adım Şekil 13.c 'de görüleceği gibi , görüntü içeren yüzey , yalnız görüntünün bulunduğu alana yapışan yüklü bir tozla (

toner) kaplanır.Dördüncü adımda, Şekil 13.d , boş bir kağıt üzerine konularak yük verilir. Bu görünen görüntüyü kağıda aktarır. Son adımda, tozun kağıtta kalıcı olması için ısı işlem yapılır.

a. Boş foto iletkenin yüklenmesi .

b. Orijinalden fotoiletkende gizli görüntü oluşturma.

c. Gizli görüntünün tonerle tozlanması.

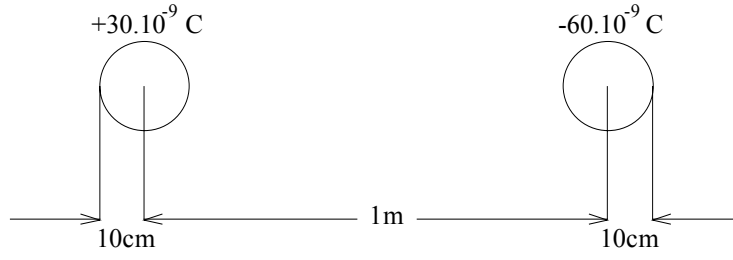
d. Boş kağıda yük verilerek ve tonerlenmiş görünen görüntü boş kağıda aktarılır ve buda ısı işlemle sabitleştirilir

Şekil 13.a,b,c,d
Kuru sistem kopyalama süreci

Bu süreçler sonunda, orijinalin kopyası elde edilmiş olur.

III . 3 . 09 .ÖRNEK PROBLEMLER

1) Her birinin yarıçapı 10 cm olan iki iletken kürenin merkezleri arasındaki uzaklık 1 m dir. A küresinin yükü $+ 30 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ve B küresinin yükü $- 60 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ dur. Kürelerden her birinin potansiyelini hesaplayınız (Şekil 14).



Şekil 14. Örnek problem 1.

Çözüm; Kürelerden her biri içindeki ve üzerindeki noktalarda potansiyel aynı olduğuna göre, her birinin merkezindeki potansiyeli hesaplanabilir. A küresinin merkezindeki ve kendi yükünden oluşan potansiyel

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{a} = 9 \cdot 10^9 \frac{30 \cdot 10^{-9}}{0,10} = 2700 \text{ Volt}$$

dır. B küresinin dışındaki noktalarda, B üzerindeki bütün yük kendi merkezinde, yani A'nın merkezinden 1 metre uzakta toplanmış gibi kabul edilebilir. O halde A'nın merkezinde, B'nin yükünden ileri gelen potansiyel

$$V = 9 \cdot 10^9 \frac{(-60 \cdot 10^{-9})}{1} = -540 \text{ Volt}$$

dır. Dolayısıyla A'nın merkezindeki potansiyel, bu potansiyel yüzeyi ile aynıdır ,

$$V_A = 2700 - 540 = + 2160 \text{ Volt}$$

dır.

Benzer şekilde B küresinin merkezindeki potansiyel

$$V_B = - 5400 + 270 = - 5130 \text{ Volt}$$

Küreler arasındaki potansiyel farkı

$$V_{AB} = V_A - V_B = 2160 - (- 5130) = + 7290 \text{ Volt}$$

dır ve A'nın potansiyeli daha yüksektir. Bu hesaplama tam olarak doğru değildir, çünkü A ve B üzerindeki yükler arasındaki çekim kuvvetleri nedeniyle, kürelerin birbirlerine bakan yüzlerinde bir yük birikmesi olacak bu da kürelerin dış yüzeydeki potansiyel değerlerinin değişmesine neden olacaktır. Daha açık olarak kurenin kendi yükünden oluşan potansiyel ile dış yüzündeki potansiyel aynı olmayacaktır fakat merkezindeki potansiyel bu konuda değişmeyecektir. Bu problemin tam olarak çözümü hedeflenen bilgi aktarımının dışındadır.

2) Köşelerine $+1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, $-2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, $+3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ve $+2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ luk yükler konulmuş ve kenar uzunlukları 1 metre olan bir karenin merkezindeki potansiyeli bulunuz.

Çözüm ; Her yükün karenin merkezine olan uzaklığı $\sqrt{2} = 0,71 \text{ m}$ dir. Buna göre

$$V = \sum V_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{Q_n}{r_n}$$

bağıntısından,

$$V = 9 \cdot 10^9 \frac{(1 - 2 + 3 + 2) \cdot 10^{-8}}{0,71} = 507 \text{ Volt}$$

dır.

3) $-1 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ luk yük taşıyan bir cisim, $10 \mu \text{ C}$ luk bir yükün 10 cm altında bulunan bir konumdan 1 m altındaki konuma hareket ettirildiğinde, elektriksel kuvvetlere karşı yapılması gereken işi hesaplayınız. Eksi yüklü cisim son konumda havada asılı kaldığına, yani cisme etkiyen elektriksel kuvvetle yerçekim kuvveti eşit ve zıt yönlü olduklarına göre, bu cismin kütleini bulunuz.

Çözüm ; İşin hesaplanması için iki nokta arasındaki potansiyelin hesaplanması gerekir. Yükün 10 cm altındaki potansiyel

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \frac{10 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 9 \cdot 10^5 \text{ V}$$

1 metre altındaki potansiyel

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \frac{10 \cdot 10^{-6}}{1} = 9 \cdot 10^4 \text{ V}$$

ve bu iki nokta arasındaki potansiyel farkı

$$V_A - V_B = 9 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^5 = - 8,1 \cdot 10^5 \text{ V}$$

olur. $- 1 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ luk yükün bu potansiyel farkı arasında hareket ettirilmesinde yapılan iş:

$$W_{AB} = Q (V_A - V_B) = (-1 \cdot 10^{-10}) \cdot (- 8,1 \cdot 10^5) = + 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$$

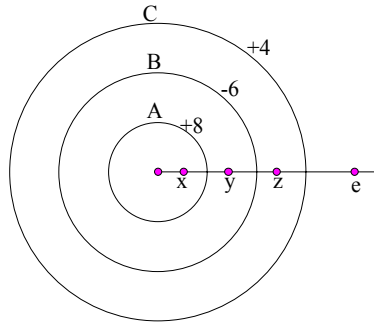
dır. Cismin havada asılı kalması konumunda :

$$mg = 9 \cdot 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$m = 9 \cdot 10^9 \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-10}}{9,81 \cdot 1} = 9,18 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

olur.

4) Yarıçapları, sırasıyla 4 , 6 ve 8 cm olan aynı merkezli yalıtılmış metal üç boş kürenin yükleri $+ 8 \text{ } \mu\text{C}$, $- 6 \text{ } \mu\text{C}$ ve $+ 4 \text{ } \mu\text{C}$ dur. Merkezden 2 , 5 , 7 , ve 10 cm uzaktaki noktalarda elektrik alan şiddetleri ve potansiyelleri bulunuz (Şekil 15).



Şekil 15. Problem 4.

Çözüm: Bilindiği gibi yüklü boş bir iletken kürenin dışındaki alan şiddeti, bütün Q yükünün onun merkezinde toplanmış halinin aynısı olacaktır. İçinde ise alan sıfır olacaktır. Kürenin içindeki ve yüzeyindeki potansiyel aynı fakat dışındaki potansiyel $k \cdot Q / r$ dır. Buna göre:

x deki elektrik alan şiddeti, x noktası üç kürenin içinde olduğundan sıfır olacaktır. Potansiyel ise

$$V_x = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,04} - \frac{6}{0,06} + \frac{4}{0,08} \right) \cdot 10^{-9} = 1350V$$

olacaktır çünkü bunlar her kürenin içindeki potansiyellerdir.

y noktasındaki elektrik alan şiddeti

$$E_y = 9 \cdot 10^9 \frac{8 \cdot 10^{-9}}{(0,05)^2} = 28800N / C$$

dır. Burada y noktası A nın dışında, fakat B ve C nin içindedir. y deki potansiyelde aynı düşünceyle

$$V_y = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,05} - \frac{6}{0,06} + \frac{4}{0,08} \right) \cdot 10^{-9} = 990V$$

z noktasındaki alan şiddeti ve potansiyel

$$E_z = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,07^2} - \frac{6}{0,07^2} \right) \cdot 10^{-9} = 3673N / C$$

$$V_z = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,07} - \frac{6}{0,07} + \frac{4}{0,08} \right) \cdot 10^{-9} = 707V$$

e deki alan şiddeti ve potansiyelde

$$E_e = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,1^2} - \frac{6}{0,1^2} + \frac{4}{0,1^2} \right) \cdot 10^{-9} = 5400 \text{ N / C}$$

$$V_e = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8}{0,1} - \frac{6}{0,1} + \frac{4}{0,1} \right) \cdot 10^{-9} = 540 \text{ V}$$

dur.

III.3.10. PROBLEMLER

1) Kenarları 10 cm olan eşkenar bir üçgenin üst köşesine $- 4 \cdot 10^{-7}$ C luk , sol alt köşesine $+ 10^{-7}$ C luk ve sağ alt köşesine $+ 2 \cdot 10^{-7}$ C luk yükler konulmuştur.

a- $+ 2 \cdot 10^{-7}$ C luk yükün elektriksel potansiyel enerjisini,

b- Sistemin , yani yüklerin karşılıklı potansiyel enerjisini hesaplayınız.

Cevap. - $1,8 \cdot 10^{-3}$ Joule . - $9 \cdot 10^{-3}$ Joule.

2) Bir nokta elektrik yükünden bilinmeyen bir uzaklıktaki potansiyel 600V ve elektrik alan şiddetide 200 N / C dur. Nokta yükten olan bu uzaklığı ve yükün değerini bulunuz.

Cevap: 3 m, $2 \cdot 10^{-7}$ C .

3) Bir elektronun $0,6$ C hızına eşit hız kazanması için ne kadarlık bir potansiyel farkında hızlandırılmalıdır. Burada C ışık hızıdır ve değeri $3 \cdot 10^8$ m / sn dir.

Cevap: $1,28 \cdot 10^5$ V

4) $0,3 \mu$ C luk üç yük kenarları 1 metre olan bir eşkenar üçgenin köşelerine yerleştirilmiştir. Bu sistemin potansiyel enerjisini hesaplayınız.

Cevap : $2,43 \cdot 10^{-3}$ Joule.

5) $+ 0,2$ ve $- 0,1 \mu$ C luk yükler 5 metre aralıkla yerleştirilmişlerdir. Artı yükten 3 m ve eksi yükten 4 m uzaklıktaki A noktası ile artı yükten 4 m ve eksi yükten 3 m uzaktaki B noktasındaki

potansiyeli bulunuz. $2 \cdot 10^{-8} \text{C}$ luk bir yükün bu noktalar arasında yerdeğiştirmesi için yapılması gerekli işi hesaplayınız.

Cevap . $V_A = + 375 \text{ V}$, $V_B = + 150 \text{ V}$ ve $- 45 \cdot 10^{-7} \text{ Joule}$.

6) Bir elektron aralarında 1000 voltluk potansiyel farkı bulunan iki paralel levha arasında bir levhadan ötekine hareket ediyor. Bu elektronun öteki levhaya ulaştığındaki hızını ve enerjisini bulunuz.

Cevap: $1,88 \cdot 10^7 \text{ m/sn}$, $1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Joule}$.

7) $-60 \mu \text{C}$ luk bir yükten 20 ve 40 cm uzaklıktaki iki nokta arasındaki potansiyel farkını, $+2 \mu \text{C}$ luk bir yükü alçak potansiyelli noktadan yüksek potansiyelli noktaya götürmek için gerekli işi hesaplayınız.

Cevap : $1,35 \cdot 10^6 \text{ V}$, $2,70 \text{ Joule}$.

8) Metal iki kürenin çapları 3 cm ve düzgün olarak dağılmış yükleri $+1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ve $-3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ dur. Merkezlerinin aralığı 2 metre olduğuna göre, merkezler aralığının tam orta noktasındaki ve her kürenin potansiyelini hesaplayınız.

Cevap: -180 V , 2863 V ve -9954 V .

9) Bohr atom modelinde sadece bir elektron bir protondan oluşan bir çekirdek etrafında $5,28 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$ yarıçaplı bir daire çizmektedir. Atomun elektrostatik potansiyel enerjisini ve herhangi bir başka elektronun bu enerjiyi kazanması için ne kadarlık bir potansiyel farkında hızlandırılması gerektiğini hesaplayınız.

C. $-4,37 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ veya $-27,3 \text{ eV}$. “ $1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. ”

10) Yarıçapları 1 ve 2 cm olan iki iletken küreden her birinin yükü 10^{-9} C dur. Kürelerin merkezleri arasındaki uzaklık 1 metredir, bunlar ince iletken bir telle birleştirilirse, herbirinin üzerindeki sonuç yükü ve potansiyellerini hesaplayınız.

Cevap: $1,34 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, $0,66 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ ve 6070 V .

11) İki iletken plaka arasındaki uzaklık 0,4 cm ve plakalar arasındaki potansiyel farkı 300 Volt'tur. Eksi yüklü levhayı sıfır hızla terkeden bir elektronun 2 mm gitmesi sonundaki ve artı yüklü plakaya çarptığı andaki hızını hesaplayınız.

Cevap : $8,9 \cdot 10^6$ m / sn , $10,3 \cdot 10^6$ m / sn .

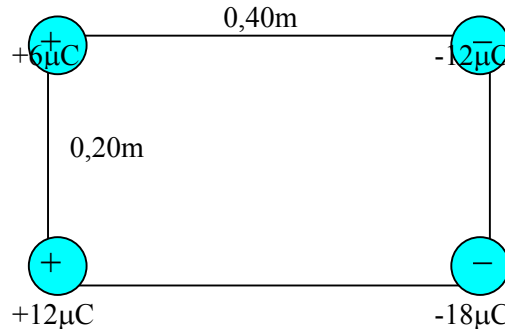
12) Bir pozitron protonla aynı yüke sahiptir, fakat kütlesi elektronunkiyle aynıdır. Pozitronun 480V/m düzgün bir elektrik alan yönünde 5,2cm hareket ettiğini varsayarsak, a) ne kadarlık potansiyel enerji kazanır veya kaybeder? b) ne kadarlık kinetik enerji kazanır veya kaybeder?

C . a . $-4 \cdot 10^{-18}$ J . Potansiyel enerji kaybeder. b . $4 \cdot 10^{-18}$ J . Potansiyel enerji kazanır.

13) Bir deuteron (bir nötron ve bir protondan oluşan hidrojen izotopunun çekirdeği) 2,7kV luk potansiyel farkına kadar hızlandırılıyor. a) ne kadar enerji kazanır? b) harekete durgun halden başladıysa hızı ne olurdu?

C. a . $4,33 \cdot 10^{-16}$ J . b. $5,09 \cdot 10^5$ m / s

14) Şekil 16 da gösterilen yükleri buldukları yerlere getirmek için gereken enerjiyi hesaplayınız.



Şekil 16. Problem 11.

C . $-3,96$ J.

15) Bir kenarı a olan bir karenin köşelerine Q büyüklüğünde özdeş yükler yerleştirmek için $5,4k \frac{Q^2}{a}$ kadarlık iş yapmak gerektiğini gösteriniz.

16) Bir noktasal yükten belirli bir uzaklıkta elektrik alan şiddeti 500V/m , elektriksel potansiyel - 3000V dur. a) Bu yükten olan uzaklık ne kadardır? b) Yükün büyüklüğü nedir?

C . a. 6 m. , b. $2 \cdot 10^{-6}$ m.

17) 0,3 m yarıçaplı, başlangıçta yüksüz bir küresel iletken kaç tane elektron uzaklaştırılmalıdır ki bu küre yüzeyinde 7,5kV luk bir potansiyel oluşsun .

C . $156 \cdot 10^{13}$ tane.

18) Bir dikdörtgenin tabanı 4 m ve yüksekliği 3 m.dir. Bu dikdörtgenin sol üst köşesinde + 125 μ C., sağ üst köşesinde + 36 μ C. Vve sol alt köşesinde - 32 μ C. luk yükler bulunmaktadır.Bu elektrik yüklerinin dağılımı için + C. 'luk bir yükün dikdörtgenin sağ alt köşesinden köşegenlerin kesim noktasına getirmek için gerekli işi hesaplayınız.

C . İki nokta arasındaki potansiyel farkı = $(464,4 - 261) \cdot 10^3$ V. Ve gerekli İş = $610,2 \cdot 10^3$ J.

19) kenar uzunlukları 4 m olan bir karenin köşelerine özdeş 4. 10^{-3} C. luk yükler konulmuştur. Bu yüklerin yerleştirilmesi için gerekli işi hesaplayınız.

C . $36 \cdot 10^3$ J.

20) Kenarlar a olan bir kübün bütün köşelerine özdeş Q yükleri konulmuştur. Tüm köşelere konulan bu 8 yükün oraya konulması için gerekli işi hesaplayınız.

C . Yol gösterme : kübün 6 yüzü ve 12 kenarı bulunmaktadır. Buna göre 12 kenardaki yükler birbirlerinden a uzaklıkta ve 12 adet yüz köşegeninde bulunan yüklerde birbirlerinden $\sqrt{2}$ a uzaktadırlar .Ayrıca dört adet köşegen çiftide birbirlerinden $\sqrt{3}$ a uzaklığında bulunurlar. Bu uzaklıkları yüklerin potansiyel enerjisini veren ifadeye yerine ileterek gerekli işi hesaplarız. Bu iş değeri $W = 22,8 k \cdot Q^2 / a$ olacaktır.

21) Van de Graff jeneratörünün , 15 0 Mev enerjide 120 μ A 'lik proton ışınımı oluşturabilmesi için ona verilmesi gerekli olan gücü hesaplayınız.

Yol gösterme : $I = \Delta Q / \Delta t$ 'den yararlanarak Δt ' yi bulup oradan gücü hesaplayınız.

C . 1200 W.

22) Yüklü bir iletken kürenin biraz dışında eelktriksel potansiyel değeri 400 V ve onun merkezinden 20 cm uzaklıktada 300 V 'dur. Küre yarıçapını ve üzerindeki yük değerini hesaplayınız.

C. 0,60 m ve $26,7 \cdot 10^{-9}$ C.

23) Kenar uzunluğu 2 m olan bir kübün yedi köşesinde $-2 \cdot 10^{-6}$ C 'luk yükler bulunmaktadır. Kübün boş köşesindeki elektrik potansiyeli hesaplayınız.

C . $-5,13 \cdot 10^4$ V.

24) Herbiri $-Q$ değerinde yüklü, σ_0 yük yoğunluğuna sahip yüzey elektrik alan değerleri E_0 ve elektrik potansiyelleri V_0 olan küresel yapıları özdeş iki yağmur tanesi çarpışarak daha büyük boyutlu küresel yapı bir yağmur tanesi oluşturuyor. Bu büyük damlanın yüzeysel yük yoğunluğunu, elektrik alan değerini ve elektriksel potansiyel değerlerini ilk damlalara ait veriler cinsinden hesaplayınız.

C . $\sigma = 1,26 \sigma_0$, $E = 1,26 E_0$, $V = 1,59 V_0$.

25) Birinin yarıçapı 6 cm. diğ erinin yarıçapı 4 cm. olan iki iletken yüklü küre uzun bir iletken telle birbirlerine bağlanmışlardır. Bu bağlama sonunda küreler üzerindeki toplam yük $+20 \cdot 10^{-6}$ C. dur. Her bir küre yüzeyi yakınındaki elektrik alanı ve kürelerin elektriksel potansiyeli hesaplayınız.

C . $E_4 = 4,5 \cdot 10^7$ V/m, $E_6 = 3 \cdot 10^7$ V/m, $V_4 = V_6 = 1,8 \cdot 10^6$ V.

26) Uzun kenarı yatay ve kenarları 6 ve 3 cm. olan bir dikdörtgenin sol üst köşesinde $8 \cdot 10^{-6}$ C.'luk yük, sağ alt köşesinde $2 \cdot 10^{-6}$ C. 'luk yük ve sol ve sağ üst köşelerinde $4 \cdot 10^{-6}$ C.'luk yükler bulunmaktadır. İki $4 \cdot 10^{-6}$ C.'luk yükün yerlerinden ayrılarak sonsuza götürülmesi için gerekli işi hesaplayınız.

C . 20,1 J.