

1 16. ELEKTRİK POTANSİYEL

- 16.1 Elektrik Potansiyel
- 16.2 Noktasal Yük Dağılımlarının Potansiyeli
- 16.3 Sürekli Yük Dağılımlarının Potansiyeli
- 16.4 İletkenler ve Eşpotansiyel Yüzeyler

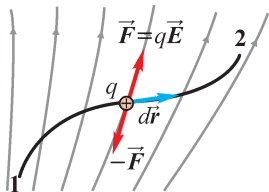


Daha iyi sonuç almak için, Adobe Reader programını **Tam Ekran** modunda çalıştırınız.
Sayfa çevirmek/Aşağısını görmek için, farenin sol/sağ tuşlarını veya PageUp/PageDown tuşlarını kullanınız.

16.1 ELEKTRİK POTANSİYEL

Hatırlatma: Korunumlu kuvvete *karşı* yapılan iş, iki nokta arasındaki potansiyel enerji farkına eşit oluyordu:

$$-\int_1^2 \vec{F}_{\text{kor}} \cdot d\vec{r} = U_2 - U_1$$



Bir q yüküne \vec{E} alanında etkiyen kuvvet:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

O halde, **elektrik potansiyel enerjisi** tanımı:

$$U_2 - U_1 = -q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{Elektrik potansiyel enerjisi})$$

Elektrik Potansiyel:

Gözlem: Elektrik potansiyel enerjisi hep q yükü ile orantılı. ▼

Birim yükün potansiyel enerjisine **elektrik potansiyel** denir:

$$V = \frac{U}{q} \quad (\text{elektrik potansiyel})$$

▼
Bunun tersi de doğrudur: Potansiyeli V olan bir noktaya konulan q yükünün sahip olacağı potansiyel enerji:

$$U = qV \quad ▼$$

İki nokta arasındaki potansiyel farkı:

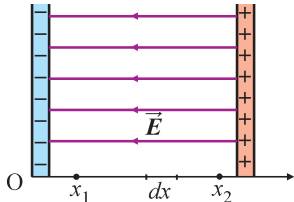
$$V_2 - V_1 = - \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{Elektrik potansiyel farkı})$$

- Potansiyel Birimi: $V = U/q$ tanımına göre:

$$1 \text{ joule/coulomb} = 1 \text{ volt} = 1 \text{ V} \quad \blacktriangledown$$

- Teknolojide potansiyel farkı yerine **gerilim** ve **voltaj** terimleri de kullanılır. \blacktriangledown
- **Artı yüklere yaklaşıırken potansiyel artar, eksi yüklere yaklaşıırken azalır.** \blacktriangledown
- **Elektrik alan çizgileri yönünde gidildiğinde potansiyel azalır.** \blacktriangledown
- Potansiyel skaler nicelik olduğundan, elektrik alana göre, çalışması daha kolaydır.

Sabit Elektrik Alanın Potansiyeli



Hatırlatma:

$\pm\sigma$ yüzey yük yoğunluğu taşıyan iki düzlem levha arasında sabit elektrik alan oluşur. ▼

İki levhayı, elektrik alan $-x$ yönünde olacak şekilde yerleştirelim.

x_1 konumuyla x_2 konumu arasındaki potansiyel farkı:

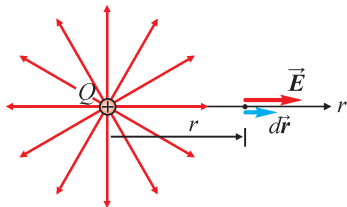
$$V(x_2) - V(x_1) = - \int_{x_1}^{x_2} (-E) dx = -E \int_{x_1}^{x_2} dx = E(x_2 - x_1) \quad \blacktriangledown$$

Veya, $x_1 = 0$ orijindeki negatif levhayı sıfır potansiyelde seçersek:

$$V(x) = Ex \quad (\text{sabit elektrik alanın potansiyeli})$$

16.2 NOKTASAL YÜK DAĞILIMLARININ POTANSİYELİ

Bir Noktasal Yükün Potansiyeli ▼



Orijindeki bir Q yükünün elektrik alanı:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad \blacktriangledown$$

r_1 ve r_2 noktaları arasındaki potansiyel farkı (\vec{E} ile $d\vec{r}$ aynı yönde):

$$V(r_2) - V(r_1) = - \int_{r_1}^{r_2} E \, dr = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{kQ}{r^2} \, dr = -kQ \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_1}^{r_2} = kQ \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \quad \blacktriangledown$$

İntegrali $r_1 = \infty$ dan $r_2 = r$ noktasına kadar alırsak: $V(r) - V(\infty) = \frac{kQ}{r} \quad \blacktriangledown$

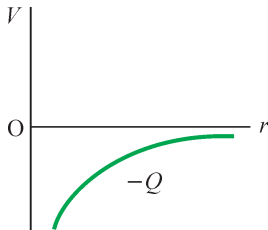
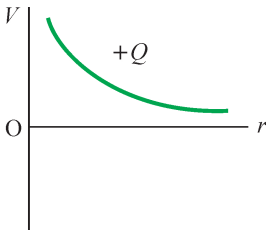
Potansiyelin referans noktası sonsuzda seçilirse ($V(\infty) = 0$):

$$V(r) = \frac{kQ}{r} \quad \text{(Noktasal yükün potansiyeli)}$$

- Potansiyelin diğer bir yorumu:

Bir noktanın potansiyeli, birim yükü sonsuzdan o noktaya getirmek için yapılan iş. ▼

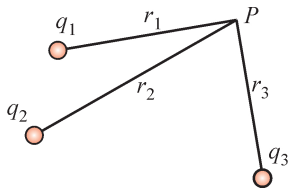
- + yükün potansiyeli pozitif, – yükün potansiyeli de negatif olur. ▼



- Pozitif yüke yaklaştıkça potansiyel artar, negatif yüke yaklaştıkça azalır.

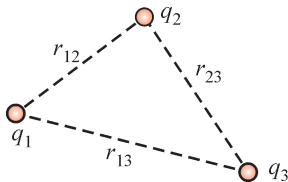
Çok Sayıda Noktasal Yükün Potansiyeli

Çok sayıda noktasal yükün bir P noktasındaki potansiyeli, her bir yükün potansiyelinin *cebirsel toplamı* olur:



$$V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} + \cdots + \frac{kq_N}{r_N} = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

Bir Yük Dağılımının Potansiyel Enerjisi:



Çok sayıda yükten oluşan bir sistemin potansiyel enerjisi ne kadardır? ▼

Cevap: Bu yükleri bu konumlara getirmek için yapılan iş kadardır. ▼

- Önce q_1 yükünü sonsuzdan alıp getiririz.

Bunun için bir iş yapmak gerekmez: $\longrightarrow U_1 = 0$ ▼

- Sonra, q_2 yükünü getiririz.

q_1 yükünün $V_1 = kq_1/r$ potansiyelinde,

r_{12} uzaklığına gelen q_2 yükünün potansiyel enerjisi ($U = qV$):

$$U_2 = q_2 V_1 = q_2 \frac{kq_1}{r_{12}} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

- Daha sonra q_3 yükünü getirelim.

Daha önce gelmiş olan (q_1, q_2) yüklerinin potansiyelini içinde, sahip olduğu enerji:

$$U_3 = q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right) = k \left(\frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right) \quad \blacktriangledown$$

- Sistemin toplam potansiyel enerjisi:

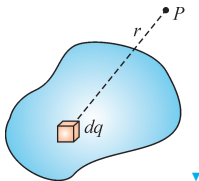
$$U_{\text{top}} = U_1 + U_2 + U_3 = k \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right) \quad \blacktriangledown$$

- N sayıda yük için genelleme:

$$U_{\text{top}} = k \sum_{i < j}^N \frac{q_i q_j}{r_{ij}}$$

16.3 SÜREKLİ YÜK DAĞILIMLARININ POTANSİYELİ

Bir hacim, yüzey veya eğri üzerine sürekli dağılmış yük.



Yüklü bölgede küçük bir dq yük elemanı.
Bunun toplam potansiyele dV katkısı:

$$dV = \frac{k dq}{r} \quad \blacktriangledown$$

Tüm yük dağılımının potansiyeli:

$$V = k \int \frac{dq}{r} \quad (\text{Sürekli dağılmış yükün potansiyeli} \quad \blacktriangledown)$$

dq elemanı, yük yoğunluğu cinsinden şöyle ifade edilir:

$$dq = \rho dV$$

$$dq = \sigma dA$$

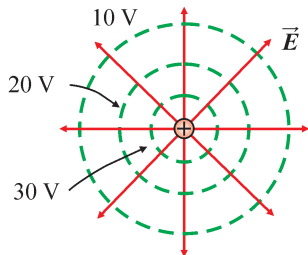
$$dq = \lambda dL \quad \blacktriangledown$$

Ayrıca, potansiyelin \vec{E} alanı cinsinden ifadesi de hesaplarda kullanılabilir:

$$V_2 - V_1 = - \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

16.4 İLETKENLER VE EŞPOTANSİYEL YÜZEYLER

Potansiyelin aynı değerde olduğu yüzeylere **eşpotansiyel yüzey** denir. ▼



Örnek: Orijindeki q yükünün potansiyeli:

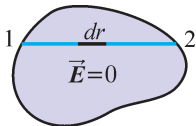
$$V = \frac{kq}{r} \quad \blacktriangledown$$

Noktasal yükün eşpotansiyel yüzeyleri: q yükünün merkezde bulunduğu küre yüzeyleri. ▼

Doğrusal telin eşpotansiyel yüzeyleri: Tel eksenli silindirik yüzeyler.

Eşpotansiyel yüzeylerin özellikleri:

- İletken yüzeyleri eşpotansiyel yüzeylerdir. ▼



İspat: Potansiyel farkı tanımı:

$$V_2 - V_1 = - \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

1 ve 2 noktaları iletken yüzeyinde olsun. ▼

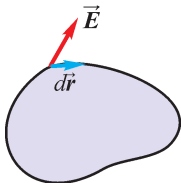
Potansiyel farkı gidilen yoldan bağımsızdır.

Gidilen yolu iletken içinde seçelim.

İletken içinde daima $\vec{E} = 0$ olduğundan, integralin sağ tarafı sıfır olur:

$$\vec{E} = 0 \implies V_2 = V_1$$

- Elektrik alan çizgileri daima eşpotansiyel yüzeylere dik olur. ▼



Eşpotansiyel yüzey üzerinde birbirine $d\vec{r}$ kadar çok yakın iki nokta seçelim.

Bu iki nokta aynı potansiyelde olacağından:

$$V_1 = V_2 \quad \Rightarrow \quad dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{E} \perp d\vec{r}$$

- **Elektrik alan ile potansiyel arasındaki ilişki.** ▼

V potansiyelli bir yüzeyden dik doğrultuda (yani, \vec{E} yönünde) küçük bir $d\vec{r}$ adımıyla, $V + dV$ olan diğer bir eşpotansiyel yüzeye varmış olalım.

\vec{E} ve $d\vec{r}$ vektörleri aynı yönde olduğundan,

$$(V + dV) - V = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \quad \longrightarrow \quad E = -\frac{dV}{dr} \quad \blacktriangledown$$

Eşpotansiyel yüzeye dik doğrultudaki potansiyel artış oranına **potansiyel gradyanı** denir.

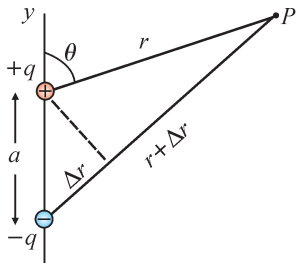
Elektrik alan negatif potansiyel gradyanıdır.

Negatif işaretin anlamı: Elektrik alanı yönünde gidilirken potansiyel azalır.

Elektrik Dipol:

Aralarında küçük a mesafesi bulunan, eşit ve zıt iki yükten oluşan sistem.

Bu nötr sistem maddenin yapısında önemli rol oynar (Nötr moleküllerin etkileşmesi, radyo/TV antenleri, yalıtkan malzemenin davranışı ...)

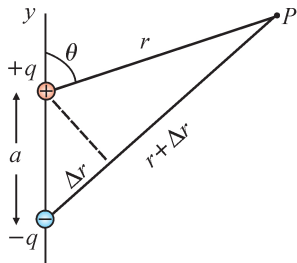


$\pm q$ yükleri y -ekseni boyunca yerleştirilmiş.

Bu dipolün bir P noktasındaki potansiyeli:

$$V = \frac{kq}{r} - \frac{kq}{r + \Delta r} = \frac{kq \Delta r}{r(r + \Delta r)}$$

Dipolden çok uzakta potansiyelin yaklaşık ifadesi: ▽



$r \gg a$ olduğunda:

$$\Delta r \approx a \cos \theta$$

$$r(r + \Delta r) \approx r^2$$

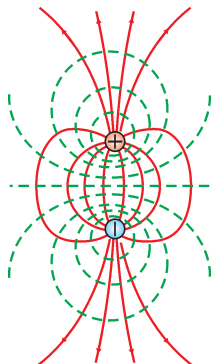
$$V = \frac{kq}{r} - \frac{kq}{r + \Delta r} \approx k \frac{qa \cos \theta}{r^2} \quad \blacktriangledown$$

Tanım: $p = qa$ (dipol momenti)

O halde, dipolden çok uzaklarda potansiyel:

$$V = k \frac{p \cos \theta}{r^2}$$

Elektrik dipolün eşpotansiyel yüzeyleri (yeşil)
ve elektrik alan çizgileri (kırmızı) →



***** 16. Bölümün Sonu *****