Elektrik potansiyel

Elektrik potansiyel enerji

- Önceki çalışmalardan, potansiyel ve kinetik enerji

  - a noktasından b noktasına hareket eden bir parçacık üzerindeki kuvveti düşünelim, Kuvvetin yaptığı iş $W_{a\text{->}b}$ aşağıdaki gibi verilir:

$$W_{a\to b} = \int_a^b \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = \int_a^b F\cos\phi\, d\ell$$

$d\vec{\lambda}$: Parçacığın yolu boyunca çok küçük bir yerdeğiştirme

ϕ : Yol boyunca herbir noktada $d\vec{\lambda}$ ve $\vec{F}$ arasındaki açı

- Kuvvet korunumlu ise, yani kuvvet tarafından yapılan iş sadece parçacığın ilk ve son konumlarına bağlı fakat parçacığın yolu boyunca alınan yola bağlı değilse , F kuvveti tarafından yapılan iş her zaman U potansiyel enerjinin terimleri ile ifade edilebilir.

Elektrik potansiyel enerji

- Önceki çalışmalardan, potansiyel ve kinetik enerji
  - Korunumlu kuvvet durumunda, kuvvet tarafından yapılan iş U potansiyel enerji terimleriyle ifade edilir:

$$W_{a\to b} = U_a - U_b = -(U_b - U_a) = -\Delta U$$

$$U_i : \text{the potential energy at point } i$$

  - Her bir yer değişimi sırasında ΔK kinetik enerji değişimi parçacık üzerine yapılan toplam işe eşittir:

$$W_{a\to b} = \Delta K \equiv K_b - K_a$$

  - Kuvvet korunumlu ise,

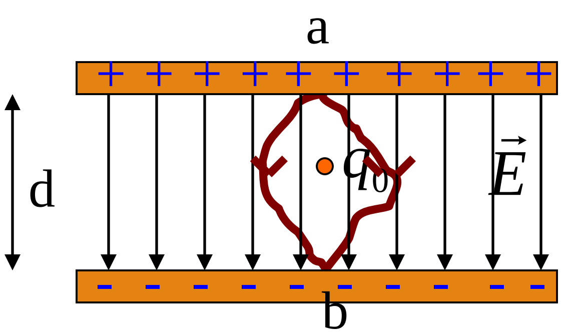
$$W_{a\to b} = \Delta K \equiv K_b - K_a = -\Delta U = -(U_b - U_a)$$

$$\to K_a + U_a = K_b + U_b$$

Elektrik Potansiyel Enerji

❑ Düzgün bir alan içinde Elektrik potansiyel enerji

•Aşağı doğru düzgün bir elektrik alan oluşturan yüklü paralel plaka çifti ve $q_0 > 0$ olan deneme yükü düşünelim.



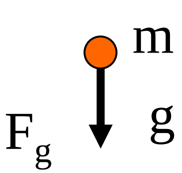
$F = q_0 E$; Deneme yükü konumuna bağlı değildir.

$$W_{a\to b} = Fd = q_0 E d > 0$$

Korunumlu kuvvet

Kuvvet deneme yükünün net yer değiştirmesi ile aynı yöndedir

• Genellikle kuvvet vektör olarak alınır:



$$\vec{F} = (F_x, F_y, F_z)\,;\, F_y = -q_0 E, F_x = F_z = 0$$

Bu kuvvet yerçekimi kuvveti ile benzerdir:

$$\vec{F}_g = (F_{g,x}, F_{g,y}, F_{g,z})\,;\, F_{g,y} = -mg, F_{g,x} = F_{g,z} = 0$$

❑ Düzgün alan içinde Elektrik potansiyel enerji

•Yerçekimi kuvveti ile kurulan analojide, potansiyel şu şekilde bulunabilir:

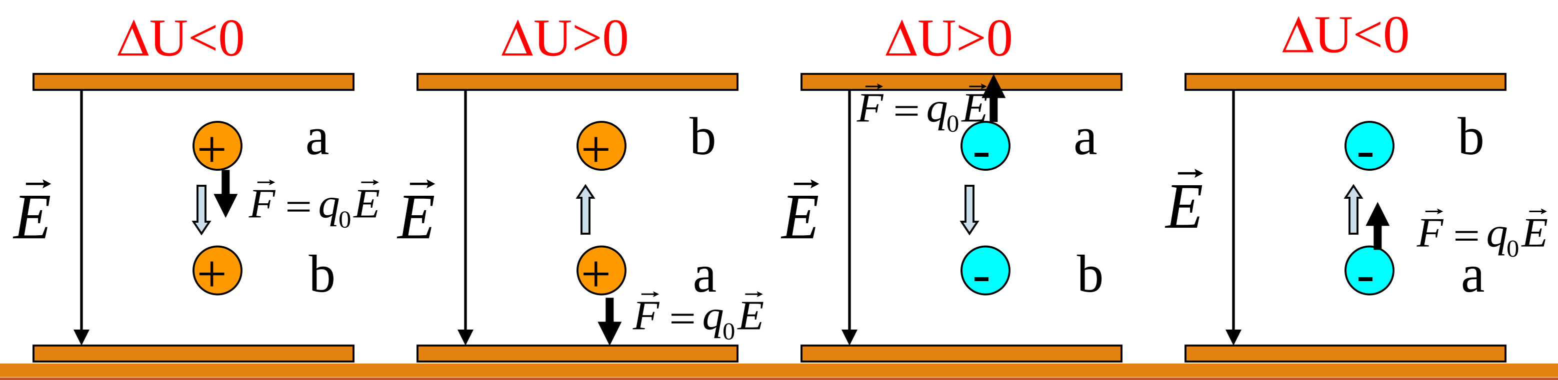
$$U = q_0 E y \quad (c.f.\, U_g = mgy)$$

• Deneme yükü y_a yüksekliğinden y_b yüksekliğine taşındığında , yük üzerinde alan tarafından yapılan iş

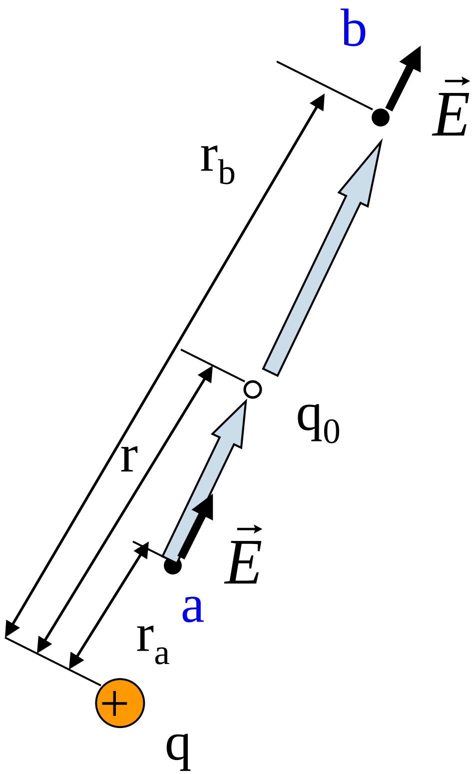
$$W_{a\to b} = -\Delta U = -(U_b - U_a) = -(q_0 E y_b - q_0 E y_a) = q_0 E (y_a - y_b)$$

Şayet $y_a > y_b, \Delta U < 0$ ve potansiyel azalır.

• Deneme yükü elektrik kuvvete zıt yönde(aynı yönde) hareket ederse U artar(azalır)



❑İki nokta yükün elektrik potansiyel enerjisi



- r uzaklığındaki deneme yükü üzerindeki kuvvet

$$F_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}$$

$qq_0 > 0$ İtici

$qq_0 < 0$ Çekici

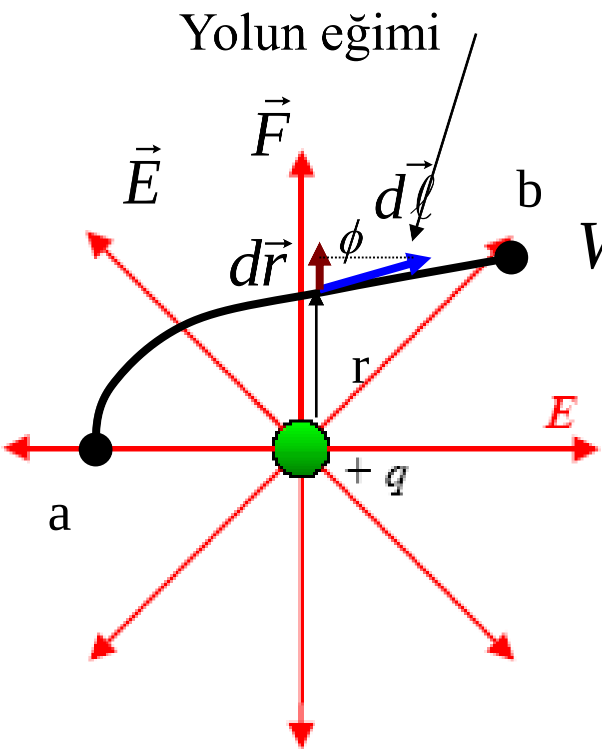
- Deneme yükü üzerinde yapılan iş

$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} F_r dr = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2} dr = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

Elektrik potansiyel enerji

❑İki nokta yükün elektrik potansiyel enerjisi

- Daha genel durumda



$$W_{a\to b} = \int_{r_a}^{r_b} \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = \int_{r_a}^{r_b} F \underbrace{\cos\phi\, d\ell}_{dr} = \int_{r_a}^{r_b} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\,dr$$

$$= \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right) = U_a - U_b$$

$$\boxed{U \equiv \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r}}$$

Elektrik potansiyelin doğal ve uygun ifadesi

Elektrik potansiyel enerji

❑ İki nokta yükün elektrik potansiyel enerjisi

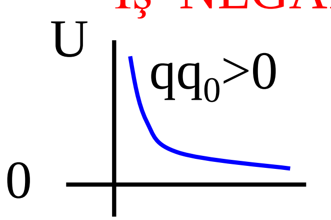
•Elektrik potansiyel enerji ifadesi

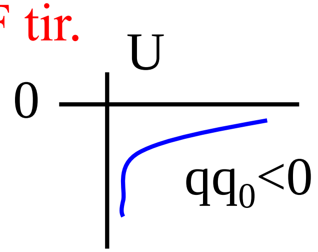
$$\boxed{U \equiv \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r}}$$

•Elektrik potansiyel enerjinin referans noktası

Potansiyel enerji her zaman U=0 olduğu referans noktasına bağlı olarak ifade edilir. R sonsuza gittiğinde, U sıfıra gider.Bu yüzden $r=\infty$ referans noktasıdır. Bunun anlamı U ,deneme yükünü başlangıç uzaklığı r den sonsuza hareket ettirmek için yapılan iş olarak tasvir edilir.

Şayet q ve q_0 aynı işarete sahipse, bu iş POZİTİF ; değilse İş NEGATİF tir.





Elektrik Potansiyel Enerji

- Birçok nokta yükle elektrik potansiyel enerji

•Deneme yükü bir çok parçacığın elektrik alanı içine yerleştirilir.

$$U = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots\right) = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

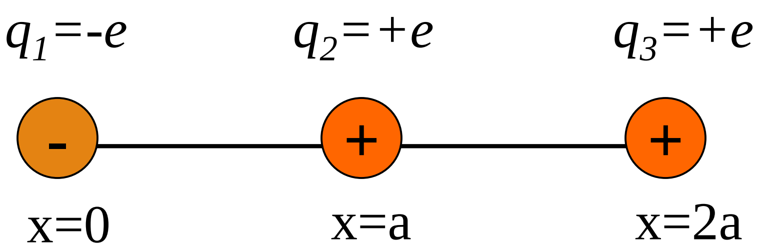
r_i : i inci yük ve deneme yükü arasındaki uzaklık

- Konfigürasyondaki parçacıkların elektrik potansiyel enerjileri toplamı

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i<j} \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

r_{ij} : i ve j yükleri arası uzaklık

❑Örnek 23.2: Nokta yükler sistemi



$$W = U = \frac{q_3}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_{13}} + \frac{q_2}{r_{23}}\right) = \frac{+e}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-e}{2a} + \frac{+e}{a}\right) = \frac{+e^2}{8\pi\varepsilon_0 a}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i<j}\frac{q_i q_j}{r_{ij}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{(-e)(e)}{a} + \frac{(-e)(e)}{2a} + \frac{(e)(e)}{a}\right) = \frac{-e}{8\pi\varepsilon_0 a}$$

Elektrik potansiyel enerji

❑ Elektrik potansiyel enerjinin iki açıklaması

- Alan içinde hareket eden yüklü parçacık üzerinde elektrik alan bir iş yapar.

Parçacık a dan b ye hareket ettiğinde elektrik kuvvet tarafından yapılan iş

$$W_{a\to b}^{electric} = U_a - U_b \; ; \quad \text{yerdeğiştirme} \quad d\vec{r}_{ab}$$

- Yüklü bir parçacığı yavaş bir şekilde başlangıç konumundan son konuma hareket ettirmek için elektrik kuvvete zıt bir dış kuvvet tarafından bir iş yapılması gerekir.

Parçacık b den a ya hareket ederken dış kuvvet tarafından yapılan iş

$$\vec{F}_{ext} = -\vec{F}_{electric} \; ; \text{Yerdeğiştirme} \quad d\vec{r}_{ba} = -d\vec{r}_{ab}$$

$$W_{b\to a}^{ext} = U_a - U_b$$

- Elektrik potansiyel veya potansiyel
  - Elektrik potansiyel V birim yük başına potansiyel enerjidir.

$$V = \frac{U}{q_0} \text{ or } U = q_0 V$$

1 V = 1 volt = 1 J/C = 1 joule/coulomb

$$W_{a\to b} = U_a - U_b = q_0 (V_a - V_b) \equiv q_0 V_{ab}$$

a ile b arasındaki potansiyel

Birim yük a dan b ye hareket ettiğinde elektrik kuvvet tarafından iş yapılır.

Birim yükü b den a ya yavaş bir şekilde hareket ettirmek için elektrik kuvvete karşı bir iş yapılması gerekir.

- Elektrik potansiyel veya potansiyel

•Tek bir nokta yükten dolayı elektrik potansiyel;

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

• Nokta yükler yığınından dolayı elektrik potansiyel;

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

• Sürekli yük dağılımından dolayı elektrik potansiyel;

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r}$$

Elektrik potansiyel

- E den V ye

•Çoğu zaman bilinen bir elektrik alandan potansiyeli hesaplamak daha kolaydır.

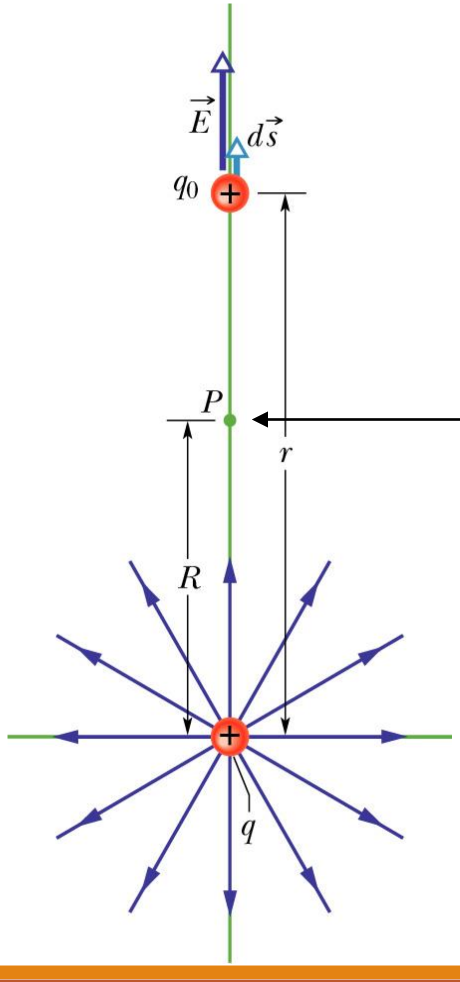
$$W_{a\to b} = \int_a^b \vec{F}\cdot d\vec{\ell} = \int_a^b q_0 \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = \int_a^b E\cos\phi\, d\ell$$

$$V_a - V_b = -\int_b^a \vec{E}\cdot d\vec{\ell}$$

Elektrik alan birimi şu şekilde ifade edilir:
1 V/m = 1 volt/meter = 1 N/C = 1 Newton / Coulomb

❑Örnekler 23.6:



$$V_f - V_i = -\int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s} \qquad E = \frac{kq}{r^2}$$

$$V_f - V_i = -\int_R^\infty E \cdot dr = -kq \int \frac{1}{r^2} dr = kq \frac{1}{r} \Big|_R^\infty$$

$$0 - V_i = -k\frac{q}{R}$$

$$V = \frac{kq}{R}$$

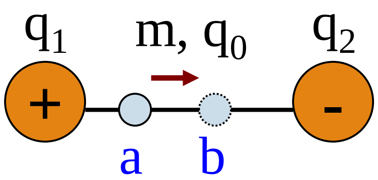
$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

R r ile yer değiştirmiştir

$$\boxed{V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}}$$

Elektrik Potansiyel

❑Örnekler 23.7:



= 0

Enerji Korunumundan $\rightarrow K_a + U_a = K_b + U_b$

$$K = \frac{1}{2} m\upsilon^2 \,, U = qV$$

$$0 + q_0 V_a = \frac{1}{2} m\upsilon^2 + q_0 V_b$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2q_0(V_a - V_b)}{m}}$$

- Birim: Elektron volt (atomik ve nükleer fizikte kullanışlı)

  - Potansiyeli V_a olan noktadan V_b olan noktaya hareket eden q yüklü parçacığı düşünelim, yükün potansiyel enerjisi:

$$U_a - U_b = q(V_a - V_b) = qV_{ab}$$

  - Şayet q yükü e yükü ile eşit büyüklüğe sahipse (1.602×10^{-19} C) ve potansiyel fark V_{ab}= 1 V ise, yükün enerjisi:

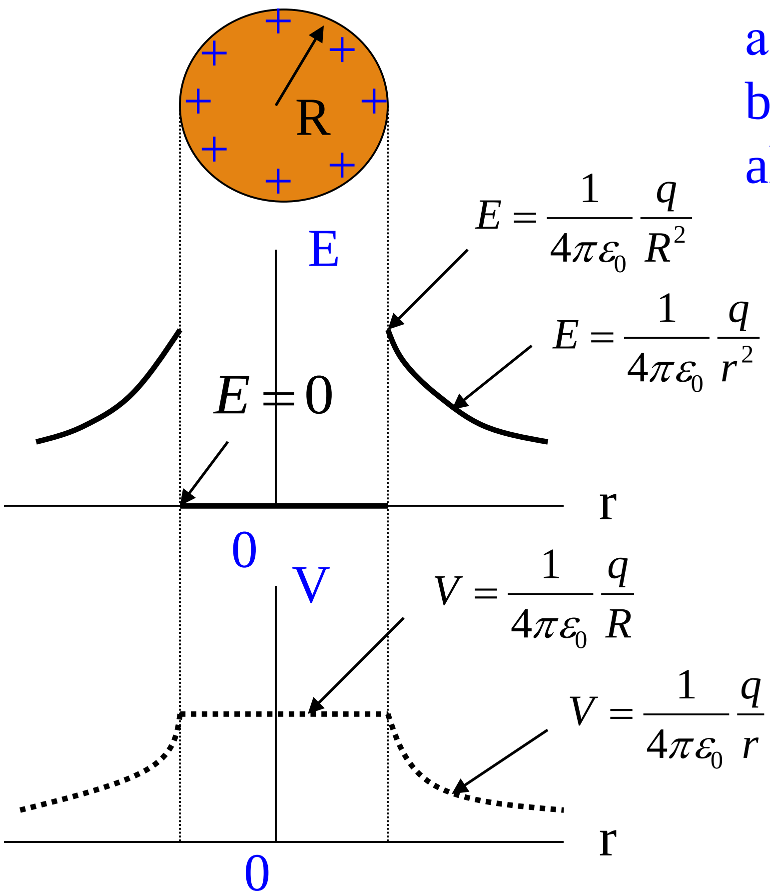
$$U_a - U_b = (1.602\times10^{-19}\,\mathrm{C})(1\,\mathrm{V}) = 1.602\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$
$$\equiv 1\,\mathrm{eV}$$

meV, keV, MeV, GeV, TeV,…

Elektrik potansiyelin hesaplanması

- Örnek 23.8: Yüklü iletken bir küre

Gauss kanununu kullanarak örnek 22.5 deki elektrik alanı hesaplarız.Şimdi potansiyeli hesaplamak için bu sonucu kullanabiliriz ve sonsuzda V=0 alabiliriz.



$$R < r : V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

Nokta yükün potansiyeline benzer olarak

$$R = r : V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}$$

$$R > r : V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R}$$

İletken içinde E sıfırdır. Bu yüzden potansiyel sabit kalır ve yüzeydeki kadardır

Eş potansiyel yüzey

❑ Eş potansiyel yüzey

- Bir eş potansiyel yüzey, elektrik potansiyeli her noktada aynı olan 3-d yüzeydir.

- İki farklı potansiyelde olan nokta yoktur, bunun için farklı potansiyeller için Eş potansiyel yüzeyler hiçbir zaman kesişmez.

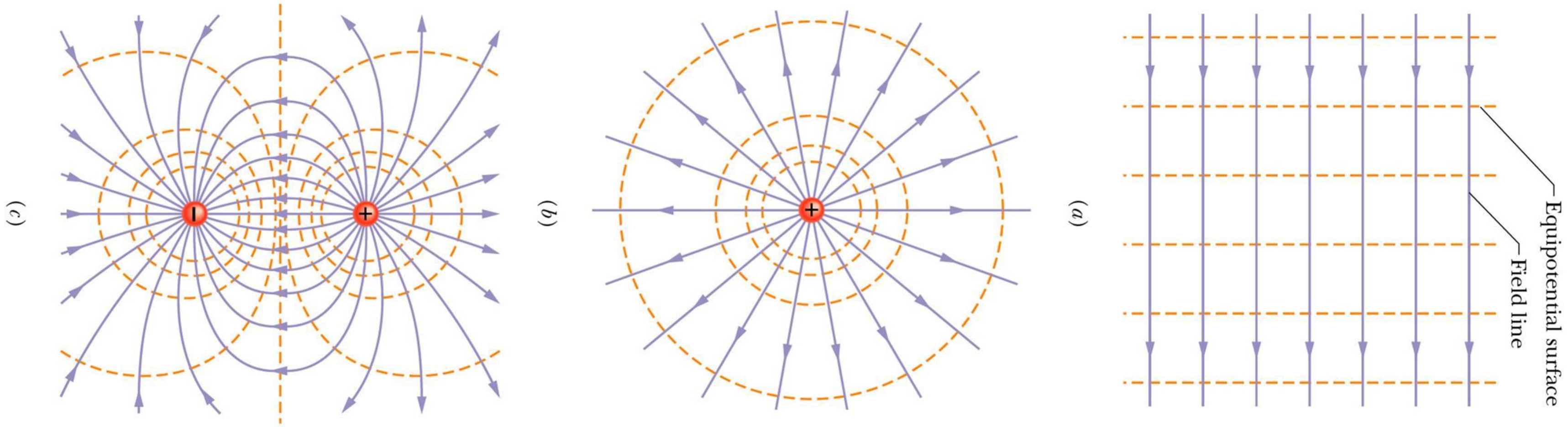
- Bir eş potansiyel yüzey boyunca hareket eden deneme yükü için potansiyel enerji değişmediğinden,elektrik alan iş yapmaz.

- $\vec{E}$ her noktada yüzeye diktir.

- Alan çizgileri ve eş potansiyel yüzeyler her zaman karşılıklı olarak diktir.

Eş potansiyel yüzey

- Eş potansiyel yüzey örnekleri

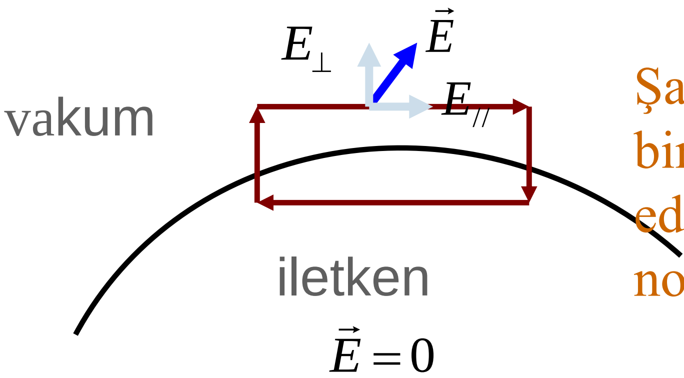


Eş potansiyel yüzey

- Eş potansiyeller ve iletkenler

•İletken içinde her yerde $\vec{E} = 0$

- İletken içinde herhangi bir noktada E nin yüzeye teğet bileşeni sıfırdır.
- Aynı zamanda E nin teğetsel bileşeni yüzey dışındada sıfırdır.



Şayet böyle olmasaydı, bir yük dikdörtgen yol etrafında bir kısmı içerde bir kısmı dışarda olacak şekilde hareket ederdi üzerine yapılan net bir iş miktarıyla başladığı noktaya geri dönerdi.

•Bütün yükler hareketsiz olduğunda, iletken dışındaki elektrik alan her noktada yüzeye dik olmalıdır.

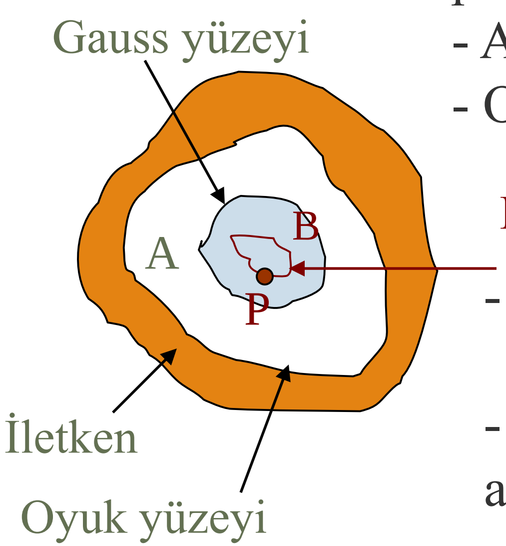
• Bütün yükler hareketsiz olduğunda, iletkenin yüzeyi her zaman eş potansiyel yüzeydir.

Eş potansiyel yüzey

❑ Eş potansiyeller ve iletkenler

•İçerisinde herhangi bir yük olmayan oyuklu iletkeni düşünelim

- İletken oyuk yüzeyi eş potansiyel bir A yüzeyidir.
- Farklı potansiyelde oyuk içinde bir P noktası alalım ve bu B potansiyelinden farklı potansiyelde olsun
- Alan yüzey B den A ya ya da A dan B ye ilerler.
- Oyuk içindeki B yüzeyini çevreleyen bir gauss yüzeyi çizilir.



- Bu gauss yüzeyinden geçen net akı sıfır değildir çünkü elektrik alan yüzeye diktir.
- Gauss kanunu içerisinde herhangi bir yük olmadığından bu akının, sıfır olduğunu söyler.
- Bundan A ve B potansiyelleri aynı potansiyeldedir.

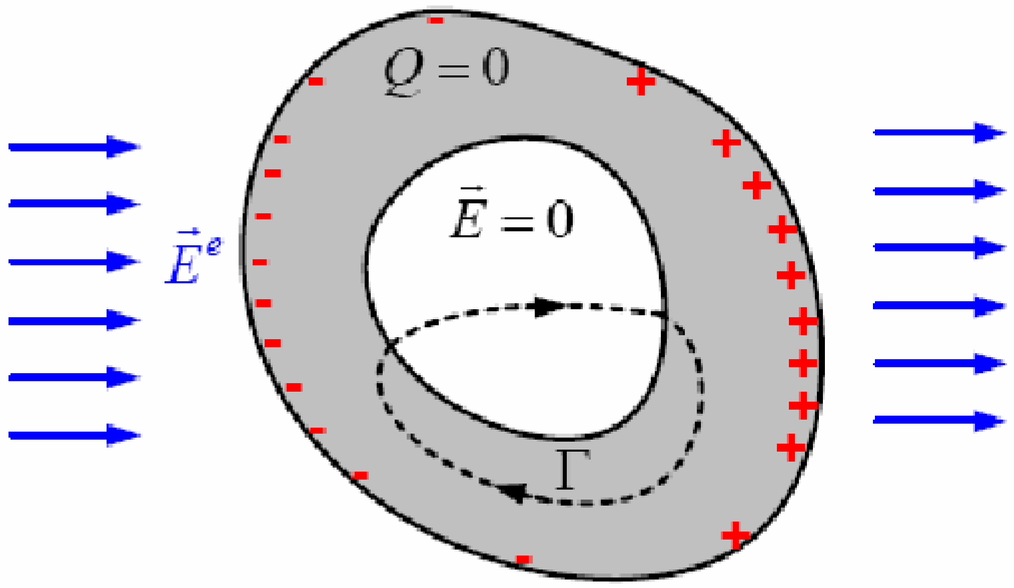
• Elektrostatik konumda, şayet bir iletken bir oyuk içeriyorsa ve oyuk içerisinde yük mevcut değilse, oyuk yüzeyi üzerinde herhangi bir yerde net yük olmayabilir.

Eş potansiyel yüzey

- Elektrostatik Ekranlama

İçerisinde hiç serbest yük (kaynak) olmayan bir iletkenin oyuğundaki alan sıfırdır.

Dış yüzeyde sıfır net yüklü iletken kabuk:



Potansiyel gradyent

- Potansiyel gradyent
  - Potansiyel fark ve elektrik alan

$$V_a - V_b = \int_a^b dV = -\int_b^a dV$$

  - Potansiyel fark ve elektrik alan

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\Rightarrow$$

$$-\int_a^b dV = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\vec{E} = E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k}$$

$$d\vec{\ell} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$$

$$\Rightarrow$$

$$-dV = \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = E_x dx + E_y dy + E_z dz$$

Potansiyel gradyent

$$\frac{\partial f}{\partial x}=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{f(x+\Delta x)-f(x)}{\Delta x}\ldots$$

- Potansiyel gradyent(cont'd)

• V den E

$$E_x=-\frac{\partial V}{\partial x}\quad E_y=-\frac{\partial V}{\partial y}\quad E_z=-\frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\vec{E}=-\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{i}+\frac{\partial V}{\partial y}\hat{j}+\frac{\partial V}{\partial z}\hat{k}\right)$$

•Fonksiyon f nin gradyenti

$$\vec{\nabla}f\equiv\left(\hat{i}\frac{\partial}{\partial x}+\hat{j}\frac{\partial}{\partial y}+\hat{k}\frac{\partial}{\partial z}\right)f$$

$$\boxed{\vec{E}=-\vec{\nabla}V}$$

Nokta yada eksende E radyalsa

$$\boxed{E_r=-\frac{\partial V}{\partial r}}$$

- Potansiyel gradyent

Şayet $V = 3xy^2 - 2yz$ E nin bileşenleri bulunur.

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x}\left(3xy^2 - 2yz\right) = -\frac{\partial}{\partial x}\left(3xy^2\right) = -3y^2$$

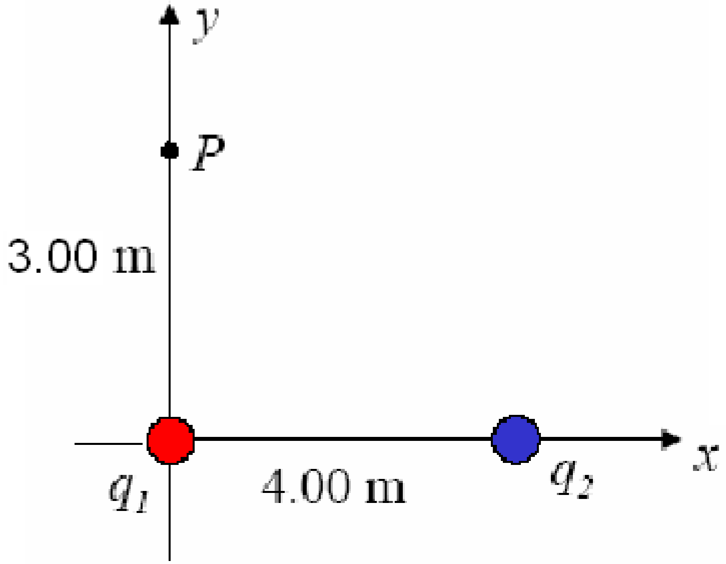
$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial y}\left(3xy^2 - 2yz\right) = -\left(6xy - 2z\right)$$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z}\left(3xy^2 - 2yz\right) = -\frac{\partial}{\partial z}\left(-2yz\right) = 2y$$

Alıştırmalar

❑Alıştırma 1

1.00 μC luk nokta yük orjine yerleşmiştir ve - 4.00 μC 2.nokta yük (4.00,0)m noktasında x eksenine yerleşmiştir.Bu yüklerden dolayı P noktasındaki toplam elektrik potansiyeli bulun.P noktasının koordinat ları (3.00,0)m dir.



$$V_P = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i} = k_e \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right)$$

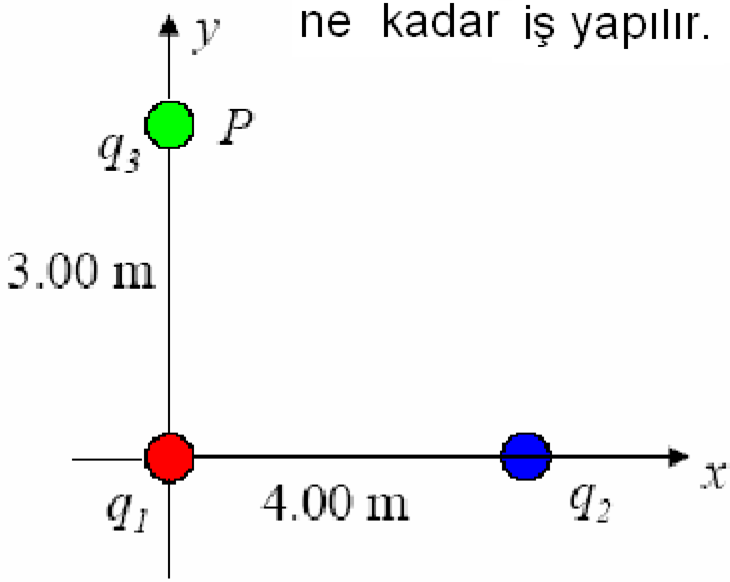
$$= 8.99 \times 10^9 \left(\frac{1.00 \times 10^{-6}}{3.00} + \frac{-4.00 \times 10^{-6}}{5.00} \right)$$

$$= -4.20 \times 10^3 \text{ V}$$

Alıştırmalar

- Alıştırma1

3.00 μC luk bir nokta yükü sonsuzdan P noktasına taşımak için ne kadar iş yapılır.

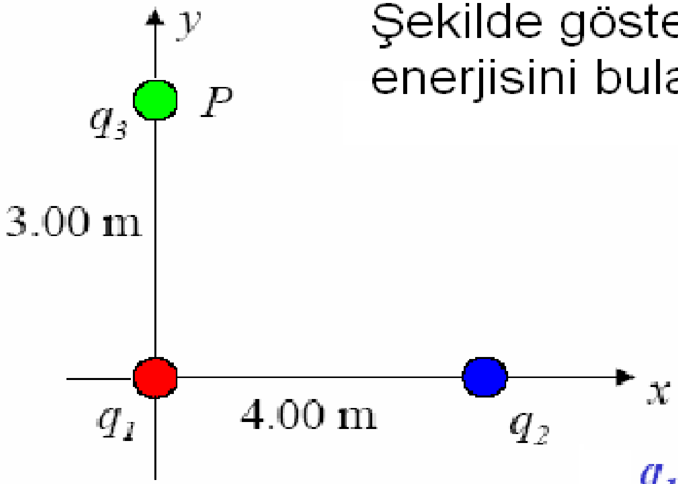


$$W = q_3 V_P$$
$$= \left(3.00\times10^{-6}\right)\left(-4.20\times10^{3}\right)$$
$$= -12.6\times10^{-3}\ \mathrm{J}$$

Negatif işaret yük sonsuzdan P ye götürülürken alan tarafından iş yapıldığını gösterir.Böylece,pozitif iş yükü sonsuza geri götürmek için bir dış etmen tarafından yapılan iş olmalıdır

Alıştırmalar

- Alıştırma 1



Şekilde gösterilen üç yüklü sistemin toplam potansiyel enerjisini bulalım.

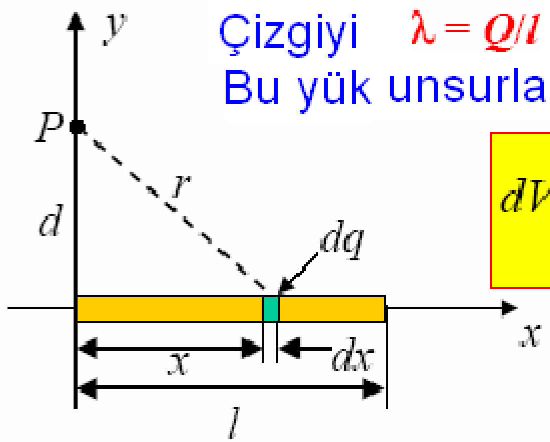
$$U = k_e \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

$q_1 = 1.00\ \mu C$, $q_2 = -4.00\ \mu C$, $q_3 = 3.00\ \mu C$,
ve $r_{12} = 4.00$ m, $r_{13} = 3.00$ m, $r_{23} = 5.00$ m.

$U = -2.16 \times 10^{-2}$ J

❑Alıştırma 2

x ekseni boyunca yerleşmiş l uzunluklu bir çubuk λ birim uzunluk başına düzgün yüke ve Q toplam yüküne sahiptir. y exseni boyunca orjinden d uzaklıkta P noktasındaki elektrik alanı bulalım.



Çizgiyi $\lambda = Q/l$ olduğu $dq = \lambda dx$ yük unsurlarına bölelim. Bu yük unsurları için dV potansiyelini yazarsak:

$$dV = k_e \frac{dq}{r} = k_e \frac{\lambda\, dx}{\sqrt{x^2 + d^2}}$$

Şimdi telin uzunluğu boyunca integral alalım:

$$V = k_e \int_0^l \frac{\lambda\, dx}{\sqrt{x^2 + d^2}} = \frac{k_e Q}{l} \int_0^l \frac{dx}{\sqrt{x^2 + d^2}}$$

fakat tablodan

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + d^2}} = \ln\left(x + \sqrt{x^2 + d^2}\right)$$

buradan :

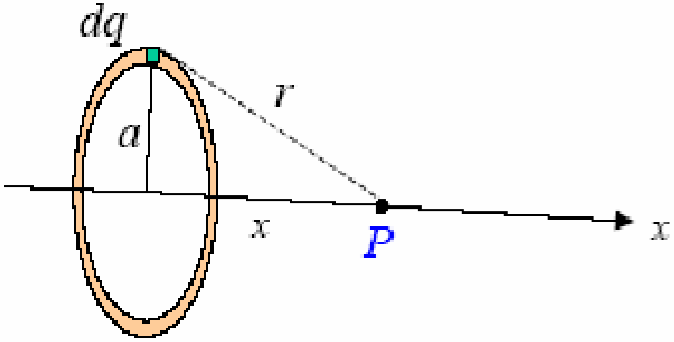
$$V = \frac{k_e Q}{l} \ln\left(\frac{l + \sqrt{l^2 + d^2}}{d}\right)$$

Alıştırmalar

❑Alıştırma 3

Yarıçapı a ve toplam yükü Q olan düzgün yüklü halkanın ekseni üzerine yerleşmiş P noktasındaki elektriksel potansiyeli bulalım.

Halka düzlemi x eksenine diktir.



$$r = \sqrt{x^2 + a^2} \quad \text{so}$$

$$V = k_e \int \frac{dq}{r} = k_e \int \frac{dq}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

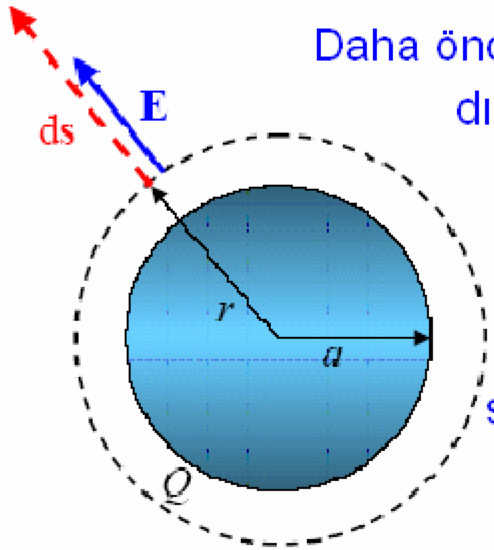
Halka üzerindeki her yük unsuru P den aynı uzaklıktadır.

$$V = \frac{k_e}{\sqrt{x^2 + a^2}} \int dq = \frac{k_e Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

Alıştırmalar

❑Alıştırma 4

a yarıçaplı yalıtkan bir küre toplam Q yüküne ve düzgün bir pozitif yük yoğunluğuna sahiptir. Küre dışındaki bir noktada elektrik potansiyeli bulalım.



Daha önceden (Gauss kanununu kullanarak) radyal olarak dışa doğru alan büyüklüğünü bulmuştuk.

$$\boxed{E = k_e \frac{Q}{r^2} \quad \text{for} \quad r > a}$$

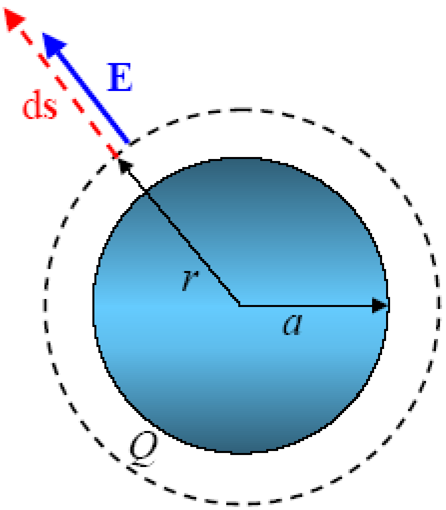
Bir dış noktadaki potansiyeli elde etmek için sonsuzdaki potansiyeli sıfır alıp hesaplama yapacağız

$$V(\infty) - V(r) = -\int_r^{\infty} \vec{E} \cdot d\,\vec{s}$$

$$V(r) = \int_r^{\infty} \vec{E} \cdot d\,\vec{s}$$

Alıştırmalar

❑Alıştırma 4



$$d\vec{s} = \hat{r}\,dr \;;\; \vec{E} = \frac{k_e Q}{r^2}\hat{r} \;;\; \vec{E}\cdot d\vec{s} = \frac{k_e Q}{r^2}dr$$

$$V(r) = \int_r^{\infty} \vec{E}\cdot d\vec{s} = k_e Q \int_r^{\infty} \frac{dr}{r^2} = -\left.\frac{k_e Q}{r}\right|_r^{\infty}$$

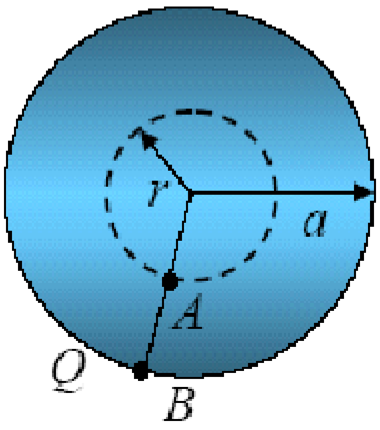
$$V(r) = k_e \frac{Q}{r}$$

Küre yüzeyinde $r = a$, ve

$$\boxed{V(a) = k_e \frac{Q}{a}}$$

Alıştırmalar

- Alıştırma 5



Küre içinde bir noktadaki Elektrik potansiyel: $r < a$.

Gauss kanununu kullanarak küre içerisinde elektrik alanın bir büyüklüğe sahip olduğunu görürüz.

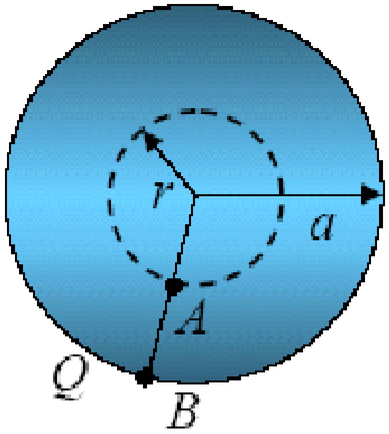
$$E = \frac{k_e Q}{a^3} r \quad \text{for} \quad r < a$$

A kürenin içinde B küre yüzeyinde olmak üzere $V_B - V_A$ potansiyel farkı hesaplanabilir.Alan radyaldır.Bu yüzden :

$$V_B - V_A = -\int_A^B E_r\, dr = -\frac{k_e Q}{a^3} \int_r^a r\, dr = -\frac{k_e Q}{2a^3}\left(a^2 - r^2\right)$$ dir.

Alıştırmalar

- Alıştırma 5



$$V_B - V_A = -\int_A^B E_r\,dr = -\frac{k_e Q}{a^3}\int_r^a r\,dr = -\frac{k_e Q}{2a^3}\left(a^2 - r^2\right)$$

Küre yüzeyindeki potansiyel için , V_B :

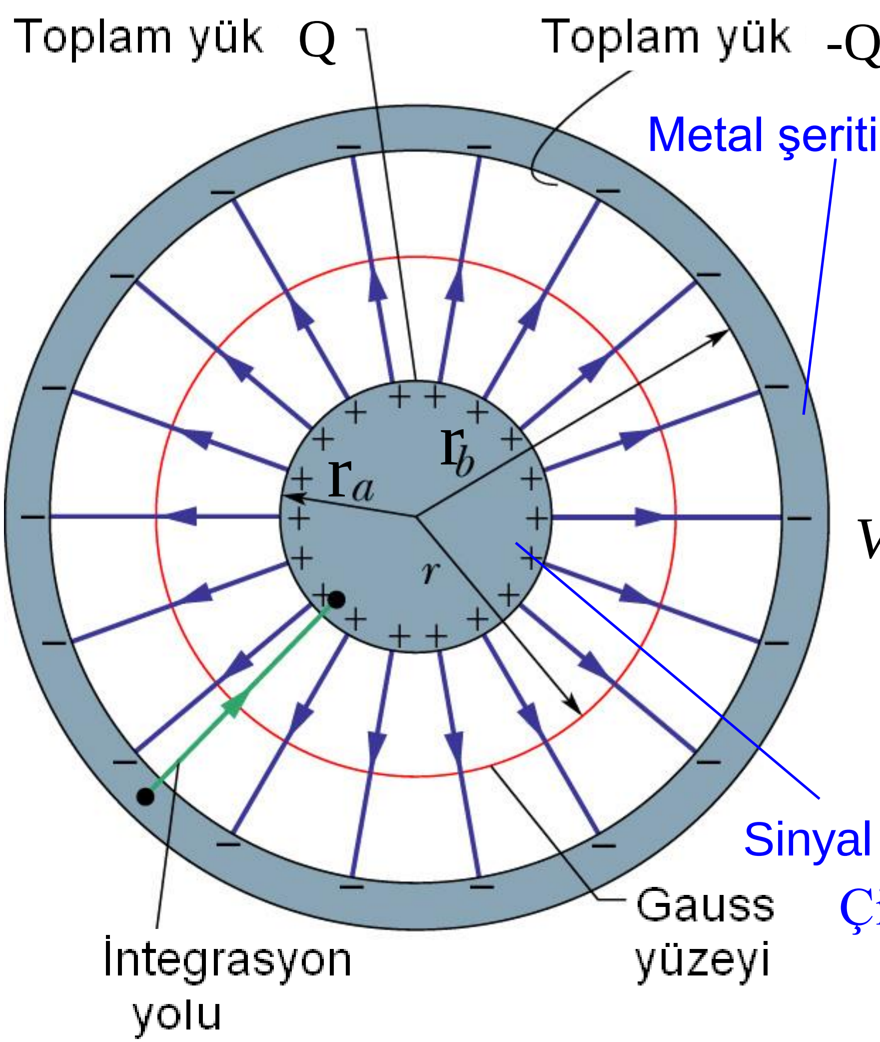
$$V_B = V(a) = k_e\frac{Q}{a}$$

Üst ifadede bu sonucu yerine koyarsak

$$V_A = V(r) = \frac{k_e Q}{2a}\left(3 - \frac{r^2}{a^2}\right) \quad \text{for } r < a$$ buluruz.

Alıştırmalar

- Alıştırma 5: Sonsuz bir çizgi yük ve iletken silindir



$\vec{E}$ yarıçap doğrultusundadır.

$$E_r = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda}{r}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = \int_a^b E_r dr = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\int_a^b \frac{dr}{r}$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_b}{r_a}$$