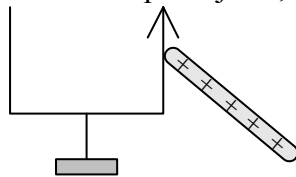


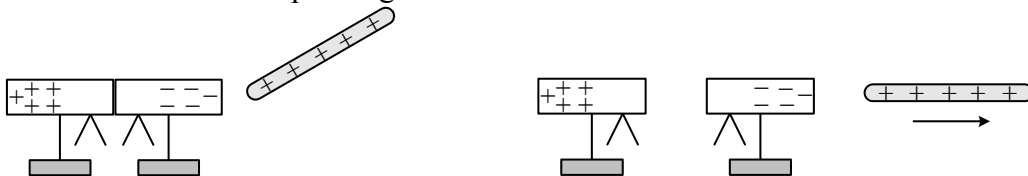
9. Az elektrosztatika alapjelenségei. Elektromos töltés, térerősség. A Coulomb-féle erőtvény. Az elektrosztatikus mező első alaptörvénye. Ponttöltés tere és potenciálja. Dipólus fogalma, pont-szerű dipólusra ható nyomaték.

Elektromos alapjelenségek:

1. Bizonyos testek (borostyánkő, üveg, ebonit) megdörzsölve apró tárgyakat magukhoz vonzanak.
2. Két bőrrel megdörzsölt üveg között taszítás (ezt választották $\oplus$ -nak), egy bőrrel dörzsölt üveg és egy gyapjúval dörzsölt borostyánkő között vonzás lép fel.
3. Az elektromos állapot érintéssel átvihető egyik testről a másikra. Ha a megdörzsölt üvegrudat hozzáérintjük szigetelőtalpon álló fém pohárhoz akkor a fém pohár élén a piciny alufólia mint egy elektroszkóp elektromos állapotot jelez, a taszító hatás miatt szétáll.



4. Két összeillesztett fémtesthez megdörzsölt üveg rudat közelítünk, mindkét fémtest elektromos állapotba kerül. Az üvegrúd jelenlétében szétválasztva őket, majd az üvegrudat eltávolítva az elektromos állapot megmarad.



5. Ha megdörzsölt üveg rudat közelítünk műanyag hengerhez, akkor a homlokfelületek elektromos állapotot jeleznek.

Megállapítások:

A megdörzsölt testek körül úgynevezett elektromos mező jön létre.

Elektromos töltés: Azt a mennyiséget, amely megmutatja, hogy a test milyen mértékben vesz részt az elektromos kölcsönhatásban elektromos töltésnek nevezzük (Q). Amelyik testre ugyanabban a mezőben k -szoros erő hat, annak töltése is k -szoros. A töltés előjeles mennyiség. Egynemű töltések taszítják egymást, különnemű töltések vonzzák egymást. A töltés érintéssel átvihető az egyik testről a másikra. A semleges testen is van töltés de a $\oplus$ és $-$ töltések egyforma mennyiségben vannak jelen.

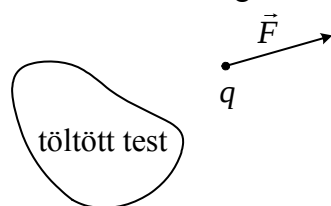
Vezetőknek nevezzük az olyan testeket, amelyekben a töltések képesek makroszkopikus elmozdulásra. Elektromos vezetőkben az elektromos töltés megosztható, a jelenség neve influencia. Szigetelők esetén a töltések elmozdulása csak mikroszkopikus méretű lehet, a molekula méretével megegyező nagyságrendű. $10^{-9} - 10^{-10} m$. A szigetelőkben bekövetkező töltéselmozdulás jelenséget polarizációnak nevezzük.

Tapasztalataink szerint az elektromos töltés megmaradó mennyiség, nem keletkezik, és nem tűnhet el.

Az elektromos mező jellemzése, térerősség:

Az elektromos mező pontról pontra történő jellemzéséhez ponttöltéseket használunk. A pontszerű töltött testre ható erő a tapasztalat szerint arányos a töltésével a két mennyiség

hányadosa már független a test töltésétől, kizárólag a mezőt jellemzi a pontszerű test helyén. Ez az elektromos térerősség vektor $\vec{E}$.



$$\vec{E}(P) = \frac{\vec{F}(P)}{q}$$

A tér jellemző iránya a pozitív töltésre ható erő irányával egyezik meg. A térerősség megadja a szóban forgó pontba helyezett pozitív egységnyi töltésre ható erőt irány és nagyság szerint.

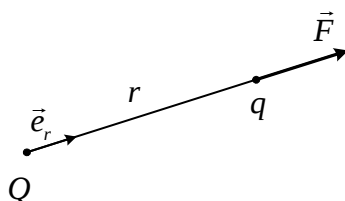
Mértékegysége: $[E] = 1 \frac{N}{C} = 1 \frac{V}{m}$

Ha két vagy több töltés létesíti a mezőt, akkor a térerősség az egyes töltések által külön-külön létesített mezőkhöz tartozó térerősségek vektori összege. Ez az elv az elektromos mezők független szuperpozíciója.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2, \text{ így } q\vec{E} = q\vec{E}_1 + q\vec{E}_2, \text{ és } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Coulomb törvény 1785:

Nyugvó ponttöltés vákuumban centrális és konzervatív elektromos mezőt létesít. Az erőcentrum maga a töltött pont. A Q ponttöltés mezőjében egy másik q ponttöltésre ható erő nagysága arányos a töltésekkel és fordítottan arányos a pontok távolságának négyzetével.



$$\vec{F} = k \frac{qQ}{r^2} \vec{e}_r$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}, \text{ neve: Coulomb állandó.}$$

Egynemű töltések között taszítás, külön neműek között vonzás lép fel.

A k arányossági tényező értéke a töltésegységtől függ. Egységnyi (1 Coulomb) annak a pontszerű testnek a töltése, amely egy ugyanakkora töltésű, tőle vákuumban 1 m-re levő pontot $9 \cdot 10^9 N$ erővel taszít.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \text{ így } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \text{ a vákuum permittivitása.}$$

Mivel az inercia rendszerben nyugvó ponttöltés mezője konzervatív, a szuperpozíció elve értelmében bármilyen az inercia rendszerben nyugvó töltéselrendezés is konzervatív elektromos mezőt kelt. Ez az elektrosztatikus mező.

A ponttöltés elmozdulása során végzett munka:

$$W_{12} = \int_{12} \vec{F} d\vec{r} = \int_{12} q\vec{E} d\vec{r} = q \int_{12} \vec{E} d\vec{r}.$$

Így a két pont közötti feszültség:

$$U_{12} = \frac{W_{12}}{q} = \int_{12} \vec{E} d\vec{r}$$

Az elektromos feszültség független a töltéstől csak a mezőre és a benne felvett két pontra jellemző. Az elektromos feszültség számértéke megmutatja, hogy az elektromos mező az egységnyi pozitív töltésen mennyi munkát végez, miközben az egyik pontból a másikba szállítja.

$$[U] = 1 \frac{J}{C} = 1 \text{ volt} = 1V$$

Ismeretes, hogy konzervatív mezőben az elemi munka a potenciális energia negatívjának teljes differenciálja:

$$\delta W = \vec{F} d\vec{r} = -dV = q\vec{E} d\vec{r}$$

$$-d\left(\frac{V}{q}\right) = \vec{E} d\vec{r}$$

$$-dU = \vec{E} d\vec{r}$$

Az egységnyi töltés potenciális energiát elektrosztatikai potenciálnak nevezzük, és megállapodás szerint az elektrosztatikai potenciált a végtelenben vesszük zérusnak.

$$U = \frac{V}{q}$$

Integrálás után:

$$-\int_{i2} dU = \int_{i2} \vec{E} d\vec{r}, \text{ azaz } U_1 - U_2 = U_{12}$$

Az elektrosztatikus mezőben a feszültség csak a kezdő és végponttól függ és egyben a potenciálkülönbség ellentettje, azaz a kezdőpont potenciálja mínusz a végpont potenciálja. Elektrosztatikus mezőben zárt vonal mentén a feszültség zérus.

$$\oint \vec{E} d\vec{r} = 0$$

Ez egyben az elektrosztatika I. alaptörvényének integrális alakja.

Mivel konzervatív mezőben $\vec{F} = -gradV$, ha az egyenletet elosztjuk a töltéssel $\vec{E} = -gradU$.

A térerősség a potenciál negatív gradiense, más alakban: $\vec{E} = -\nabla U$. Az integrális egyenletből a Stokes integrál átalakítási tétel felhasználásával juthatunk az alaptörvény differenciális vagy lokális alakjához: $rot\vec{E} = \vec{0}$.

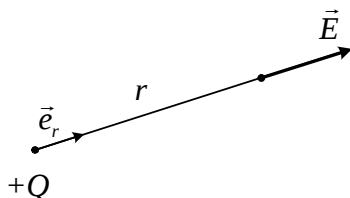
Határozzuk meg egy tetszőleges pont potenciálját:

$$-dU = \vec{E} d\vec{r}, \text{ integrálva } -\int_P^\infty dU = \int_P^\infty \vec{E} d\vec{r}, \text{ azaz } U(P) - U(\infty) = \int_P^\infty \vec{E} d\vec{r}.$$

Ha $U(\infty) = 0$ a választásunk, akkor $U(P) = \int_P^\infty \vec{E} d\vec{r}$. Egy tetszőleges pont potenciálja

megmutatja, hogy mennyi munkát végez az elektrosztatikus mező, amíg az egységnyi pozitív töltést a tér P pontjából a végtelenbe szállítja.

Ponttöltés elektromos mezője és potenciálja:



Mivel $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, és $\vec{F} = k \frac{Qq}{r^2} \vec{e}_r$, így a

ponttöltés elektromos mezője $\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$.

Határozzuk meg a ponttöltés potenciálját:

$$-dU = \vec{E} d\vec{r} = k \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r d\vec{r} = k \frac{Q}{r^2} dr, \text{ integrálva}$$

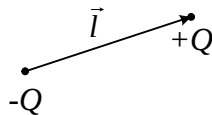
$$-\int_r^\infty dU = \int_r^\infty k \frac{Q}{r^2} dr_*,$$

$$U(r) - U(\infty) = kQ \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_*}^{\infty}$$

$$U(r) = \frac{kQ}{r}$$

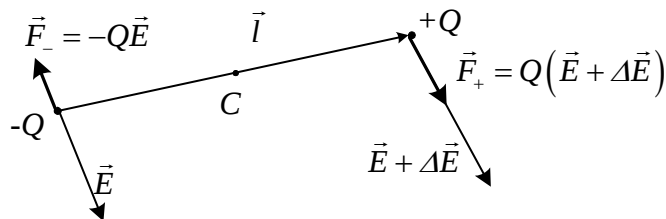
Elektromos dipólus:

Az elektromos dipólus egy pozitív ponttöltésből Q és egy ugyanolyan nagyságú negatív ponttöltésből ($-Q$) áll melyek távolsága l . Ha l kicsiny a feladatban előforduló egyéb távolságokhoz képest, akkor pontszerű dipólusról beszélünk.



A dipólus nyomaték, vagy dipólus momentum definíciója $\vec{p} = Q\vec{l}$.

Pontszerű dipólusra ható forgatónyomaték külső elektromos mezőben:



A C pontra a forgatónyomaték:

$$\vec{M}_C = -\frac{\vec{l}}{2} \times (-Q\vec{E}) + \left(-\frac{\vec{l}}{2} \right) \times Q(\vec{E} + d\vec{E}) = Q\vec{l} \times \vec{E} + Q\frac{\vec{l}}{2} \times d\vec{E} \approx \vec{p} \times \vec{E}.$$

Ha a dipólus pontszerű, akkor $|\vec{l}|$ nagyon kicsi $|\vec{l}| \approx 10^{-9} - 10^{-10} \text{ m}$ és ezért $d\vec{E}$ kicsi.

$$\vec{M}_C = \vec{p} \times \vec{E}$$

Ez a forgatónyomaték akkor szűnik meg, ha $\vec{p} \parallel \vec{E}$ vagyis a dipólus befordult a tér irányába, vagy azzal pont ellentétesen áll. Ha $\vec{p}$ és $\vec{E}$ egyirányú, akkor $\vec{M}_C = 0$, és az egyensúlyi helyzet stabil, vagyis kitérítve a dipólust ebből a helyzetből a létrejövő nyomaték igyekszik visszaforgatni abba. Ha $\vec{p}$ és $\vec{E}$ pont ellentétes irányú, akkor bár a nyomaték nulla, de az egyensúlyi helyzet instabil, ilyen esetben, ha a dipólust kitérítjük akkor a létrejövő nyomaték a stabil egyensúlyi helyzet felé próbálja forgatni. Gyakran töltések bonyolultabb rendszere is dipólussal helyettesíthető.