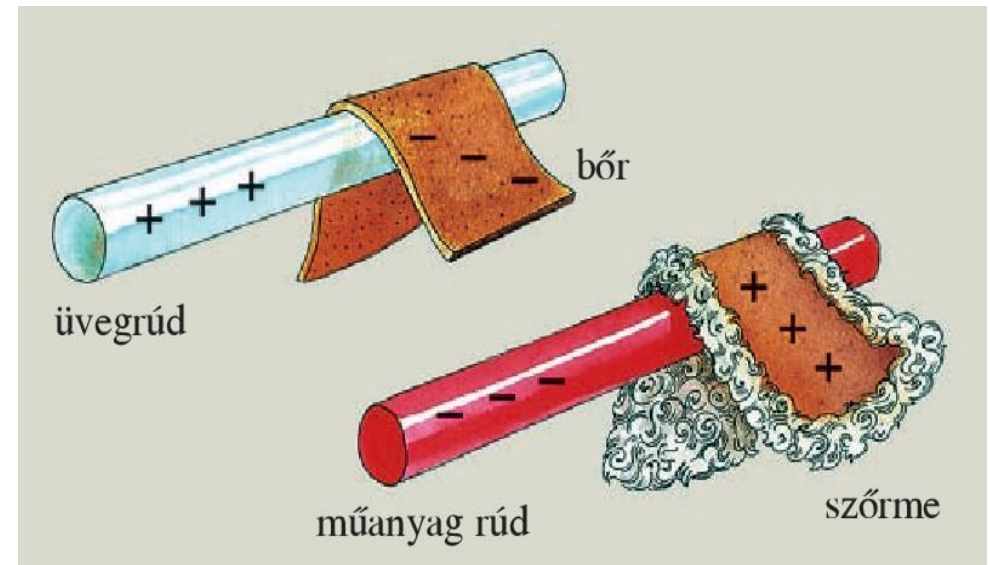
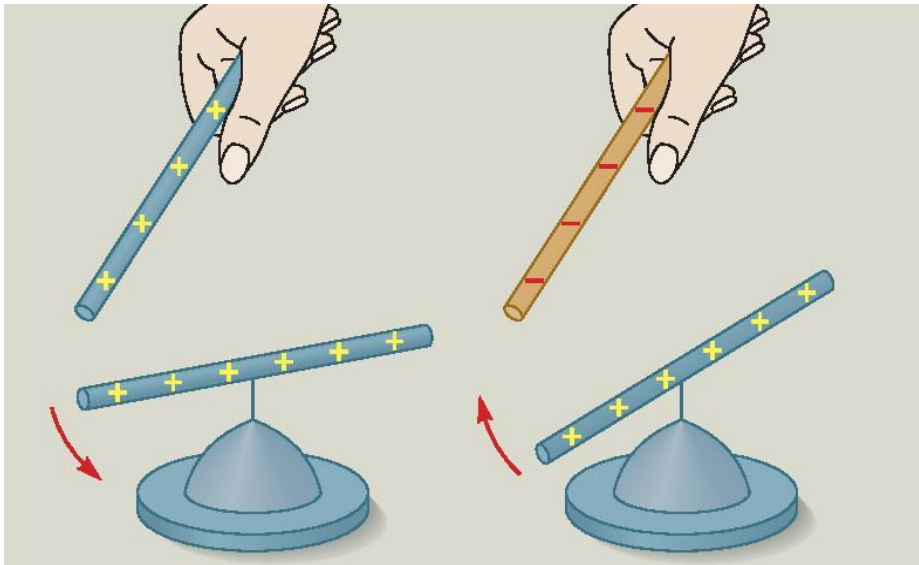


Elektrosztatika

- **Elektromos alapjelenségek**

Egymással szorosan érintkező (pl. megdörzsölt) felületű anyagok a szétválás után elektromos állapotba kerülnek. Azonos elektromos állapotú anyagok taszítják egymást, különbözőek vonzzák egymást.



- Két fajta **elektromos állapot** hozható létre:

elnevezésük: **pozitív (+)** és **negatív (-)**

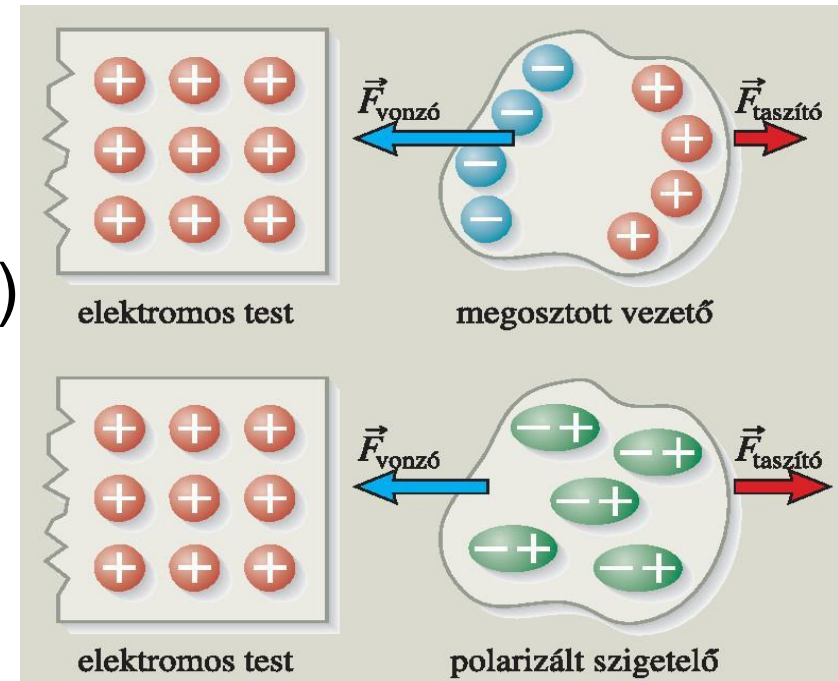
Az azonosak (+ + vagy - -) **taszítják** egymást, a különbözőek (+ -) **vonzzák** egymást.

- A **semleges testeket** a + és a – állapotú anyagok is vonzzák.
- **Elnevezés: töltés:** a negatív állapotú test **negatív töltéssel**, a pozitív állapotú test **pozitív töltéssel** rendelkezik.

- **A vonzás, taszítás jelenségek magyarázata:**

A testek, tárgyak atomjai, molekulái **+ protonokat és – elektronokat** tartalmaznak. Ha nincsenek elektromos állapotban, akkor ezek száma azonos, kiegyenlítik egymást, a tárgy **semleges**. A tárgyak szoros érintkezésekor a **negatív elektronok képesek leválni az atomról** és átmenni az egyik tárgyról a másik tárgyra. Ekkor az egyik **elektron hiány**, a másikon **elektron többlet** alakul ki.

Egy töltött test közelében:
 a semleges vezetőben a töltések **megoszlanak**. (**elektromos megosztás**)
 semleges szigetelőben kis **elektromos dipólusok** alakulnak ki (**polarizáció**)
 Ezért létrejön az összességében vonzásban mutatkozó kölcsönhatás.



- Az **elektromos töltés** jele: **Q** , mértékegysége: **C** (Coulomb)

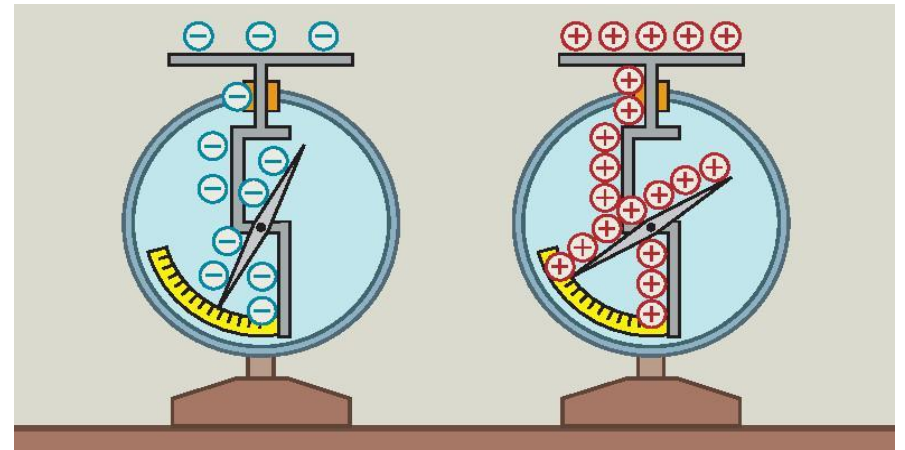
A legkisebb töltés (elemi töltés):

1 elektron töltése: $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C

(azért -, mert negatív)

1 proton töltése: $1,6 \cdot 10^{-19}$ C

- Elektromos állapot kimutatására szolgáló eszköz: **elektroszkóp**



Az elektroszkóp mutatója kitér, mivel azonos töltésű lesz a tartó rúddal, ezért taszítják egymást. Minél nagyobb a kitérése, annál nagyobb többlettöltéssel rendelkeznek.

- **Vezető anyag**: amelyben a töltések könnyen tudnak mozogni. Elektromos állapotú tárggyal érintkezve az elektromos állapotot könnyen átveszik. Pl. fémek, oldatok, víz, emberi test
- **Szigetelő anyagok**: amelyben a töltések nem, vagy csak nehezen tudnak kimozdulni a helyükből, ezért a külső elektromos állapotú testtel érintkezve az elektromos állapotot nem veszik át. Pl. gumi, műanyag, porcelán, üveg, desztillált víz, száraz fa
- **Földelés**: Ha egy tárgyat vezető anyaggal összekötünk a Földdel, akkor a tárgyra kerülő töltések levezetődnek a tárgyról a Földbe, és a tárgy semleges lesz. Pl. háztartási eszközök földelt vezetéke

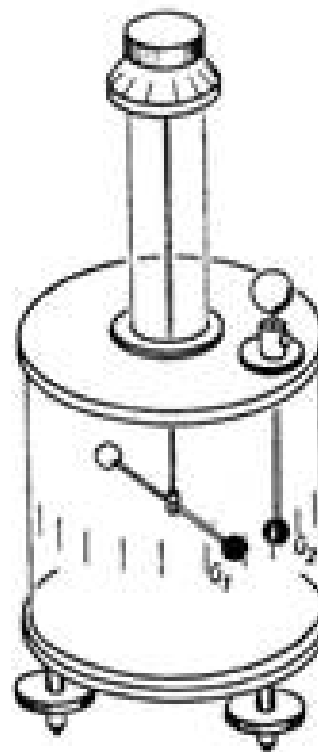
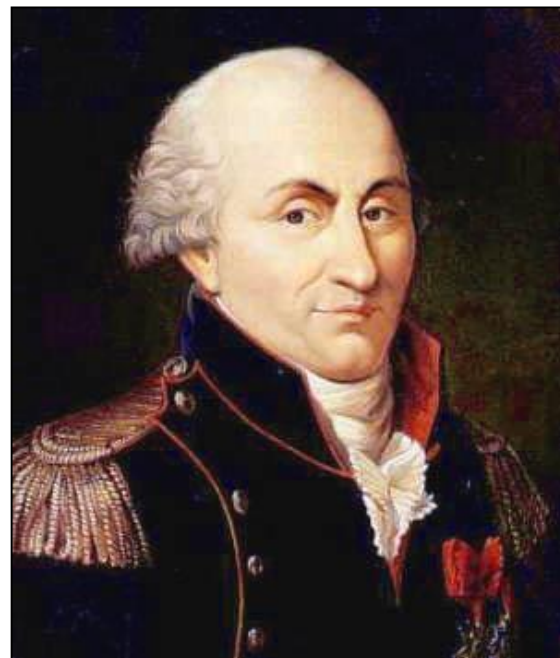
- **Coulomb törvény**

Két töltés közötti vonzó vagy taszító erő akkor nagyobb, ha a két töltés nagyobb, vagy távolságuk kisebb. Vagyis az erő egyenesen arányos a töltések nagyságával, és fordítottan arányos a távolságuk négyzetével.

Képletben: $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ Q_1 és Q_2 a két töltés, r a távolságuk,

k egy arányossági tényező: $9 \cdot 10^9$
 $\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

Ha egy töltésre több töltés is hat, akkor a rá ható elektromos erőket irányuk szerint vektoriálisan összegezni kell.



- **Elektromos térerősség**

Bármely elektromos test körül elektromos mező, tér alakul ki. Ha ebbe a mezőbe egy kis pontszerű töltést rakunk, akkor arra erő hat. Az elektromos térerősség megadja a mező egy pontjába helyezett 1 C nagyságú töltésre ható erő nagyságát. Jellemzi az elektromos mező erősségét egy-egy pontban.

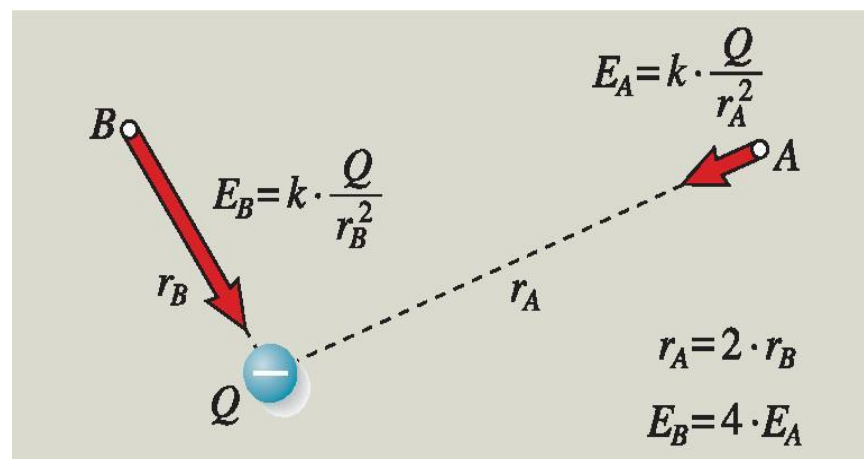
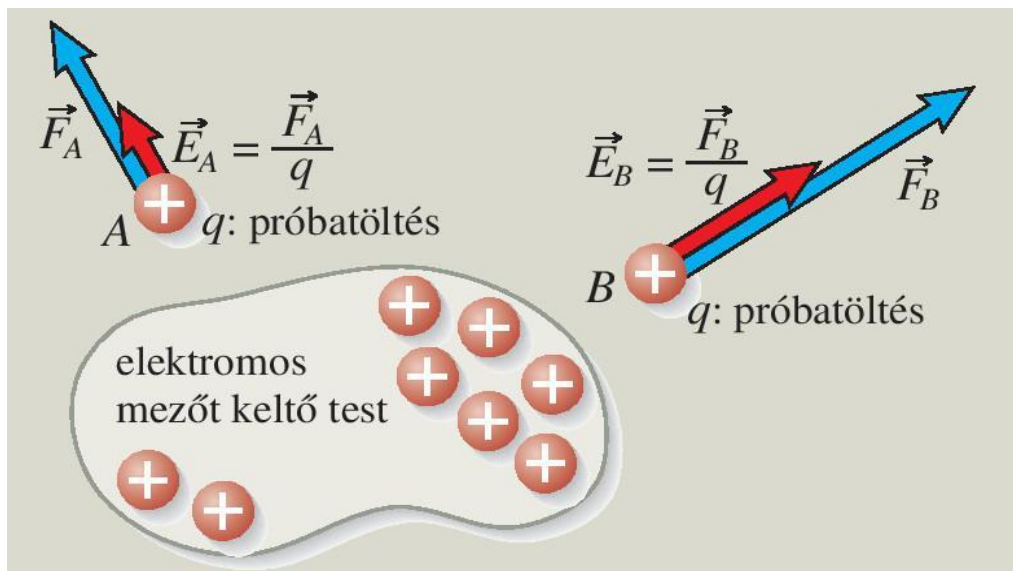
Képletben: $E = F/Q$, ahol az F a Q töltésre ható erő.

Az elektromos térerősség jele: E , mértékegysége **N/C**

- **Ponttöltés által létrehozott elektromos mező térerőssége**

- Mivel a Q_1 pontszerű töltés a tőle r távolságban levő Q_2 -re $F = k \cdot Q_1 \cdot Q_2 / r^2$ nagyságú erővel hat, a Q_1 töltés elektromos térerőssége r távolságban $E = F/Q_2$, vagyis:

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2}$$

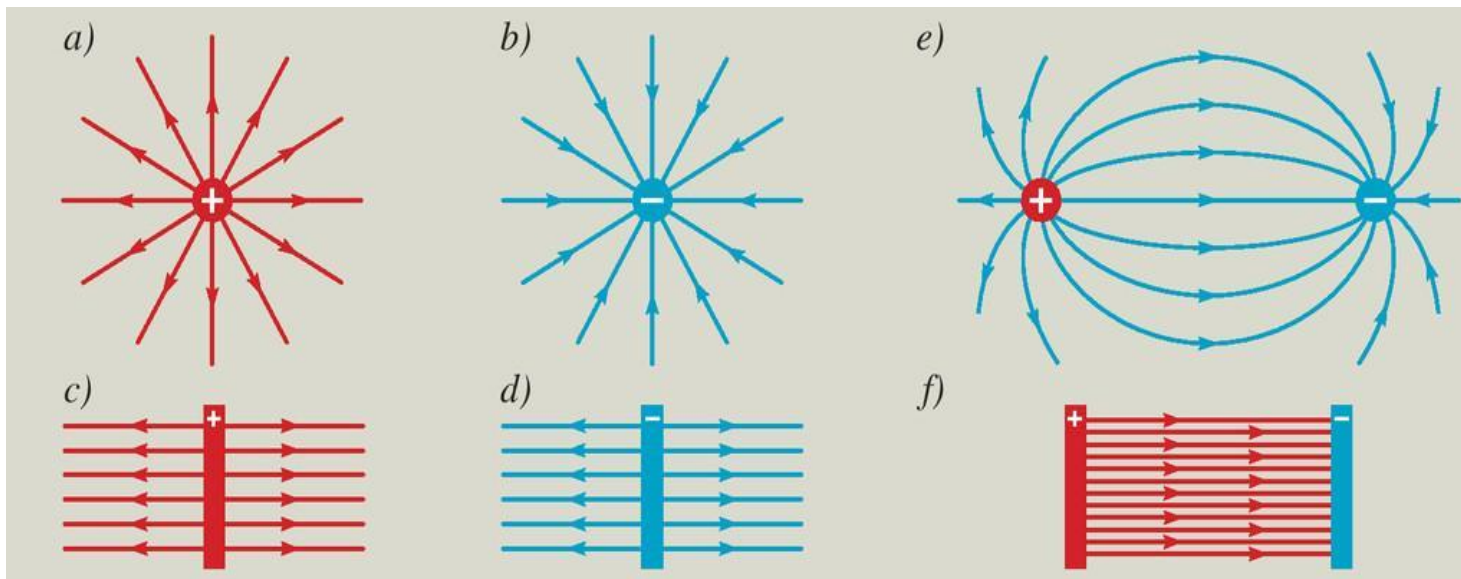


Elektromos térerősség vonalak

Az elektromos teret jellemezhetjük térerősség vonalakkal.

Az erővonalakhoz húzott érintők megadják a térerősség vektorok irányvonalát, a vektor iránya az erővonalak irányába mutat, az erővonalak sűrűsége ott nagyobb, ahol a térerősség nagyobb.

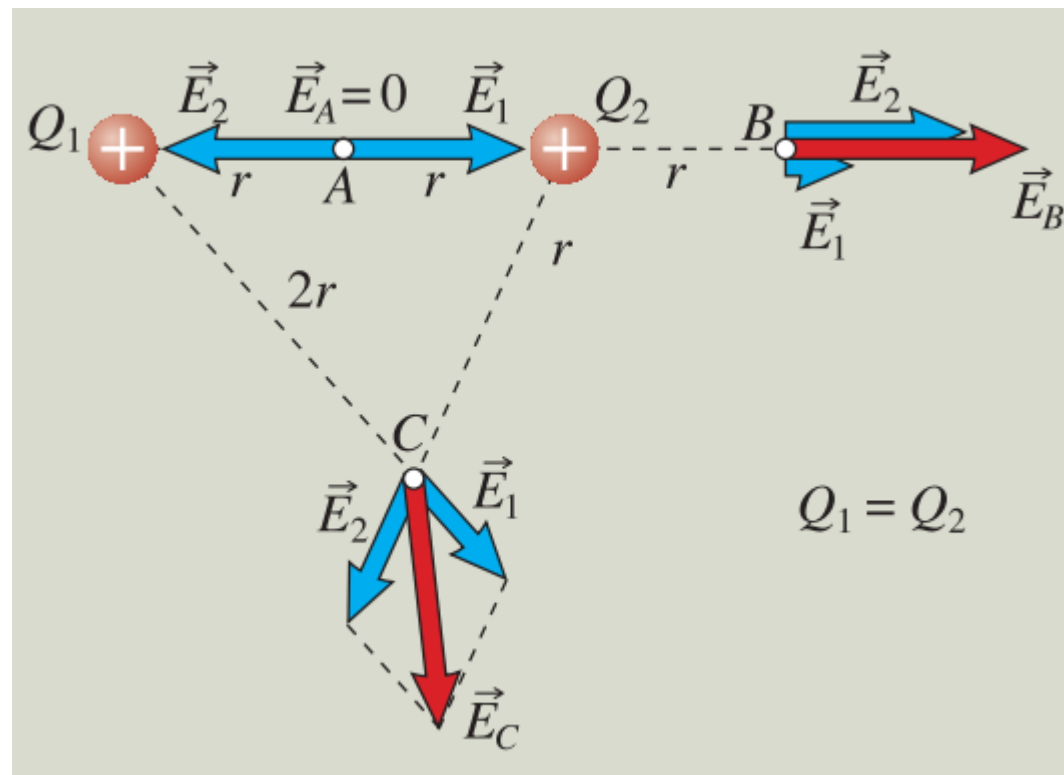
- **Homogén elektromos tér:** Az E térerősség minden pontban ugyanakkora. A térerősség vonalak párhuzamos egyenesek.
- **Példák elektromos mezők erővonalaira**



a) + ponttöltés el.tere **b)** – ponttöltés el.tere **e)** + és – töltések el.tere **c)** + lemez el. tere **d)** – lemez el. tere **f)** + és – lemezek el. tere A **c)** a **d)** és az **f)** homogén elektromos tér)

Szuperpozíció elv:

Ha egy időben a térben több töltéssel rendelkező test van, a létrejövő elektromos tér térerősség vektorát egy adott helyen az egyes testek saját térerősségeinek vektori összege adja meg.



[Geogebra animáció a szuperpozícióhoz.](#)

Az elektromos fluxus:

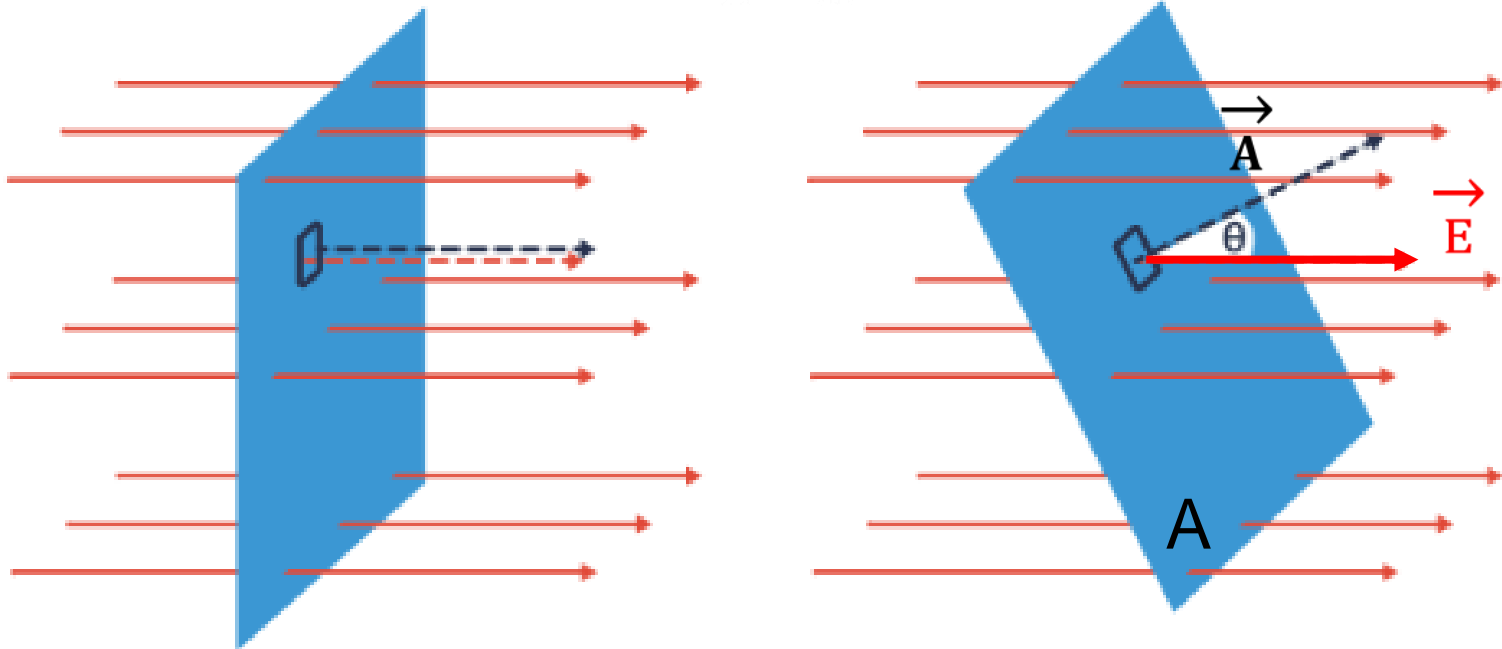
Egy felületet átszelő erővonalak számát megadó mennyiség.

$$\Psi(\text{pszí}) = \vec{E} \cdot \vec{A} = E \cdot A \cdot \cos\theta$$

\vec{A} - a felületre merőleges vektor melynek hossza a felület mérőszámával egyezik meg.

A fluxus maximális, ha $\theta = 0$

A fluxus nulla, ha $\theta = 90^\circ$

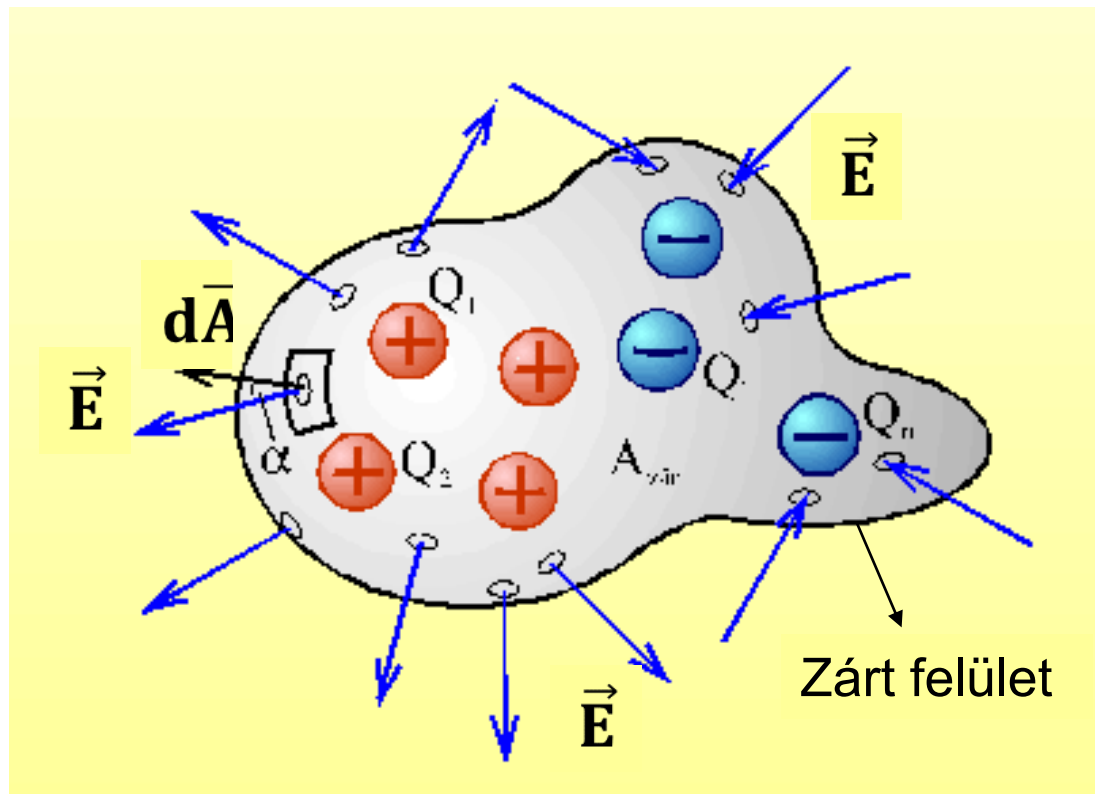


Gauss törvénye - Az elektrosztatika alaptörvénye

$$\Psi_{\text{zárt felület}} = \sum_{\text{zárt felület}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\sum Q}{\epsilon_0}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ a légüres tér elektromos permittivitása

Egy töltésrendszert magába foglaló zárt felület fluxusa egyenesen arányos a felületen belüli összes töltésmennyiséggel.



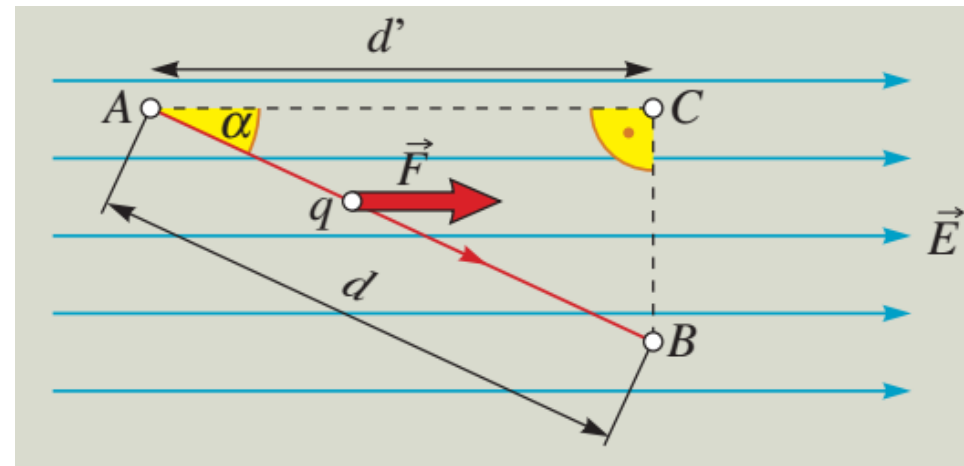
- Munkavégzés elektromos térben

1. Homogén tér

$$W_{AB} = F \cdot d' = F \cdot d \cdot \cos \alpha,$$

$$W_{ACB} = W_{AC} = F \cdot d' = F \cdot d \cdot \cos \alpha. \quad W_{CB} = 0.$$

$$W_{ACB} = W_{AC} = E \cdot q \cdot d \cdot \cos \alpha.$$

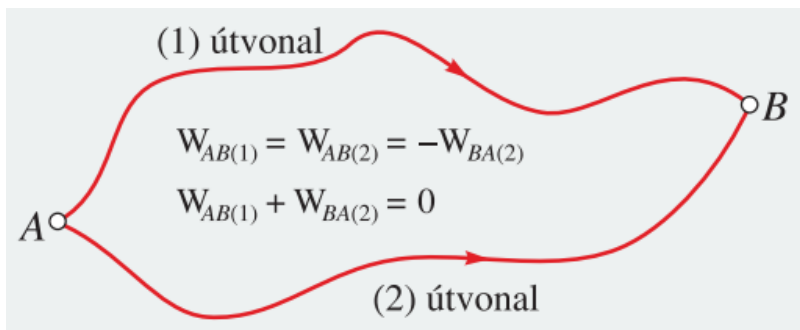


Tehát a tér munkavégzése független az út / pálya alakjától, csak az erővonalak irányába történő elmozdulástól függ → **konzervatív** erőter.

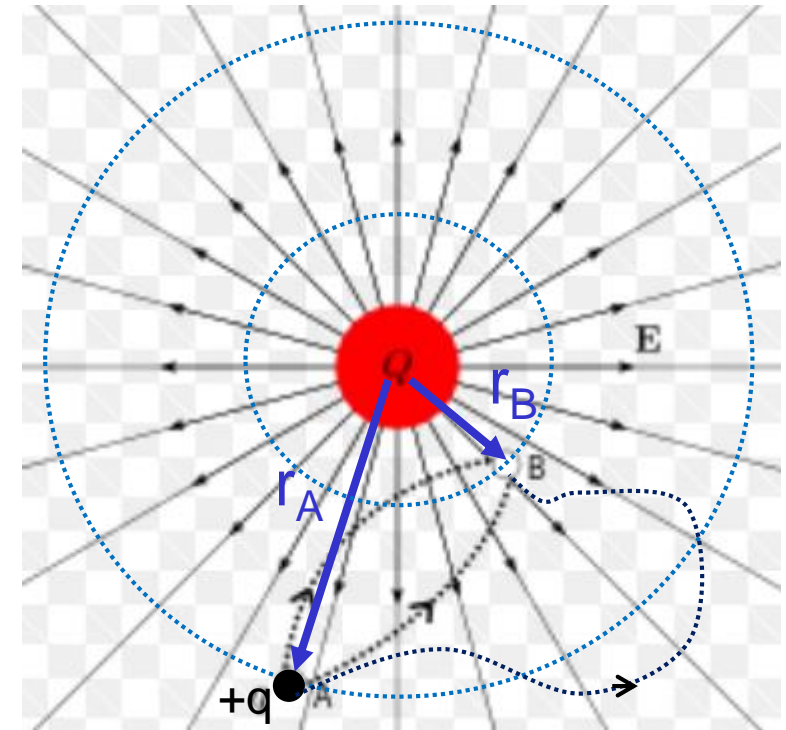
2. Ponttöltés tere

$$W_{AB} = k \cdot q \cdot Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

Munka előjeles mennyiség!



$$\sum W_{\text{zárt görbe}} = 0$$



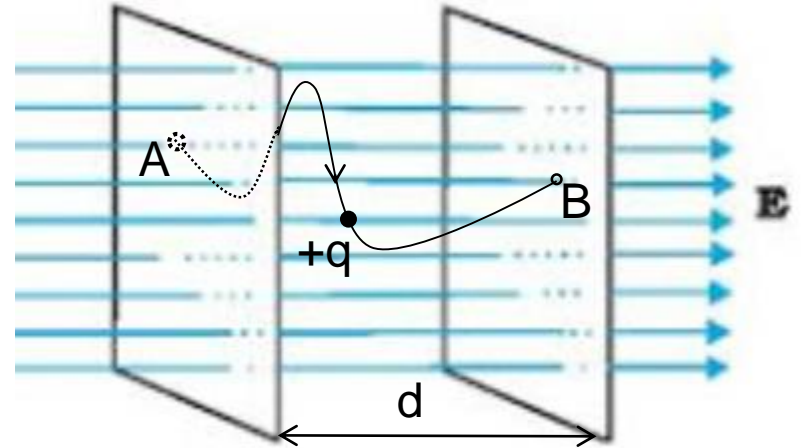
Elektromos feszültség, elektromos munka

Az 1 C töltés „A” pontból „B” pontba történő mozgatásához szükséges munka az elektromos tér E két pontjára jellemző érték: az „A” és „B” pont közti feszültség.

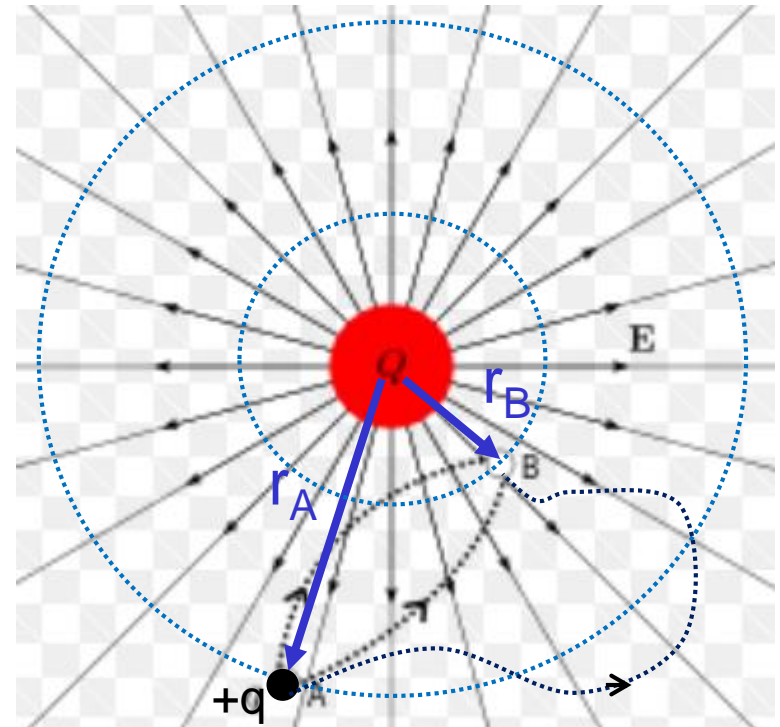
- Jele: U , mértékegysége V (volt)

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q_+}$$

Homogén térben: $U_{AB} = E \cdot d$
(az ábrán $U_{AB} > 0$)



Ponttöltés terében: $U_{AB} = k \cdot Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$
(az ábrán $U_{AB} < 0$)



- **Potenciál, potenciálvonalak**

Ha az elektromos mező egy pontjának („A” pont) **feszültségét egy választott „0” ponthoz viszonyítjuk** (pl. a végtelen pontja, ahol az elektromos térerősség nulla), akkor az „A” pont feszültségét a „0”-hoz képest az „A” pont potenciáljának nevezzük. Jele: $U_A = U_{AO} = U_A - U_O$

Így két pont feszültsége = a két pont potenciáljának különbségével: $U_{AB} = U_A - U_B$

Ha az azonos potenciálú pontokat összekötjük ekvipotenciális potenciálvonalakat (felületeket) kapunk, amelyek jellemzik az elektromos tér feszültségeit.

- **Hasonlóság a gravitációs térhez:**

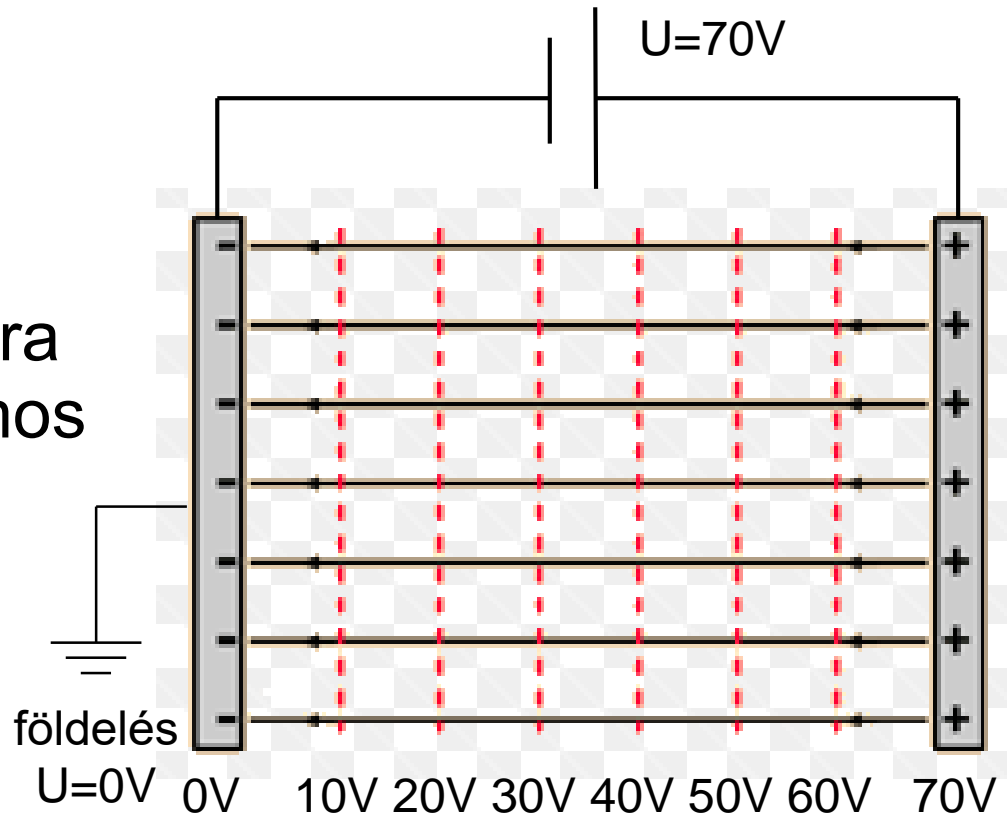
potenciál – tengerszinthez viszonyított magasság

feszültség – két magasság közti különbség

potenciálvonalak – azonos magasságú szintvonalak a térképen

Az ekvipotenciális felületek:

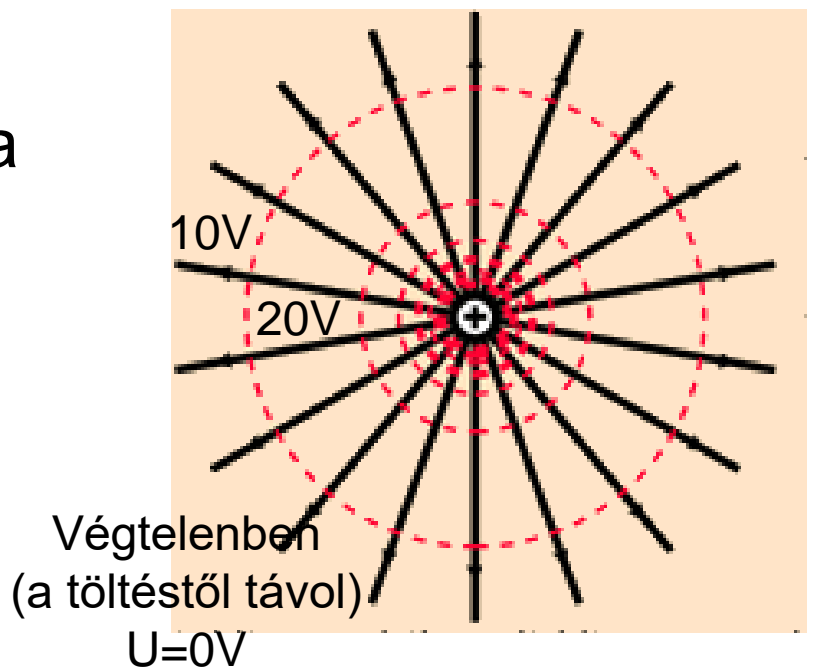
• Homogén térben: az erővonalakra merőleges egymással párhuzamos síkok.



• Ponttöltés terében: Koncentrikus gömbfelületek melynek középpontja a mező forrását képező ponttöltés.

$$U_A = k \cdot Q \left(\frac{1}{r_A} \right)$$

A potenciálérték az erővonalak irányába mindig csökken



Próbatöltés potenciális energiája elektrosztatikus térben:

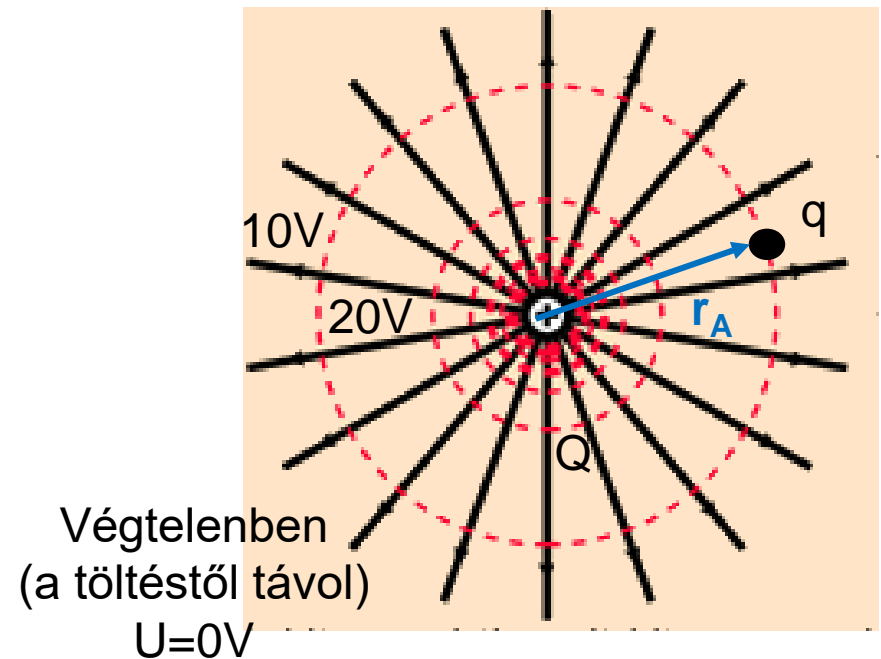
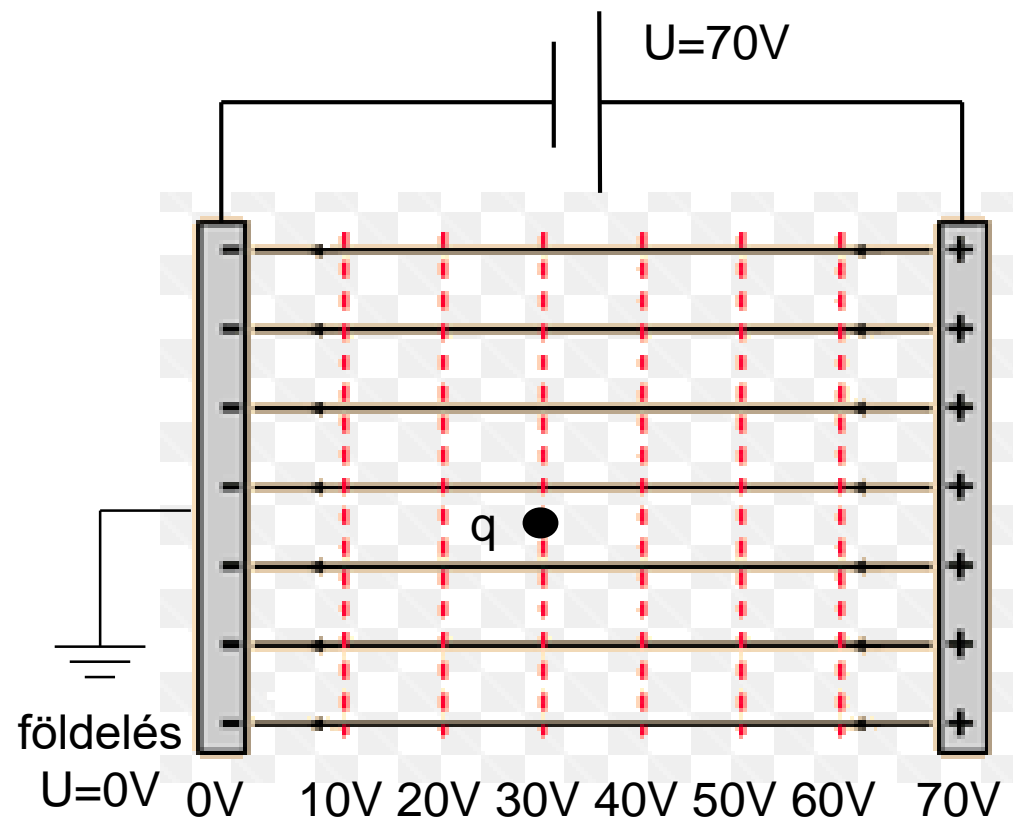
$$E_{pA} = q \cdot U_A$$

Vigyázat!

Az energia előjeles mennyiség melyet a próbatöltés (q) és az adott helyen mért potenciálérték előjele határoz meg!

A magára hagyott próbatöltés mindig a potenciális energiájának csökkenése irányában mozdul el!

$$E_{pA} = k \cdot q \cdot Q \left(\frac{1}{r_A} \right)$$

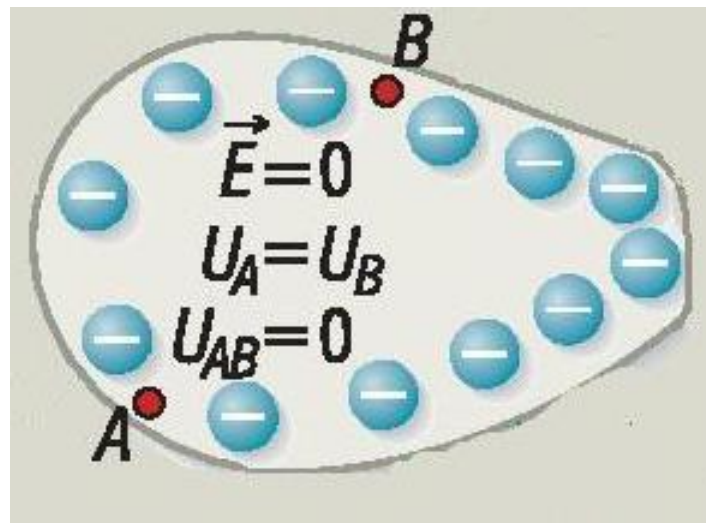


- **Többlettöltések elhelyezkedése vezető anyagban**

A vezetőre vitt többlettöltés mindig a vezető külső felületére szorul a taszítás miatt. Így a vezető belsejében a térerősség nulla, belül nincs elektromos tér. A kisebb görbületű felületeken kisebb a töltéssűrűség.

A fém bármely két pontjának feszültsége nulla, tehát egy fém egyetlen potenciálértékkel jellemezhető (minden pontjának azonos a potenciálja)

Leföldelt fémek elektromos potenciálja nulla.



Elektromos árnyékolás

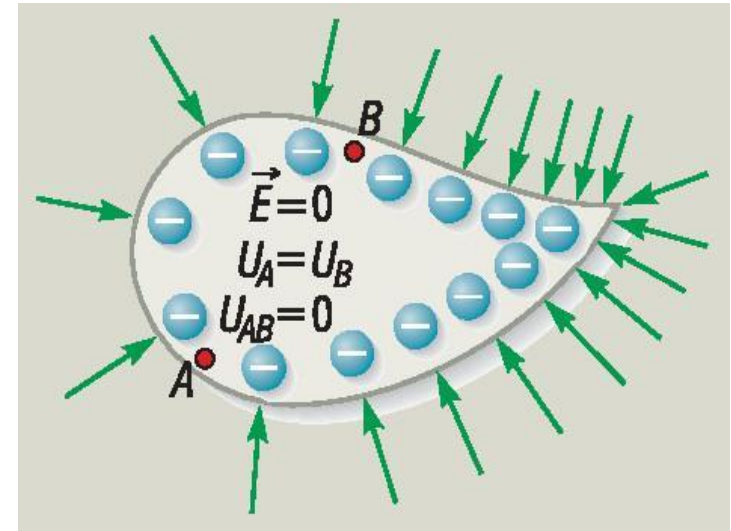
Mivel a vezető belsejében nincs elektromos tér, ha egy vezető anyag vesz körül egy térrészt, akkor abban a térrészben nincs elektromos tér akkor sem, ha a vezető burok feltöltődik (elnevezése: Faraday kalitka). A vezető anyagú burok leárnyékolja a külső elektromos teret. Ezt hívják **elektromos árnyékolásnak**.

Felhasználása: Fém autóban, repülőben utazókat nem éri a villámcsapás, fémburok árnyékolás védi a külső elektromos zajoktól a híradástechnikai vezetékeket (pl. antennakábel, hangszerek, erősítők vezetékei)



- **Csúcshatás**

A vezető anyag felületén elhelyezkedő töltések sűrűbben helyezkednek el ott, ahol a tárgy keskenyebb, csúcsos kialakítású. A nagy töltéssűrűség erős inhomogén teret hoz létre a csúcs közelében.



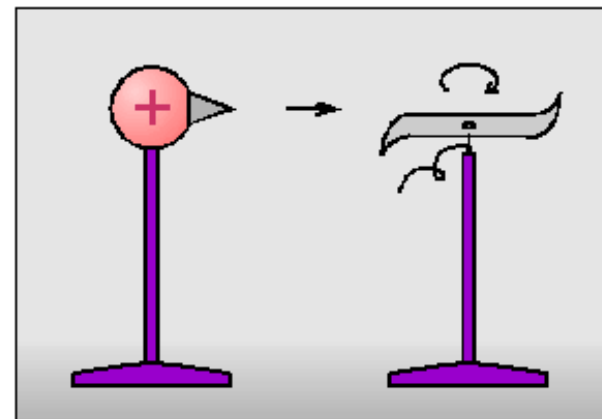
Az elektromos mező polarizálja a levegő molekuláit, magához vonzza, majd feltöltődés után eltaszítja ezeket.

Az ionizált levegő vezetőként viselkedik csúcsok közelében.

- **Kísérletek a csúcshatás bemutatására:**



Elektromos szél



Segner-kerék

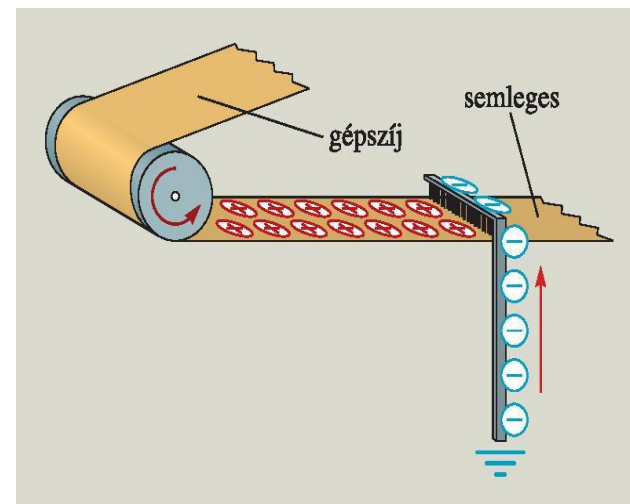
- **Példák a csúcshatás felhasználására:**

Villámhárító: A villámhárító hegyes fémrúd.

A fémrúdból fémkötél vezet a földbe. Ha a villám beleszap a csúcsba, nem okoz kárt, mert a fémkötél az áramot a földbe vezeti. De a villámhárítónak más szerepe is van. Ha elektromos töltésű felhő kerül a ház fölé, a házban megosztás folytán elektromos töltés keletkezik. Ámde a villámhárító csúcsán át elveszíti a ház elektromos töltését, és így elmarad a villámcsapás.

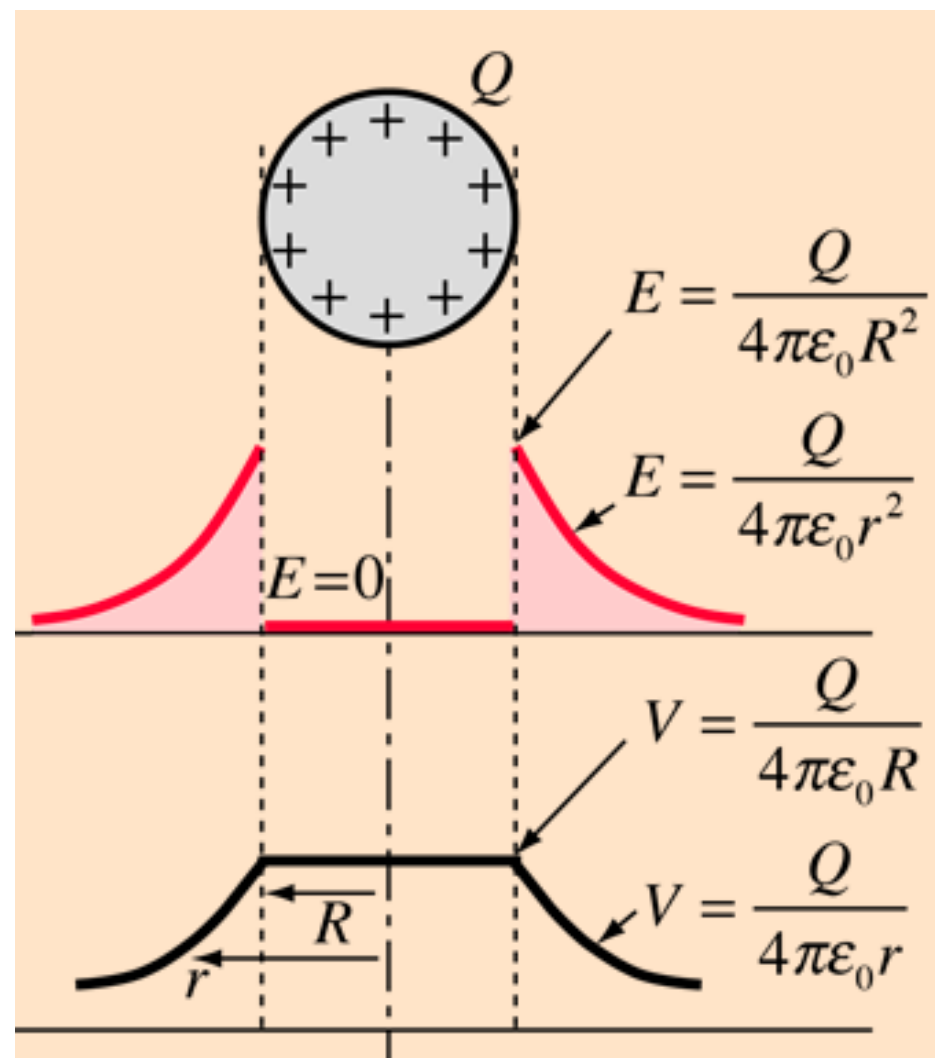
Gépszíjak elektromos semlegesítése

Szíjáttétellel meghajtott gépeknél a szoros érintkezés miatt a gépszíj feltöltődik. Ahol a szétválasztott töltések közötti esetleges szikrakisülés robbanásveszélyt jelent, ott földelt fémfésűvel szívják le a töltéseket.



Töltéssel ellátott gömb alakú vezető térerőssége és potenciálja

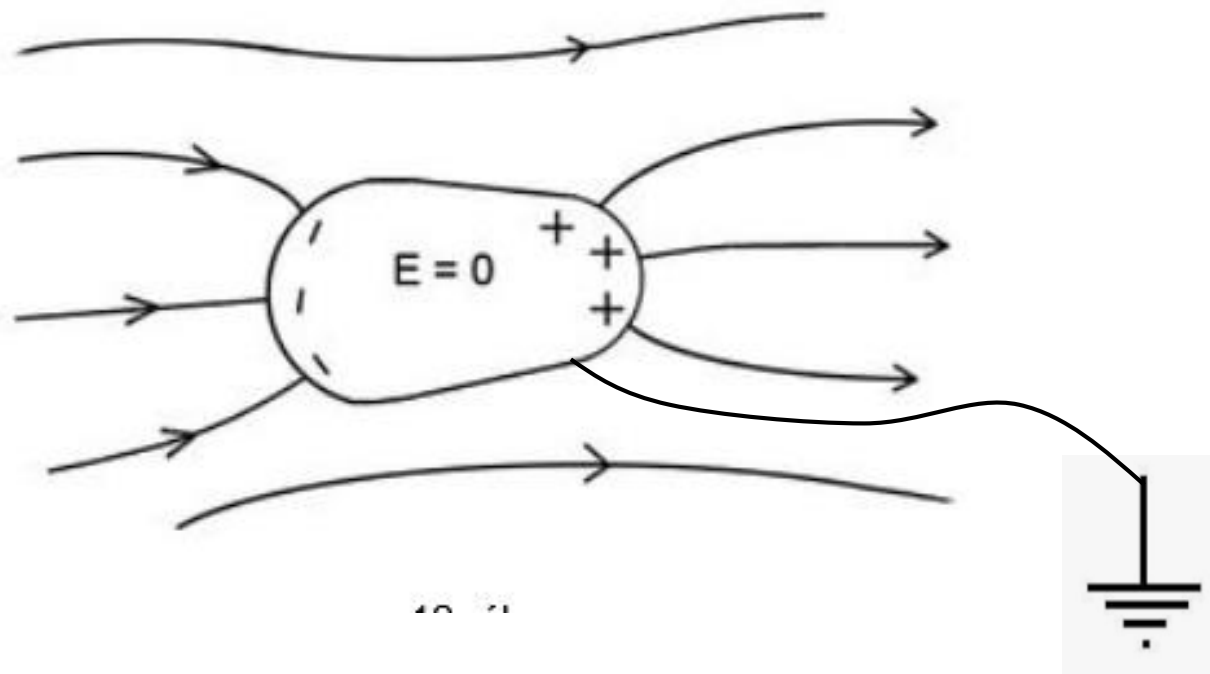
Kívülről úgy észleljük a vezető terét, mintha az összes töltésmennyisége nem a külső felületen, hanem a gömb középpontjába lenne sűrítve.



Semleges vezető elektrosztatikus térben

A külső elektromos tér hatására a vezető elektronjainak egy része igen gyorsan kialakít egy olyan elrendeződést (elektromos megosztás) – felületi töltéssűrűséget – amely leárnyékolja a külső teret azaz a vezetőn belül az elektromos térerősség zérus.

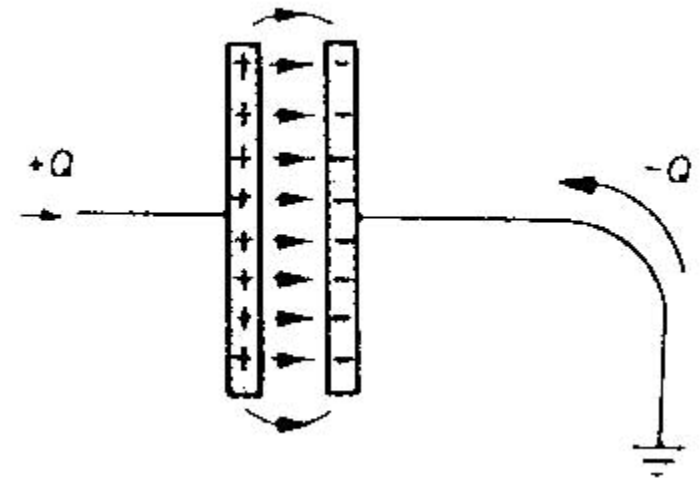
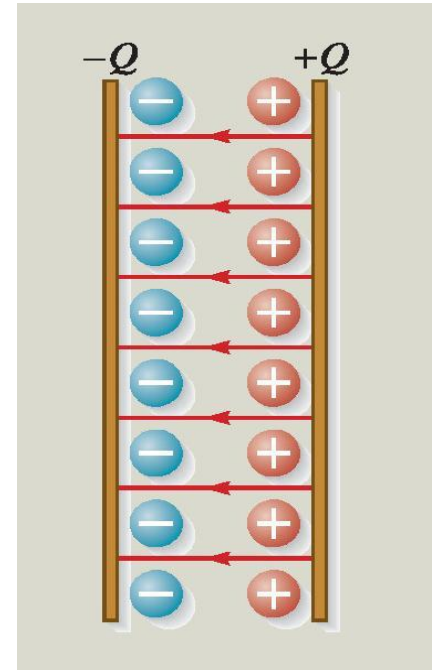
Ha a vezetőnek nincs elég szabad elektronja a megfelelő megosztáshoz a vezető leföldelésével tökéletes árnyékolást érhetünk el.



Kondenzátor

Két egymással szemben álló vezető anyagú lemezt (fegyverzetek) feltöltünk + és – töltéssel. A két lemez között homogén elektromos tér alakul ki.

A kondenzátor elektromos töltések felhalmozására, tárolására szolgáló eszköz, másképpen sűrítőnek nevezzük. A sűrítő elnevezés abból adódik, hogy a kondenzátor a fegyverzetek közé sűríti az elektromos mezőt, és így az elektromos térerősség vonalakat is.



A kondenzátor kapacitása

Az egyik lemez töltésének (Q) és a lemezek közötti feszültségnek (U) a hányadosa a kondenzátorra jellemző állandó, amit a kondenzátor kapacitásának (C) nevezünk.

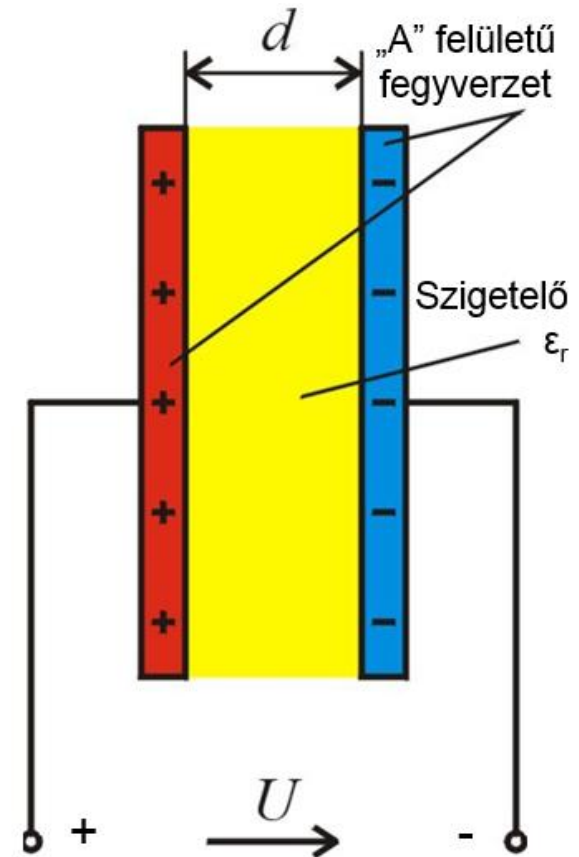
$$\text{Kiszámítása : } C = \frac{Q}{U} \quad \text{Mértékegysége : } \frac{C}{V} = F \text{ (farad)}$$

A síkkondenzátor kapacitása:
egyenesen arányos a lemezek területével (A)
fordítottan arányos a lemezek közötti
távolsággal (d)
függ a szigetelőanyag minőségétől (ϵ_r)

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

ahol ϵ_0 a légüres tér permittivitása:

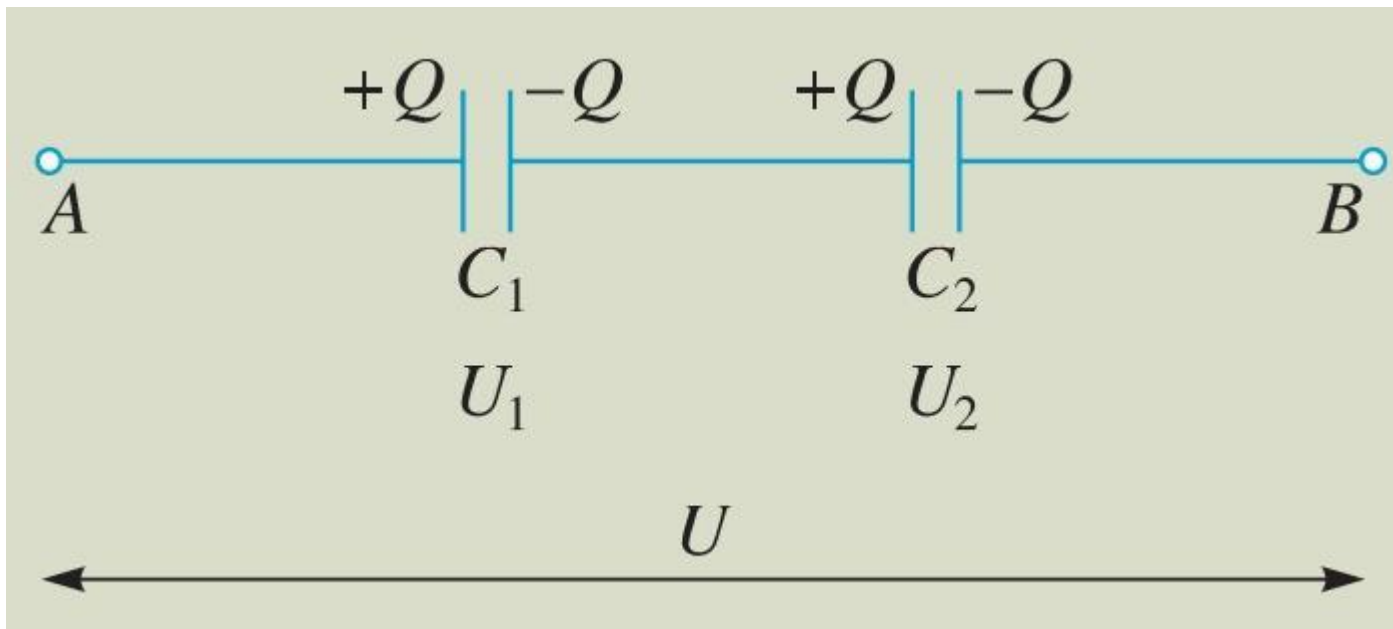
$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$



Kondenzátorok soros kapcsolása

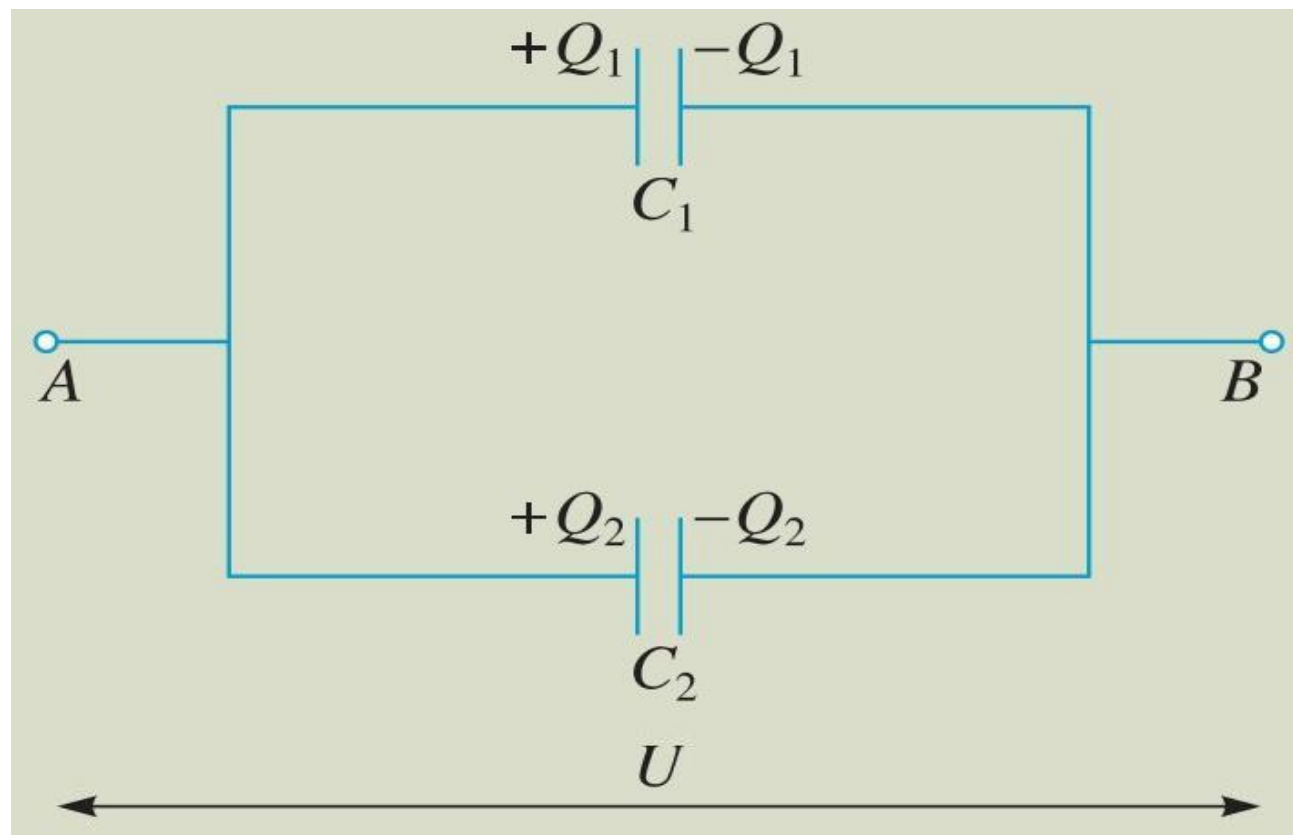
- A sorosan kapcsolt kondenzátor mindegyikén azonos a töltésmennyiség. $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \dots$
- A kondenzátorra jutó feszültségek összeadódnak, a teljes feszültség megoszlik rajtuk. $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$
- A kondenzátorok eredő kapacitásának reciproka az egyes kapacitások reciprokának összege:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$



Kondenzátorok párhuzamos kapcsolása

- A párhuzamosan kapcsolt kondenzátor mindegyikére ugyanakkora feszültség jut. $U = U_1 = U_2 = U_3 \dots$
- A kondenzátorokon levő töltések összeadódnak, a teljes össztöltés megoszlik rajtuk. $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$
- A kondenzátorok eredő kapacitása, az egyes kapacitások összege: $C_{\text{eredő}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$



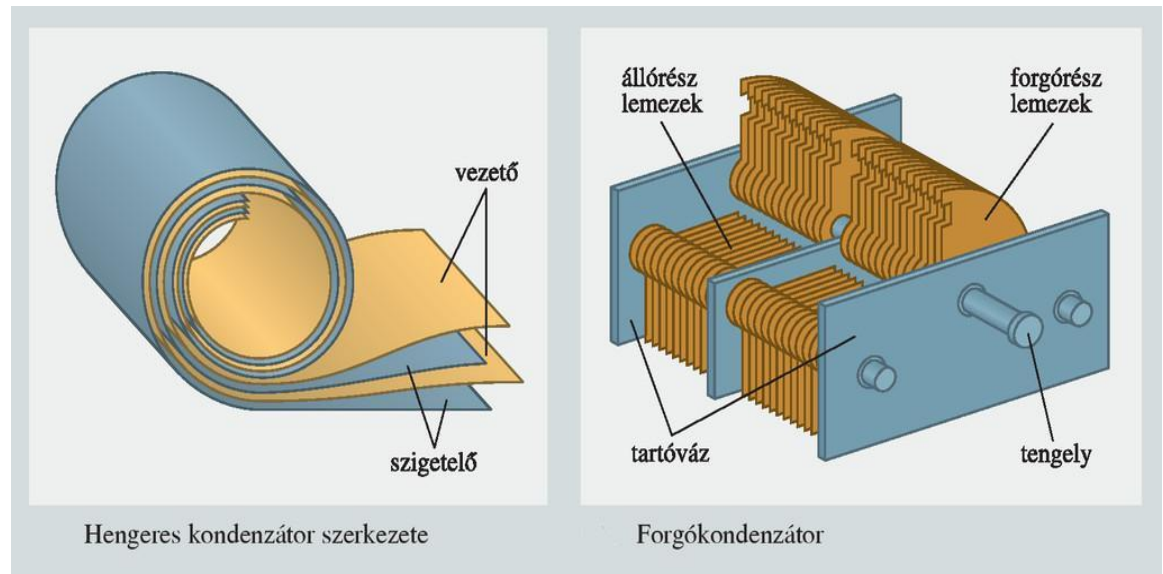
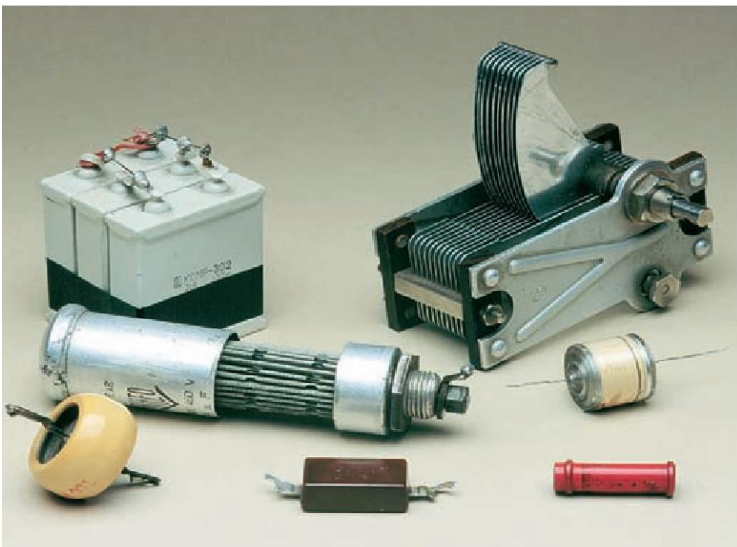
- **Kondenzátor energiája**

A kondenzátor két lemezének feltöltéséhez elektromos munkát kell végezni. Amikor pedig a Q töltéssel feltöltött, U feszültségű kondenzátor leadja töltését és semleges lesz, akkor az elektromos tere a töltések áramlását idézi elő és ehhez munkát végez. Tehát feltöltésekor munkavégző képessége, vagyis energiája lesz.

Az U feszültségre feltöltött kondenzátor energiája:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Kondenzátorokat használnak az elektronikai áramkörökben feszültség tárolásra, feszültség szabályozásra. Készítik különböző méretekben, alakokban.



- **Egyéb példák a kondenzátor felhasználására:**

A kondenzátor arra is használható, hogy feltöltve képes tárolni a töltését, feszültségét, majd egy alkalmas pillanatban ezt a töltést leadja és így rövid ideig tartó nagy áramot (töltésmozgást) tud előidézni.

Vaku: A kondenzátort az akkumulátor feltölti töltéssel, majd hirtelen „kisül”, hirtelen leadja töltését egy erős fényű lámpának, ami felvillan.

Defibrillátor: Hasonlóan a vakuhoz, az akkumulátor feltölti a kondenzátort, majd az hirtelen leadja töltését, és rövid ideig tartó áramot (kis áramütést) hoz létre.

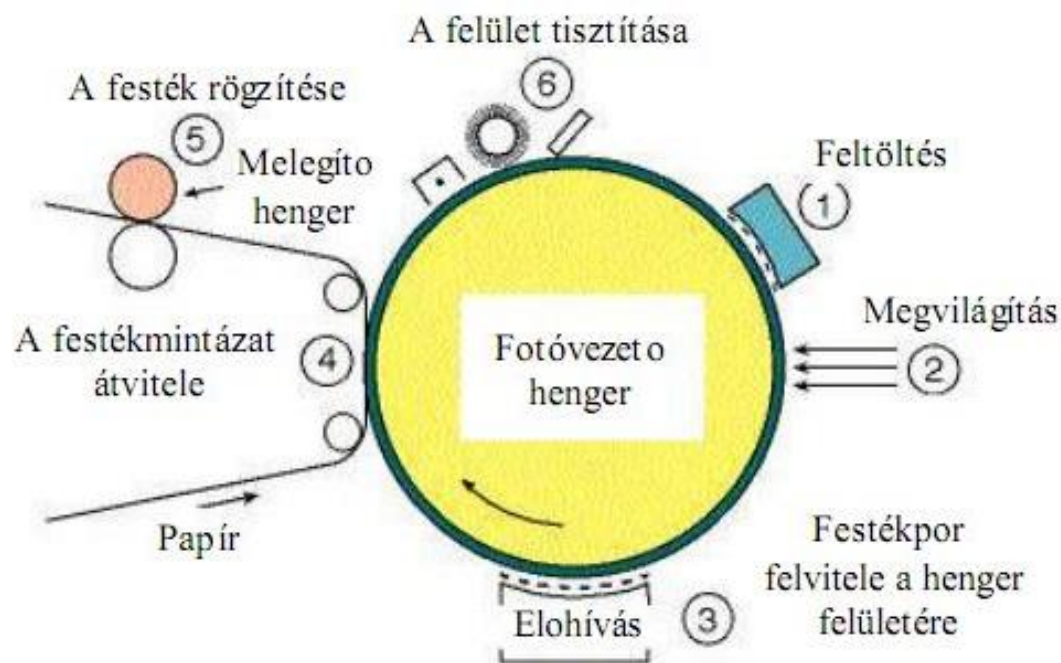


Fénymásoló lézernyomtató

A lézernyomtatók a fénymásolókkal azonos elven működnek:

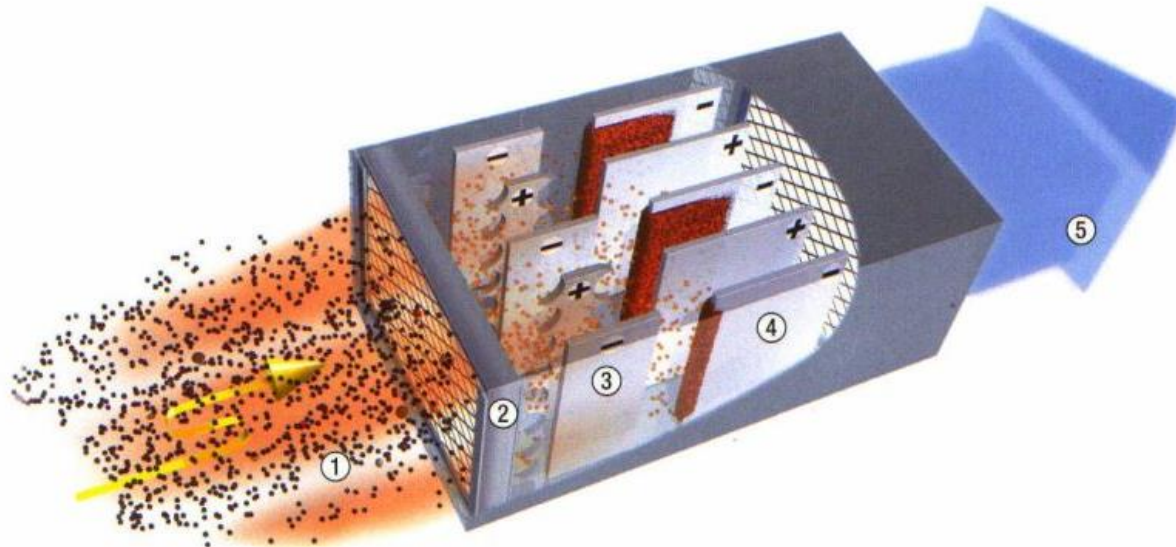
- fotóvezető réteggel borított henger felületén először fényhatással elektromos töltéskép formájában alakítjuk ki a nyomtatandó ábrát,
- a hengert festékpórral hozzuk érintkezésbe, és azon a töltésképnek megfelelően megtapad a festék,
- a hengerről a festéket ráhengereljük a papírra és ott beégetjük.

A lézernyomtató felépítése és működési elve



Elektrosztatikus légtisztító

Az elektrosztatikus szűrőfokozat mint egy erős mágnes magához vonzza a feltöltött parányi - 0,01 mikrométer - részecskéket is, és 99%-os hatásfokkal kiszűri a levegőből. Az elektrosztatikus elven működő készülékekkel az olyan egészségkárosító szennyező anyagok is, mint a dohányfüst, utcai porok, allergiát okozó háziporok, pollenek, gombaspórák, baktériumok, sőt számos vírusfajta is kiszűrhető.



Elektrosztatikus porfestés

Az elektrosztatikus festés során a festékszóróban porlasztás közben elektrosztatikusan feltöltött festékanyagot a festék elektromos töltésével ellentétes polaritású festendő felületre szórják. A kiszórt festékanyag az elektrosztatikus vonzás következtében jobban tapad a felülethez, és ugyancsak a vonzás következtében nagyobb része jut a festendő felületre (kisebb az anyagvesztés), mint a hagyományos eljárás esetén.



Van de Graaff generátor

A Van de Graaff generátorban motorral hajtott, selyem vagy más, alkalmas anyagú szalag a feszültségforrás segítségével néhány ezer volt potenciálra emelt csúcs közelében az abból a csúcshatás miatt távozó töltéshordozók révén töltésre tesz szert, amit a nagy méretű fémgömb belsejében levő másik csúcs szív le az oda behaladó szalagról. A töltés a fémgömb felületén oszlik el, így annak belsejébe tetszőleges mennyiségű töltés vihető be akadálytalanul. A fémgömb akár több millió volt feszültségre feltölthető, határt ennek csak a gömb szigetelése, illetve távolsága szab a környező tárgytól.

