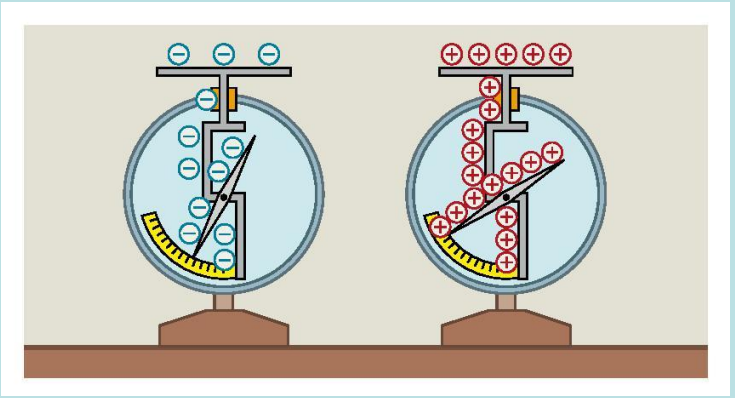


Elektrosztatika

MA DG 2019

Tartalom

1. Alapjelenségek
2. Elektromos állapot
3. Atomok felépítése
4. Vezetők
5. Szigetelők
6. Elektromos megosztás
7. Töltések a vezetőn
8. Faraday-kalitka
9. Coulomb törvénye
10. Elemi töltés
11. Elektromos térerősség
12. Homogén elektromos mező
13. Elektromos fluxus
14. Feladatok

Ősi megfigyelések

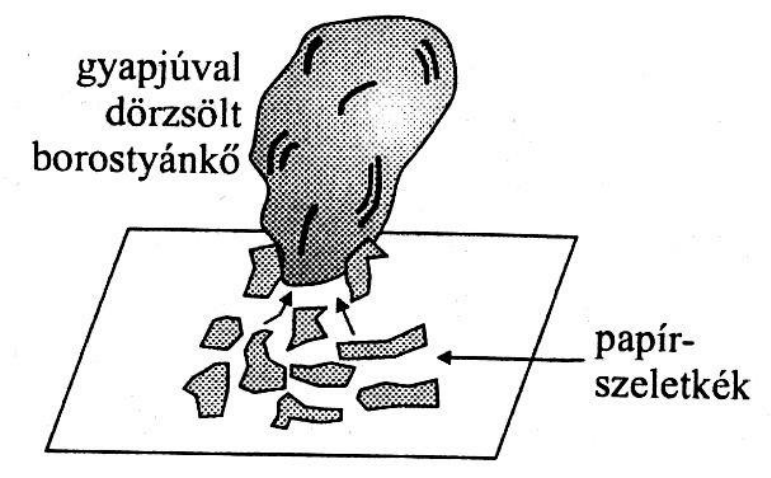
A gyapjúval megdörzsölt borostyánkő (fák megkövült gyantája) különleges hatásáról először a Milétoszi Thálesz tesz említést.(~ i.e. 600)

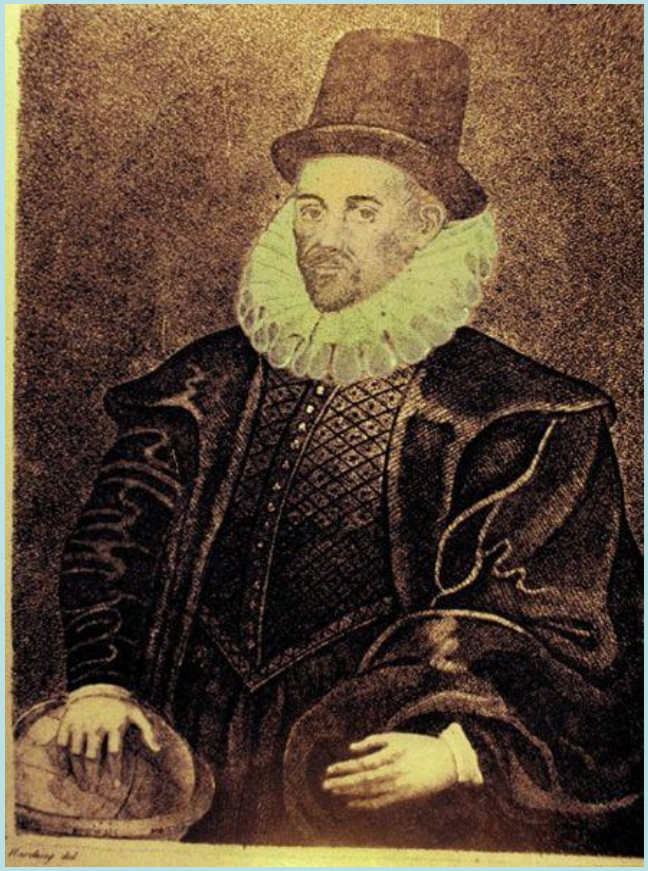
Tartalom

Elektromos hatás

A borostyánkő görög neve alapján (borostyánkő görögül: ηλεκτρον [elektron]) a jelenséget Gilbert elektromos hatásnak nevezte el.

Borostyánkő hatás: *electricus*





William Gilbert
(1544-1603)

Tartalom

Dörzselektromosság

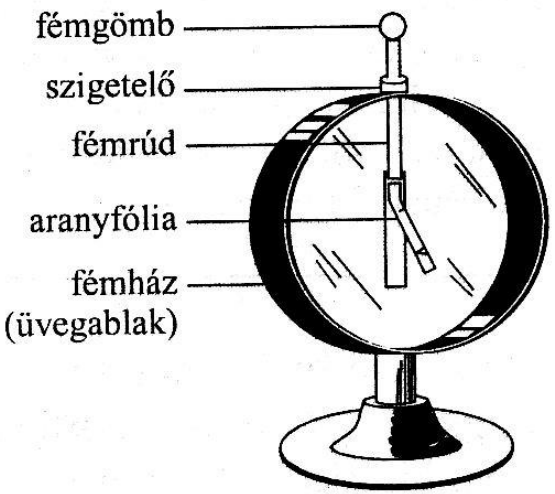
Dörzselektromosság

Öltözködés közben a hajunk és a pulóver ellentétes elektromos állapotú lesz.

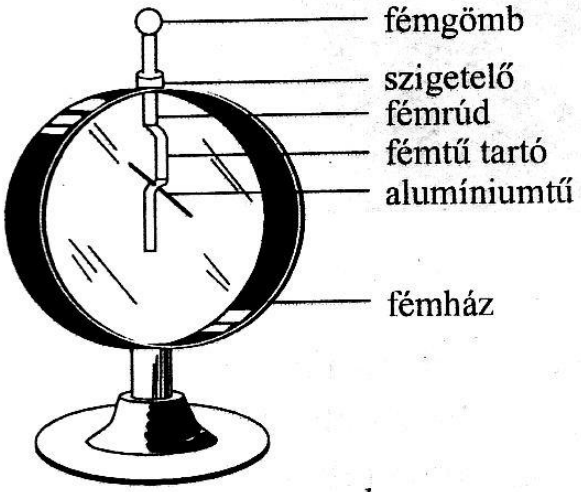
Tartalom

Elektroszkóp

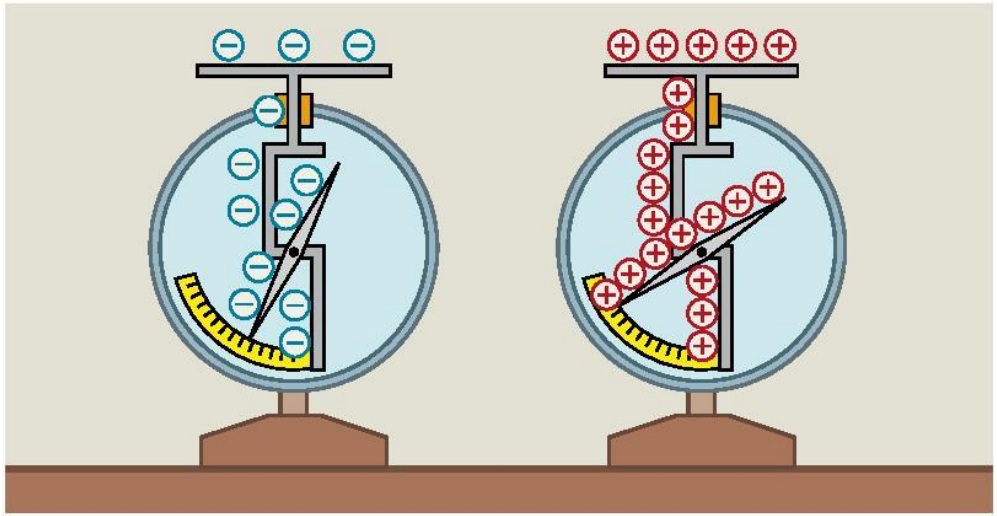
Elektromos töltés jelenlétének kimutatása



a.



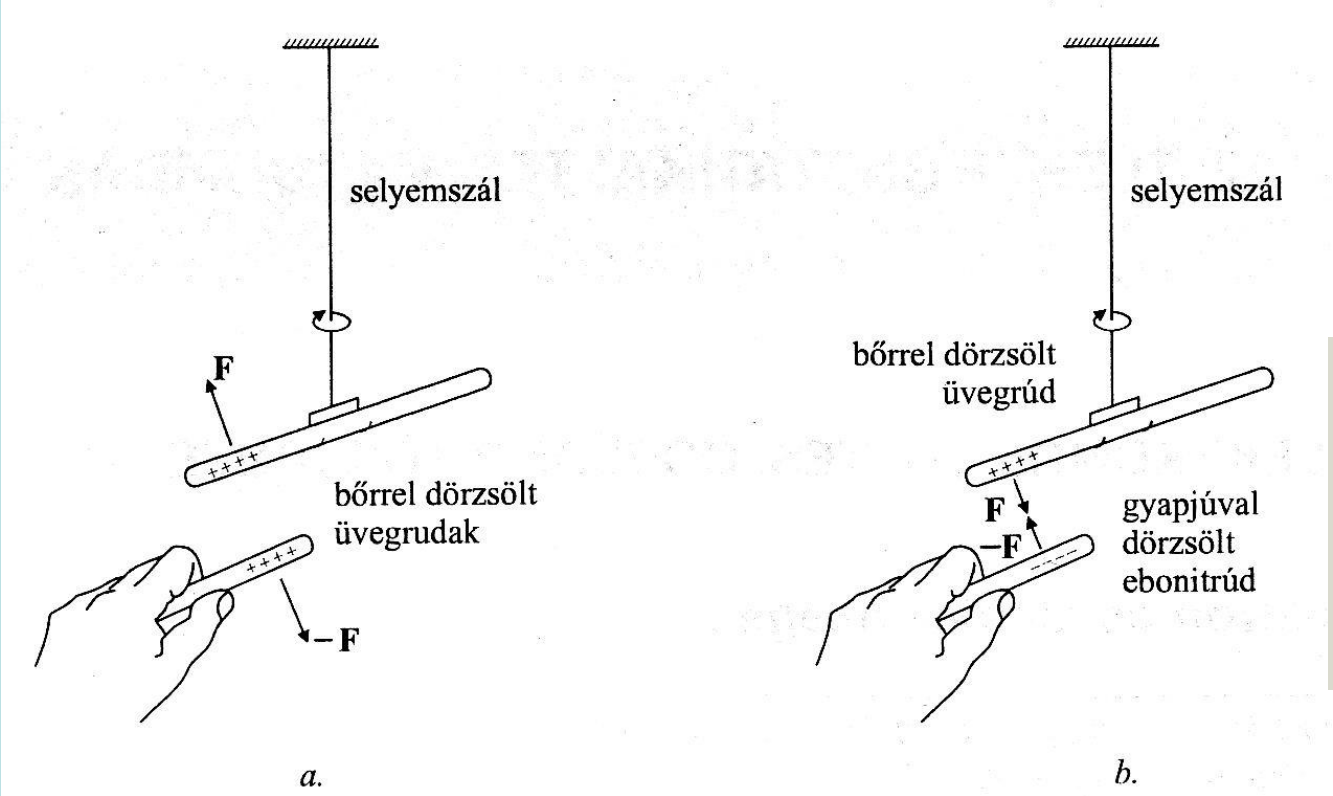
b.

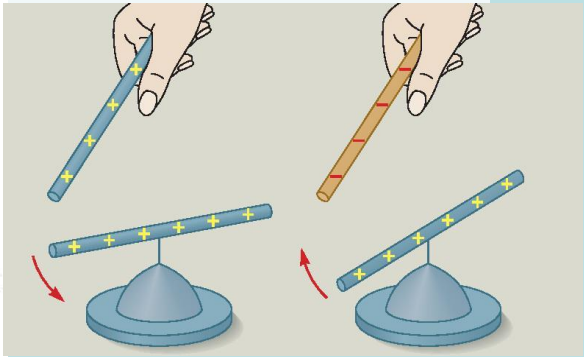


Tartalom

Elektromos állapot

- Dörzsölés → elektromos állapot
- Feltételezés: elektromos töltések jelenléte





Tartalom

+ *és* - *töltések*

bőrrel dörzsölt üveg: + (**pozitív** töltések)

gyapjúval dörzsölt borostyánkő: - (**negatív** töltések)

Elektromos töltés jele: *Q*

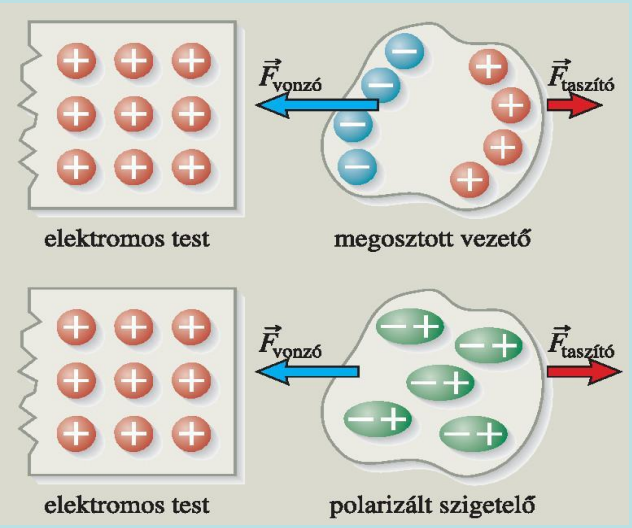
Egynemű töltések: **taszítás**

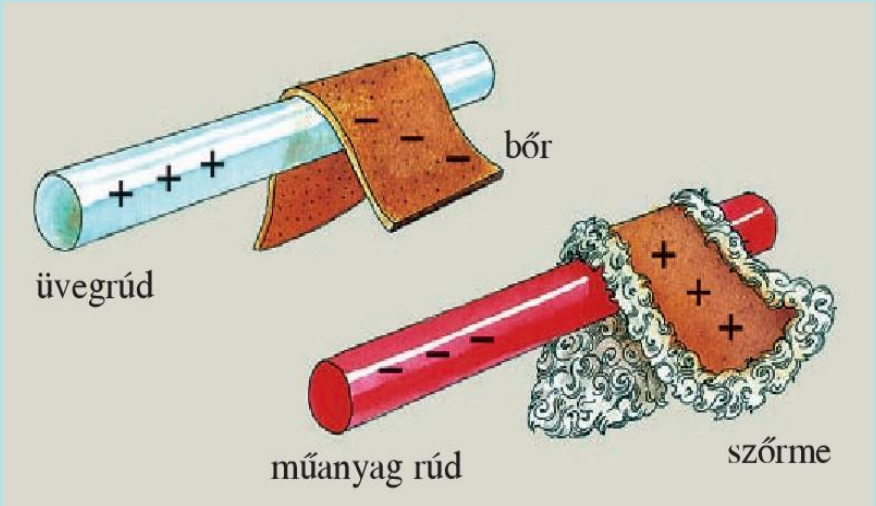
Különnemű töltések: **vonzás**

Töltés közelében lévő testben: **megosztás, polarizáció**

Dörzsölés: különnemű töltések **szétválasztása**

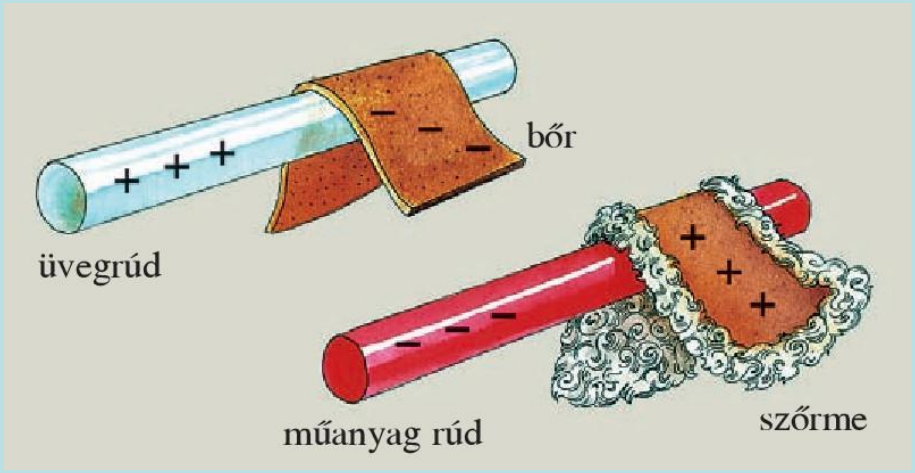
Érintkezés: a töltések **átmehetnek egyik testről a másikra**

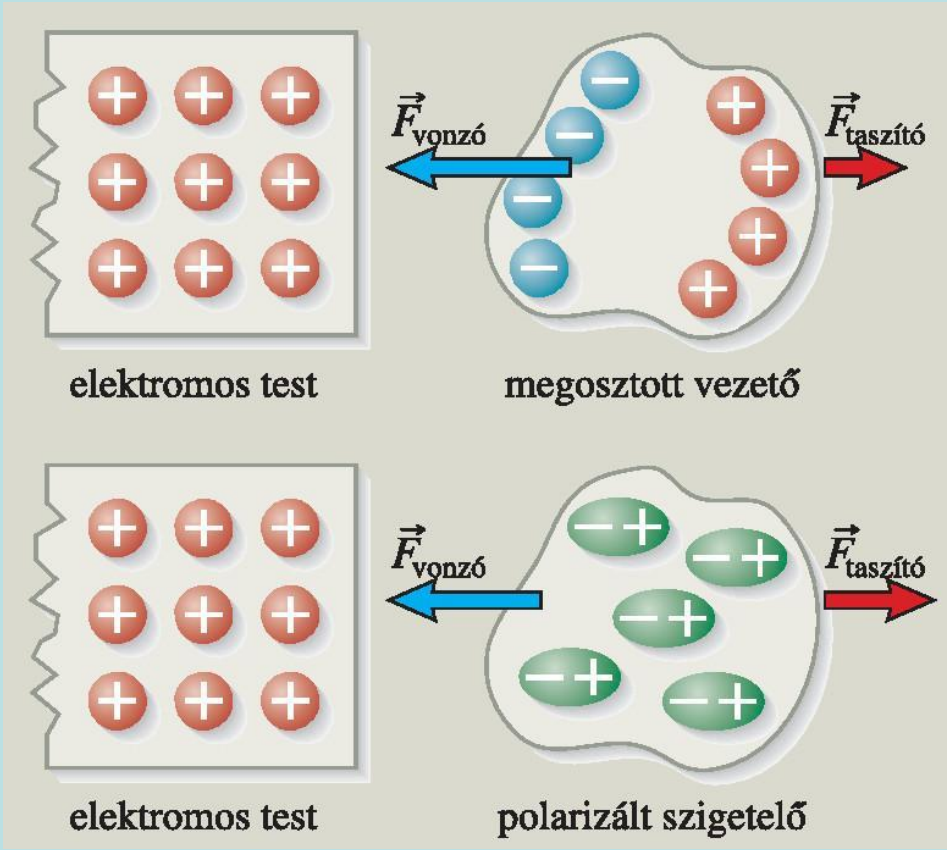




Tartalom

Dörzsölés, elektromos testek közelítése





Tartalom

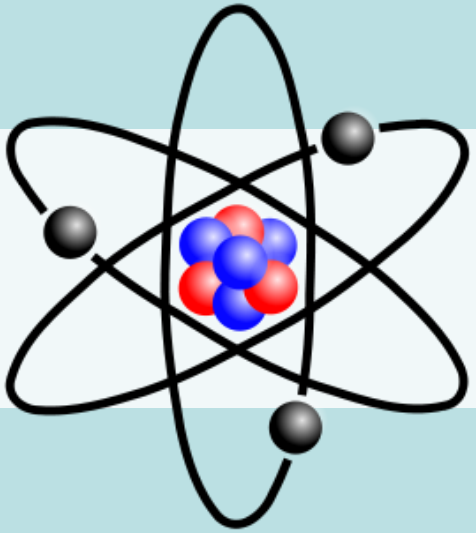
Alapjelenségek

A bőrrel dörzsölt üvegrúd és a műszállal dörzsölt ebonitrúd a tollpihét vonzza.

A bőrrel dörzsölt üvegrúd és a műszállal dörzsölt ebonitrúd a keskeny sugárban folyó vizet eltéríti.

Tartalom

Atomok felépítése



- Anyag alaptulajdonsága
- Anyag: atomokból áll

atom (~ 10^{-10} m)

atommag (~ 10^{-15} m)

elektronfelhő

protonok (+)

neutronok

elektronok (-)

Az atomok pozitív protonokból és semleges neutronokból álló atommagot és negatív elektronokból álló „elektronfelhőt tartalmaznak”

Tartalom

Gondolkodtató kérdések

Kérdés: Miért nem célszerű a tv-képernyőt száraz ruhával portalanítani?

Válasz: Amikor száraz ruhával töröljük feltöltődik. Magához vonzza a levegőben lévő porszemcséket.
Ezért törölgetés után jobban porosodik.

Kérdés: Miért nem simul le a frissen mosott száraz haj, ha műanyag fésűvel fésüljük?

Válasz: Fésülés során, mivel dörzsölődnek, mind a fésű, mind a hajszálak elektromos állapotba kerülnek. A hajszálak elektromos állapota megegyező, ezért közöttük taszító hatás lép fel, a hajszálak szétágaznak.

Tartalom

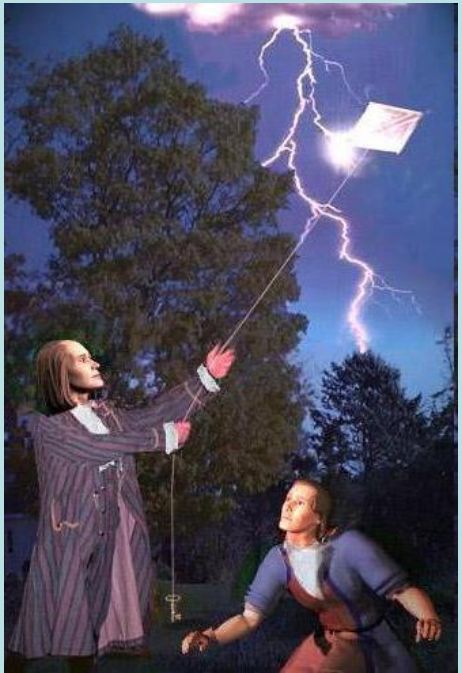
Benjamin Franklin

1706 - 1790

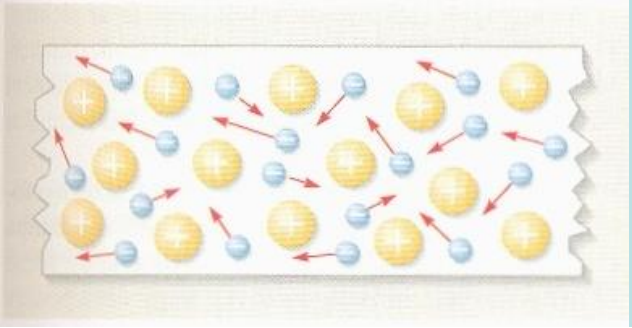
- A töltések pozitív és negatív elnevezése Benjamin Franklintól származik, *aki tévesen feltételezte, hogy csak egyfajta mozgásra képes töltésfajta létezik*, és ennek többletét nevezte pozitívnak, a hiányát negatívnak.

- Az elnevezést a mai napig megtartottuk, annak ellenére, hogy **választása szerencsétlenül sikerült**, hiszen a fémekben a mozgásra képes elektronokról kiderült, hogy a töltésük negatív.

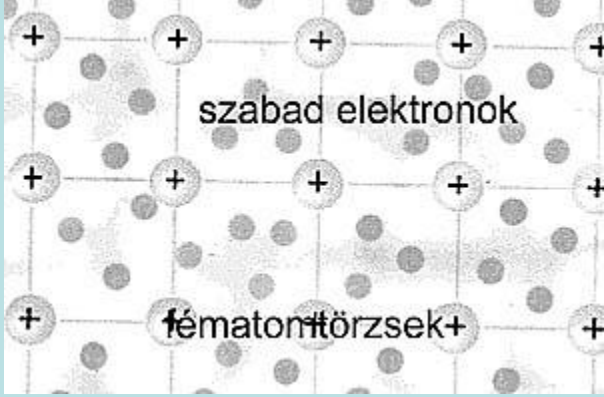
- Franklin elektromos kísérletei vezettek a **villámhárító** feltalálásához. Észrevette, hogy a hegyes végű vezetők képesek csendesen levezetni a kisülést, méghozzá jóval távolabbi helyen is.

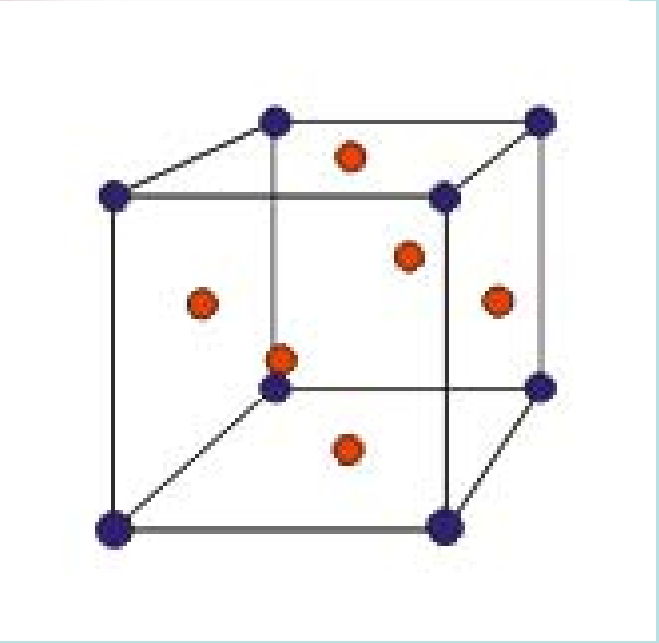


Tartalom



Vezetők





- A **fémekben** elmozdulásra képes szabad elektronok és helyhez kötött pozitív ionok vannak.
- Az elektromos állapot gyorsan terjed (a töltéshordozók egy része könnyen mozog).
- Jó vezetők: fémek, szén, emberi test, föld, sók vizes oldatai ...

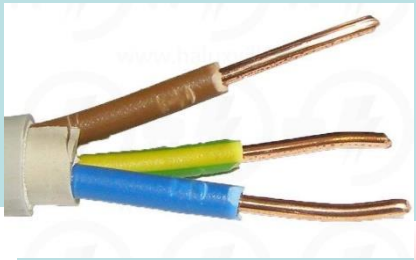
Tartalom

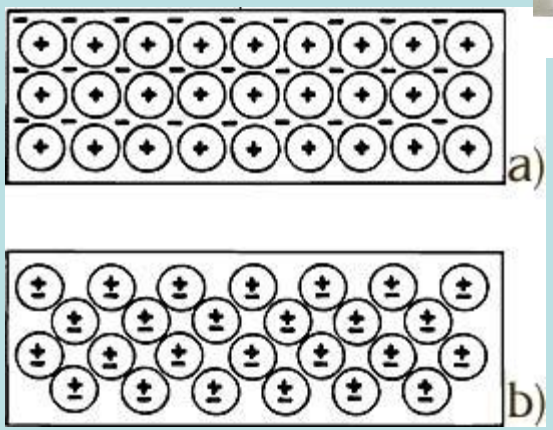
Szigetelők

A szigetelők olyan anyagok, amelyekben nincs szabad töltésáramlás.

Ha egy szigetelőt dörzsöléssel feltöltünk, **csak a dörzsölt terület válik elektromosan töltötté**. A töltés nem terjed át az anyag más részeire.

Jó szigetelők: borostyánkő, kvarc, üveg, sok olaj, levegő(?) ...





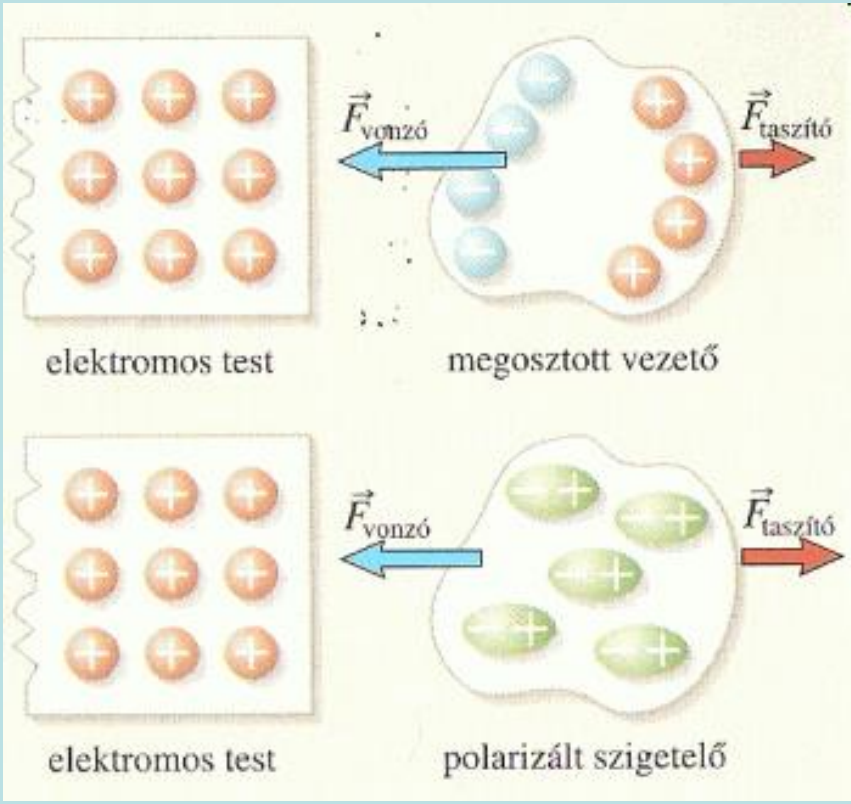
Tartalom

Elektromos megosztás

Egy elektromos állapotú test a semleges testet is vonzza. A vezetőkön elektromos megosztást, a szigetelőkön elektromos polarizációt idéz elő.

Elektromos megosztás, amikor az elektromos mező megszünteti az eredetileg semleges fémtestben az elektronok egyenletes eloszlását.

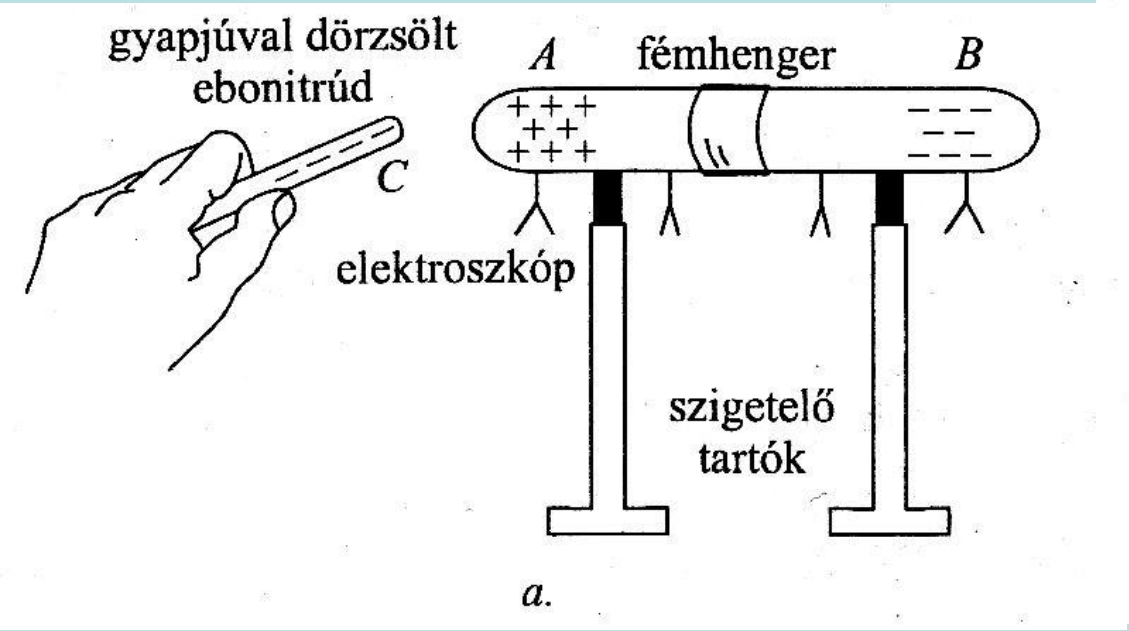
Szigetelő anyagoknál dipólusokat hoz létre azáltal, hogy a molekulákon belül a szimmetrikus elhelyezkedésű töltések súlypontját eltolja. A szigetelő elektromosan polarizálódik.

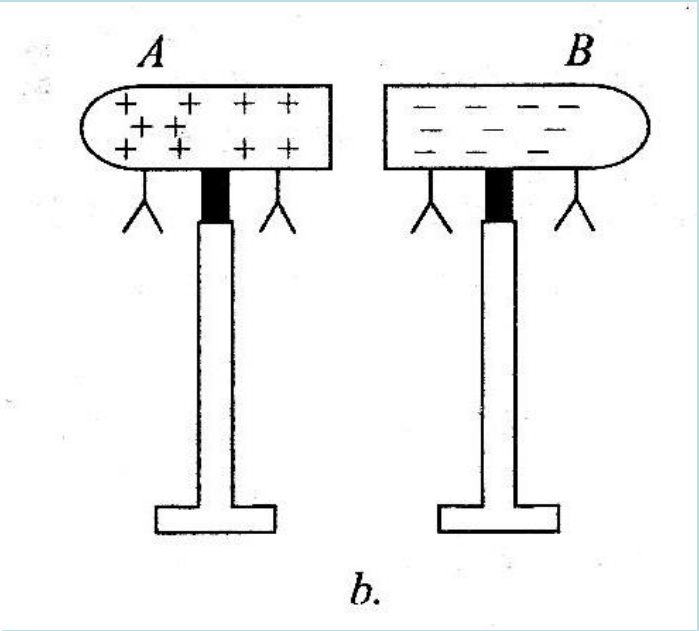


Tartalom

Elektromos megosztás (influencia) fémekben

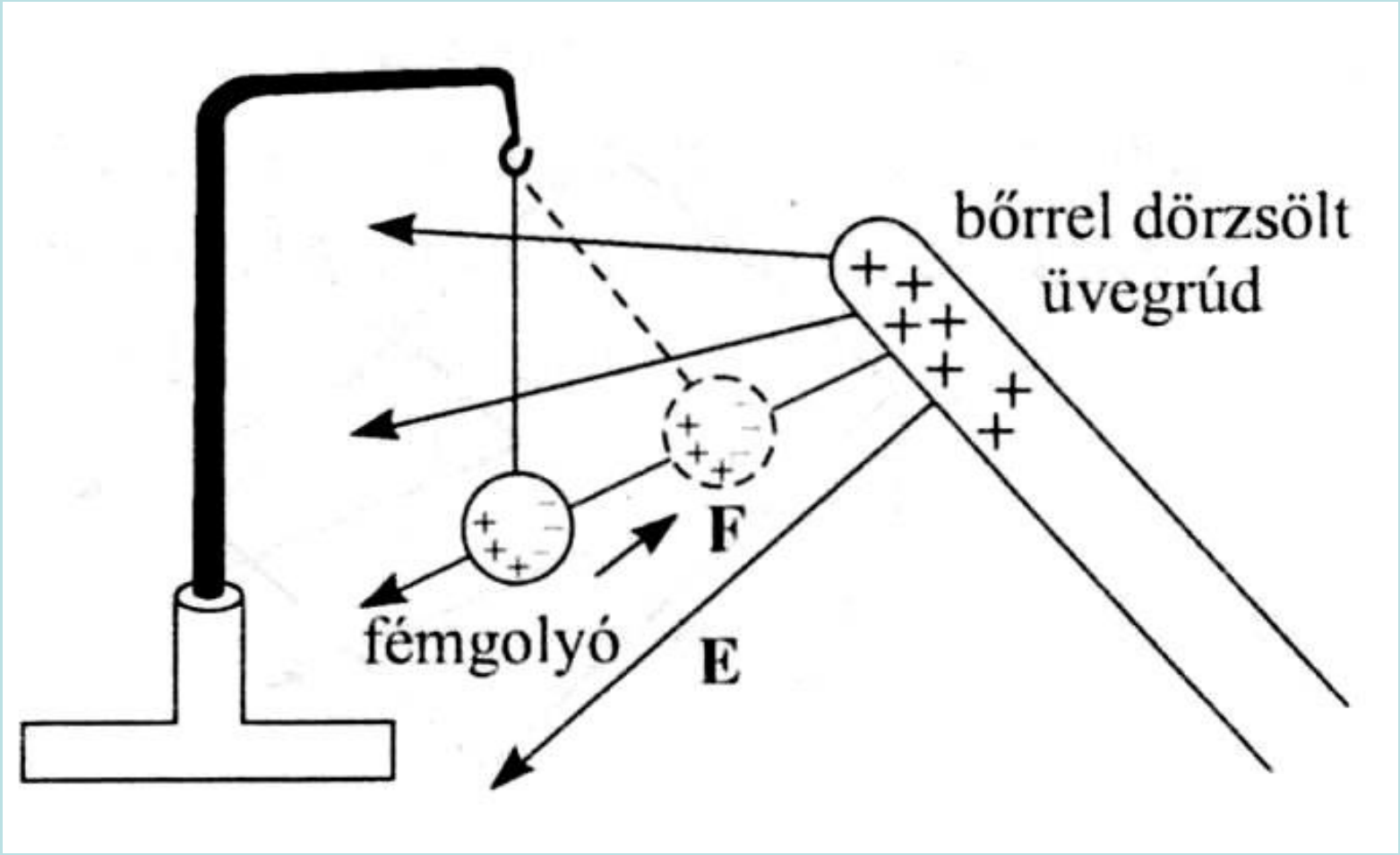
Elektromos megosztás (influencia)
→ indukált töltés





Tartalom

Megosztás jelensége



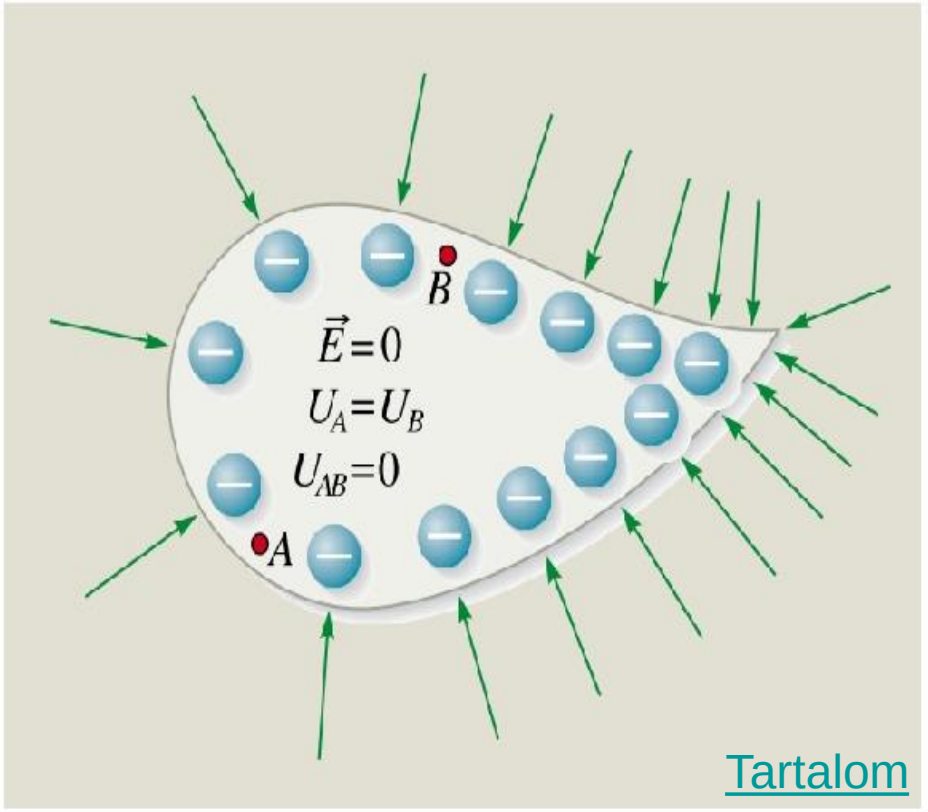
A semleges fémgolyót vonzza az üvegrúd (megosztás jelensége)

Tartalom

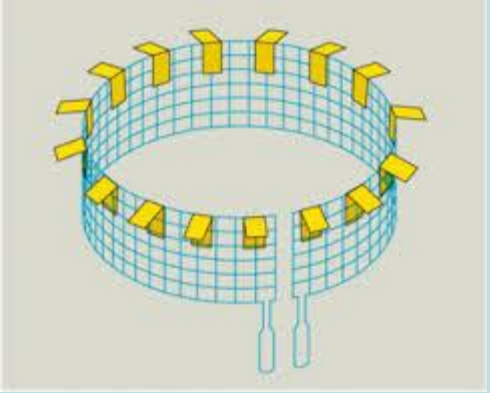
Töltések a vezetőn

A vezetőre vitt többlettöltés a taszítás miatt mindig a vezető külső felületén helyezkedik el, minél távolabb a többi töltéstől.
A legnagyobb töltéssűrűség a csúcsokon alakul ki. Sztatikus elektromos állapotban a vezető belsejében a térerősség zérus.

A vezetőfelülettel körülvett térrész elektromosan árnyékolt.
Sztatikus állapotban az erővonalak csak a vezető felületére merőleges helyzetűek lehetnek.
Nyugalmi elektromos állapotban a vezető pontjai között nincsen feszültség.



Tartalom



Faraday-kalitka

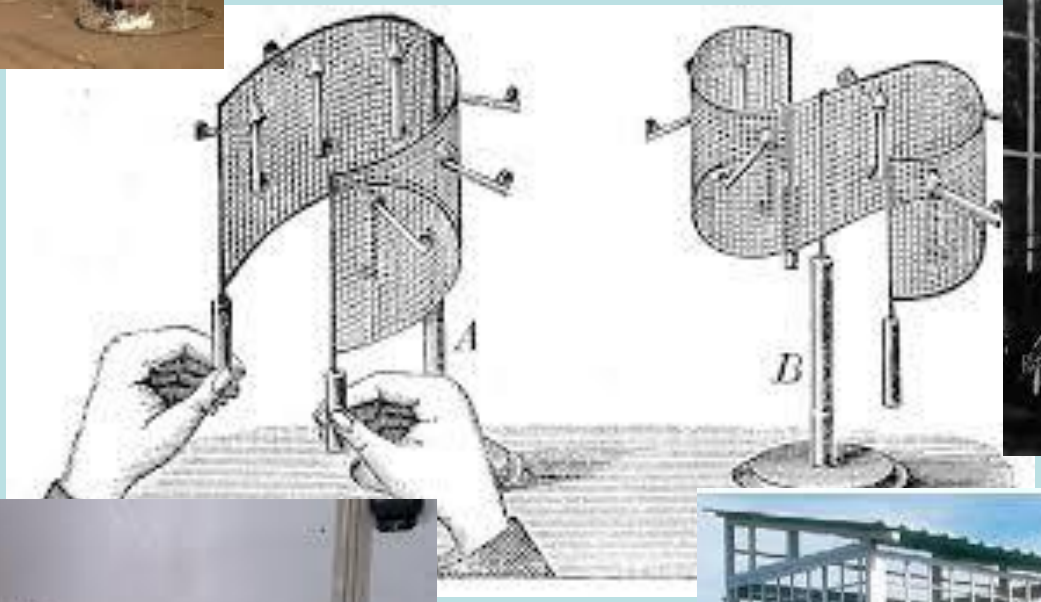
1791-1867

- **A vezetőre vitt többlettöltés mindig a vezető felületén helyezkedik el.**

- A **Faraday-kalitka** az elektromágneses hatás kiküszöbölésére szolgáló, **fémhálóval körülvett térrész, amelybe** a fémháló védőhatása folytán a külső elektromos erőtér nem hatol be („árnyékolás”).
- Ezzel magyarázható például az is, hogy a vasbeton szerkezetből készült épületekben legtöbbször nincs elég térerő a mobiltelefonok működéséhez.

Tartalom

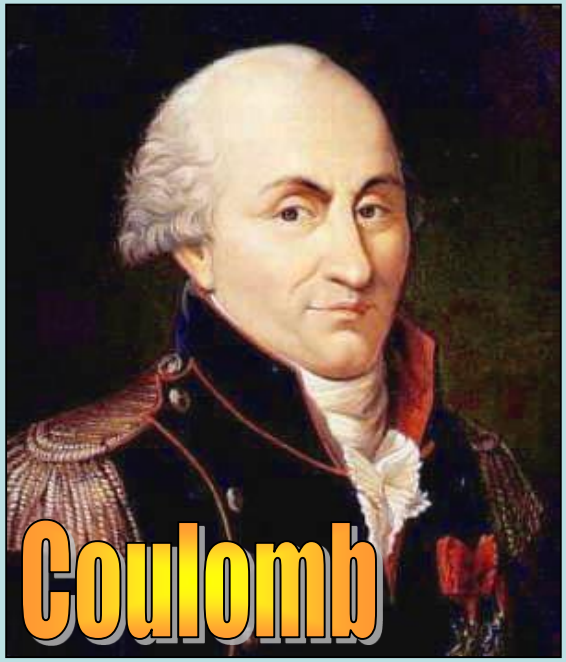
Faraday-kalitka



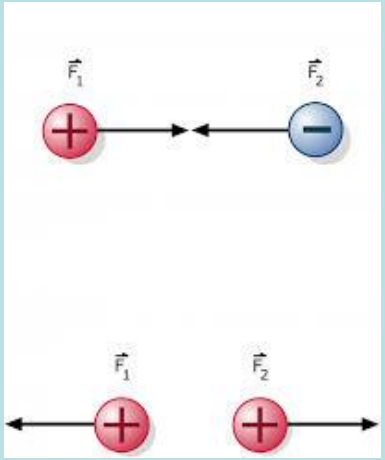
Tartalom

Coulomb törvénye

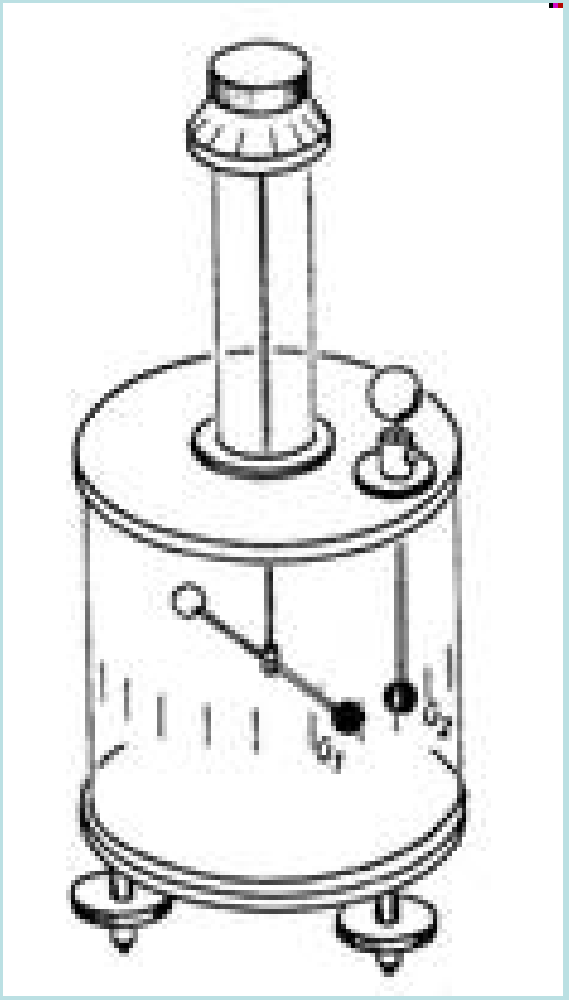
A Coulomb-törvény két pontszerű test közötti elektrosztatikus erőt írja le.



k = ?



$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



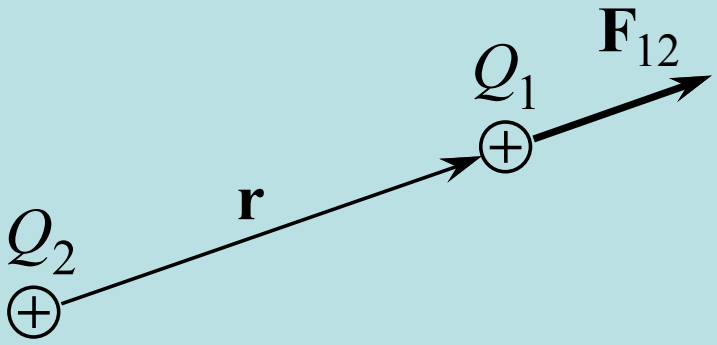
Két elektromosan töltött test között fellépő erő egyenesen arányos a két töltésmennyiség szorzatával, és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével.

Tartalom

Elektromos töltés mértékegysége

A ***k* arányossági tényező** megállapításához definiálni kellett az egységnyi töltésmennyiséget. A töltés SI-mértékegysége a *coulomb* nevet kapta. Jele: C.

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$



Az 1 C pontszerű töltés a vele egyenlő nagyságú pontszerű töltésre 1 m távolságból légüres térben $9 \cdot 10^9$ newton erőt fejt ki.

Tartalom

Gondolkodtató kérdések

Kérdés: Miért nyújt villámvédelmet a fém karosszériájú autó?

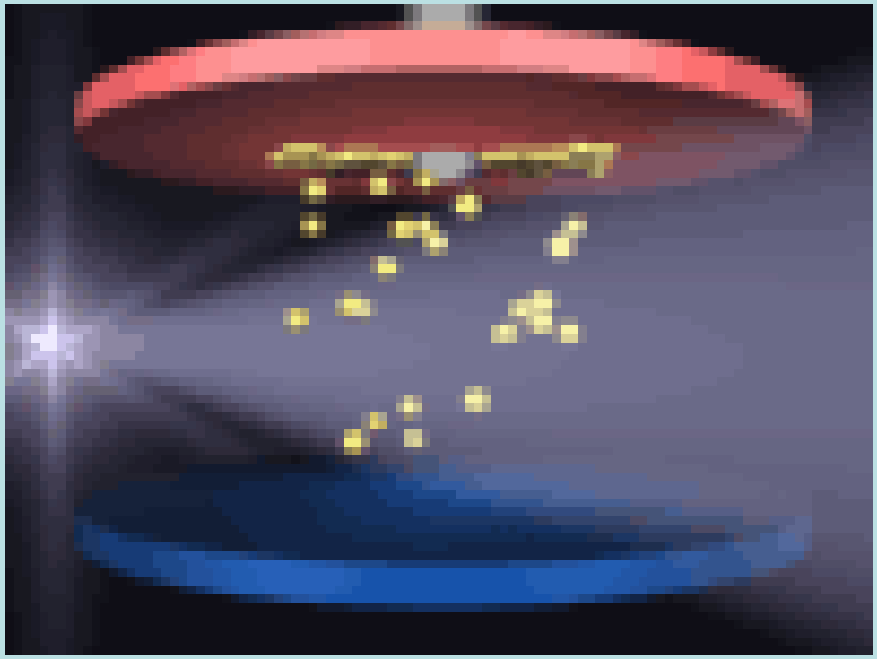
Válasz: A fémtestben kialakított üreg belsejébe a külső elektromos mező nem hatol be. Ezt a hatást nevezzük árnyékolásnak. Az árnyékoló hatás védi a fémből készült repülőgépek és gépkocsik utasait viharban a villámoktól.

Kérdés: Miért helyezik az érzékeny elektromos műszereket fémházba?

Válasz: A fémház kizárja a külső elektromos tér hatását, amely hatás különben zavarná a műszer működését, és téves értékeket mutatna.

Tartalom

Millikan kísérlet (1911)



Elektromosan töltött olajcseppeket juttattak kondenzátor lemezek közé.

Így vizsgálták a cseppek töltését.

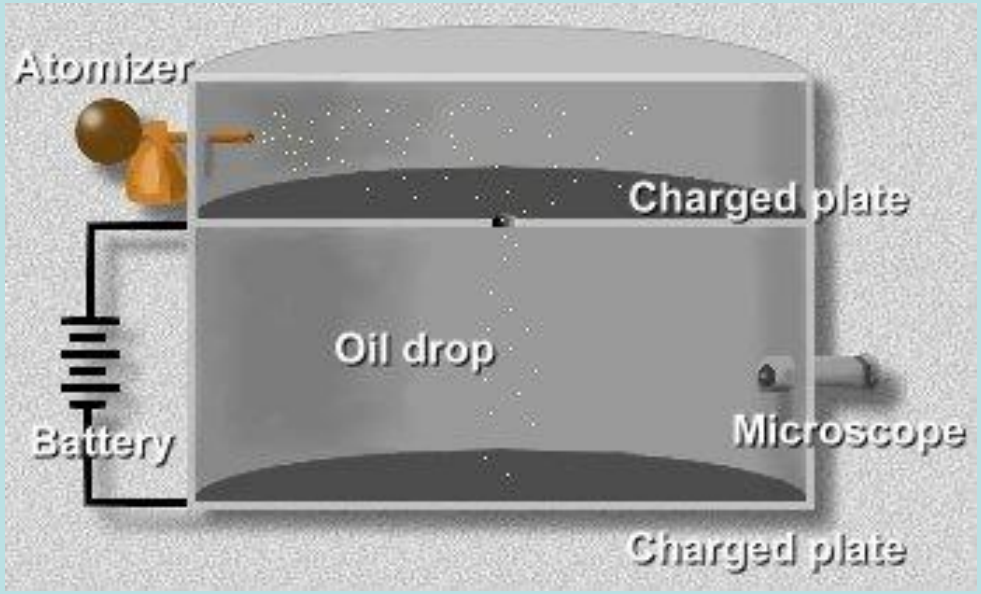
Minden csepp töltése egy úgynevezett „elemi töltésnek” az egész számú többszöröse volt!

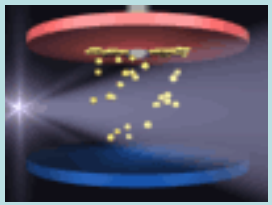
Robert Andrews Millikan 1868-1953

Nobel-díj 1923-ban

Tartalom

Elemi töltés





$$q \cdot E = m \cdot g$$

$$q = \frac{m \cdot g}{E}$$

Az elektron töltése az elektromos töltés legkisebb adagja, az úgynevezett elemi töltés: $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Tartalom

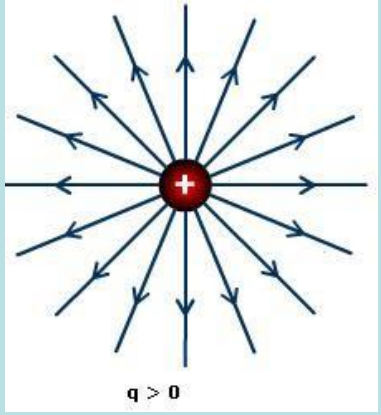
Töltésmegmaradás törvénye

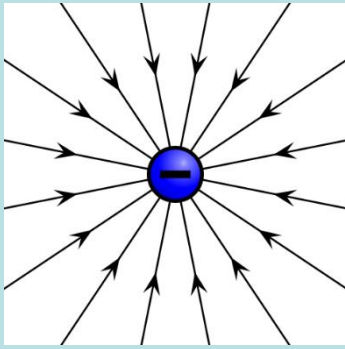
Ha az összedörzsölt semleges testek egyikén Q többlettöltés jelenik meg, akkor a másik testen –Q töltés található.

A folyamatokban részt vevő töltéshordozó részecskék ugyanúgy viszik magukkal töltésüket, mint tömegüket csak a töltések előjelesen összegződnek.

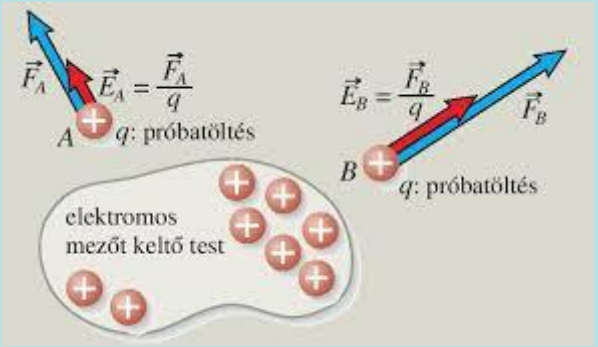
A töltésmegmaradás törvénye: **Zárt rendszerben az elektromos töltések előjeles összege mindig állandó.**

Tartalom





Elektromos térerősség

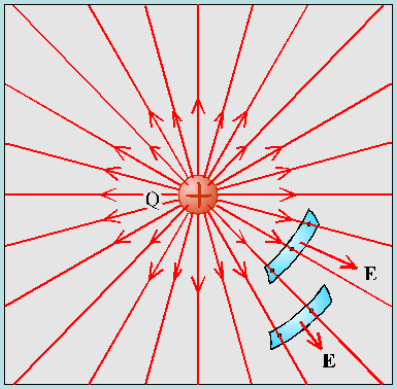


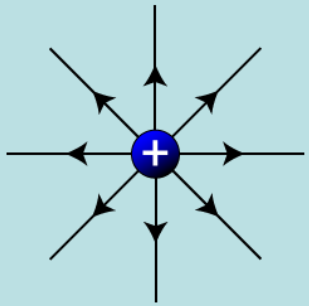
Elektromos mező erősségének meghatározása

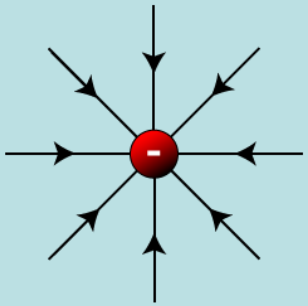
Tartalom

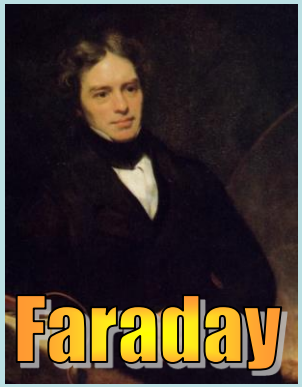
Az elektromos töltések módosítják a teret.

Elektromos mező







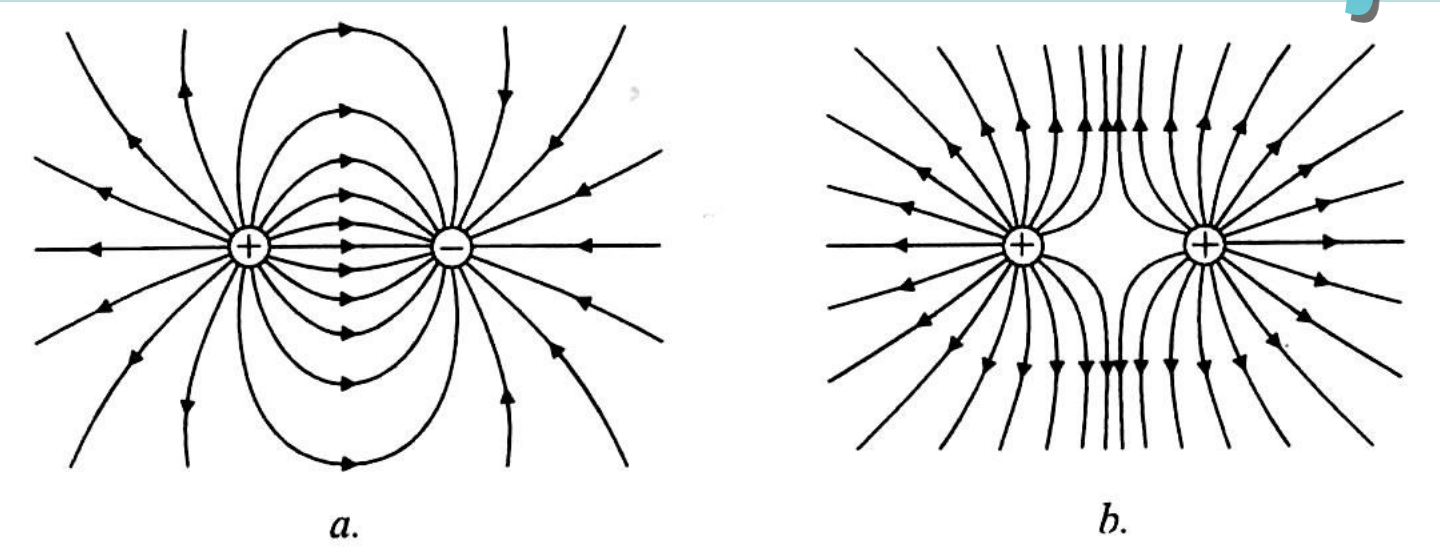


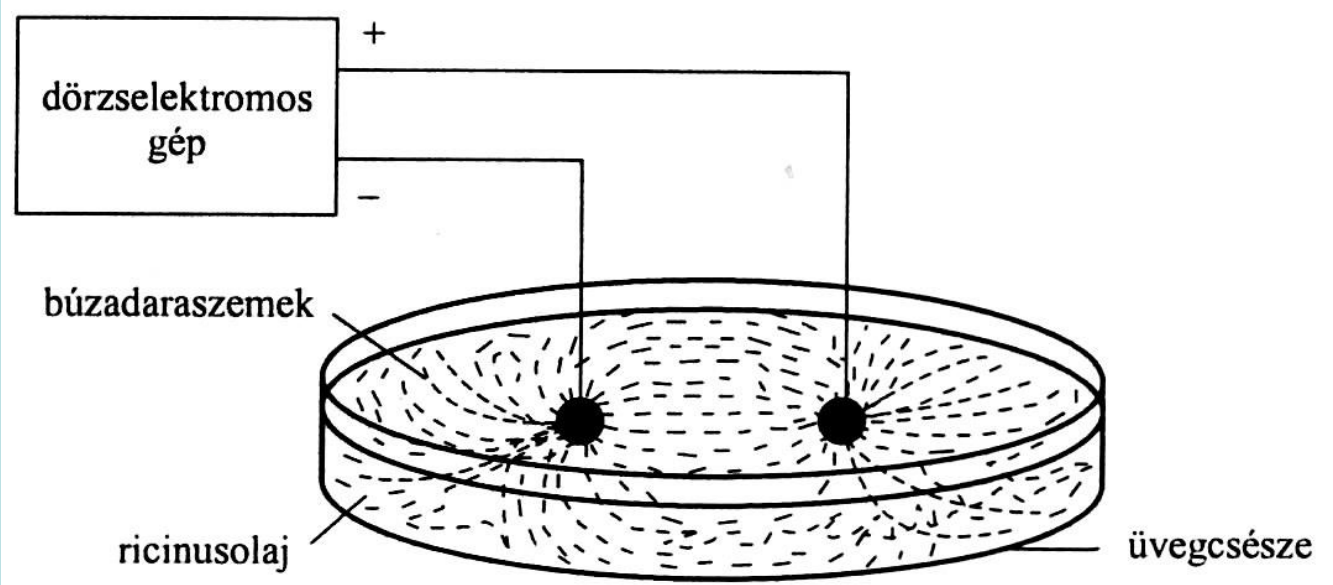
A töltések maguk körül elektromos mezőt hoznak létre.
Az elektromos kölcsönhatáshoz nem kell a testeknek közvetlenül érintkezniük.
Akkor is létrejön, ha légüres térben végezzük el a kísérletet.

A mezőt először Faraday vizsgálta, tudjuk, hogy ez a mező nem atomi felépítésű, **egy bele helyezett próbatöltés segítségével lehet vizsgálni** a próbatöltésre ható erőt. Ott erősebb a mező, ahol a próbatöltésre nagyobb erő hat.

Tartalom

Búzaszemek ricinusolajban

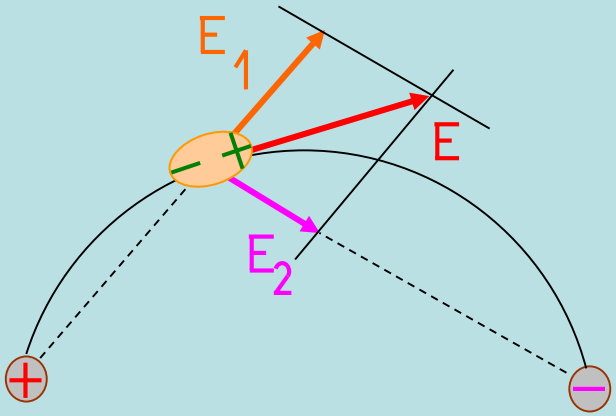




Tartalom

Elektromos erővonalak

Az elektrosztatikus **mezőt erővonalak (**képzeletbeli görbék) **segítségével szemléltetjük**.



Az erővonalak legfontosabb jellemzői:

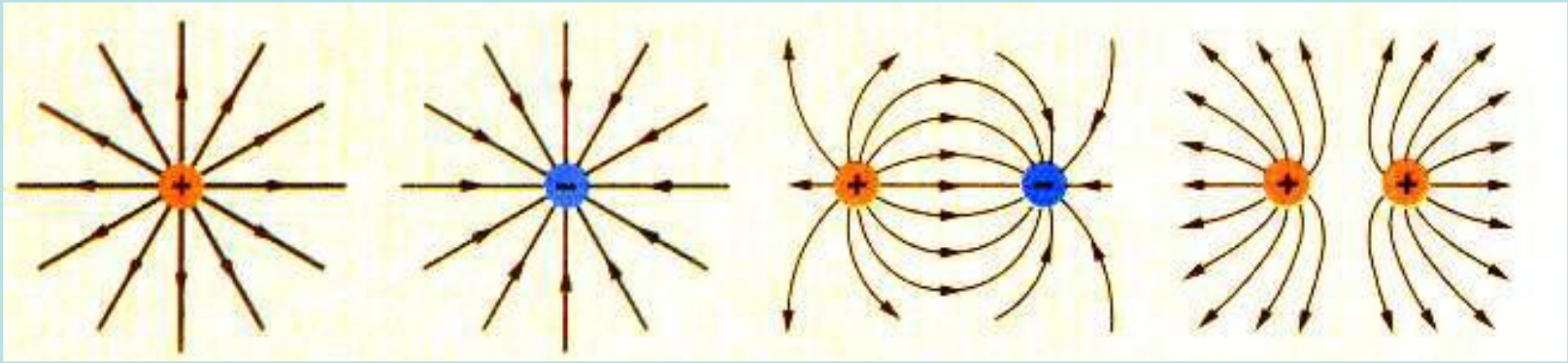
❶ Az erővonalakhoz húzott érintő megadja a térerősség irányát (pozitív töltésre ható erő irányát).

❷ Az erővonalak sűrűsége arányos a térerősség nagyságával.

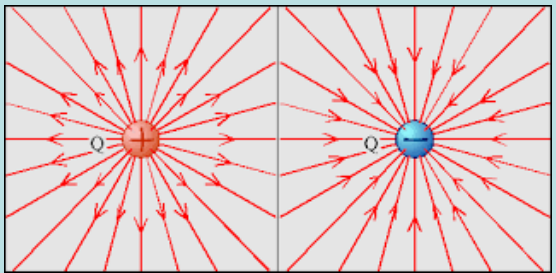
Tartalom

Elektromos erővonalak tulajdonságai

- A pozitív töltés esetén a töltésből indulnak az erővonalak, negatív töltés esetén a töltés felé mutatnak az erővonalak
- Kettő vagy több töltés által létrehozott térben „elhajlanak” az erővonalak



Ponttöltés elektromos tere.
A nagyobb töltést sűrűbb erővonalakkal szemléltetjük.



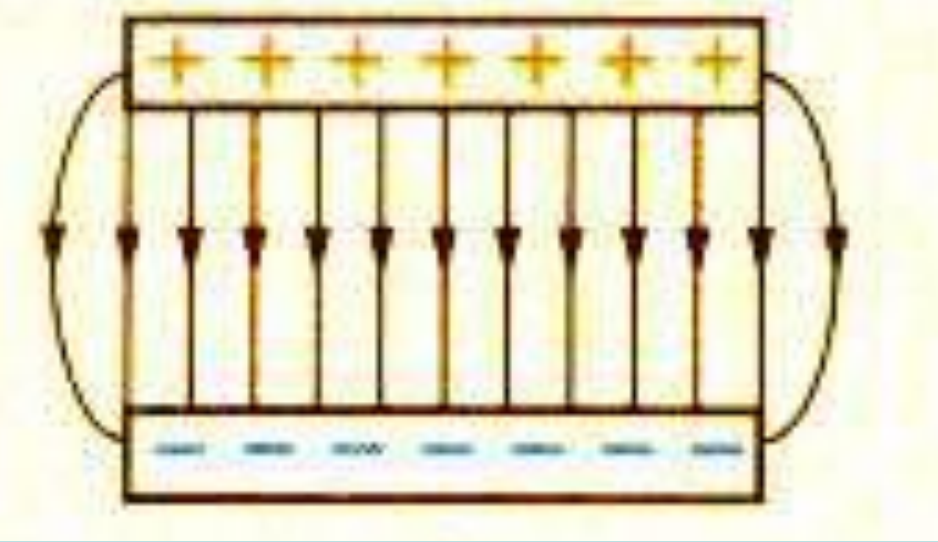
Egyforma nagyságú, ellentétes előjelű és azonos előjelű töltések elektromos tere.

Tartalom

Homogén elektromos mező

A homogén elektromos mezőről akkor beszélünk, ha a mező minden pontjában ugyanolyan nagyságú és irányú a térerősség.

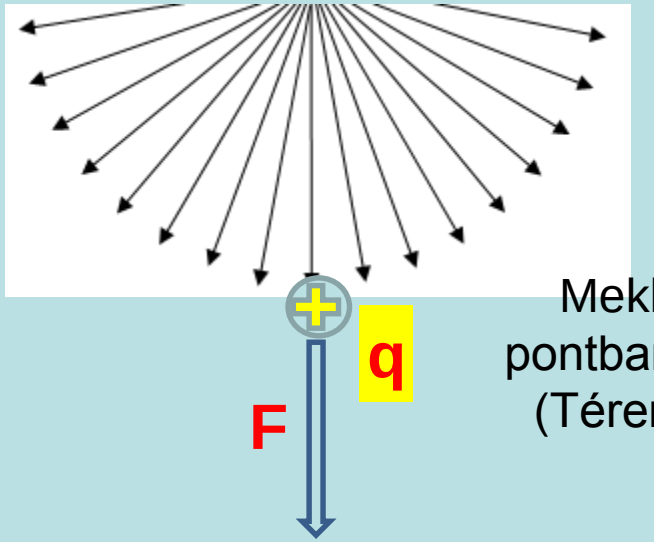
Mivel a homogén mezőben a térerősség vektor mindenhol ugyanakkora, ezért a homogén mező erővonalai párhuzamosak és az erővonalak sűrűsége mindenhol ugyanakkora.



Homogén elektromos mező

Tartalom

Az elektromos térerősség

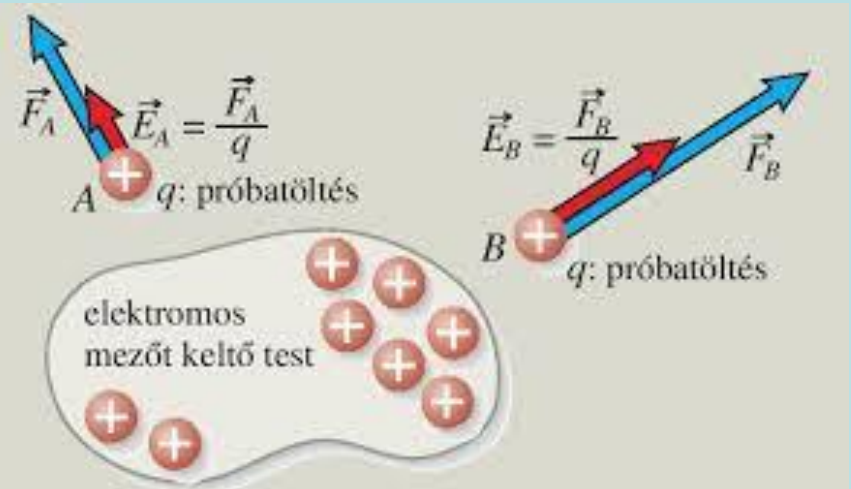


Mekkora ebben a pontban a térerősség? (Térerősség jele: E)

Nem feltétlen ismerjük a tér forrását, csak azt tudjuk, hogy elektromos tér van jelen.

A térerősség ebben a pontban az egységnyi pozitív töltésre ható erő.

Meghatározása: a q próbatöltésre töltésre ható **erő osztva a töltés nagyságával**.



Számítás:

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

q: próbatöltés, amellyel érzékeljük, vizsgáljuk a teret

F: a próbatöltésre ható erő

Tartalom

Az elektromos térerősség

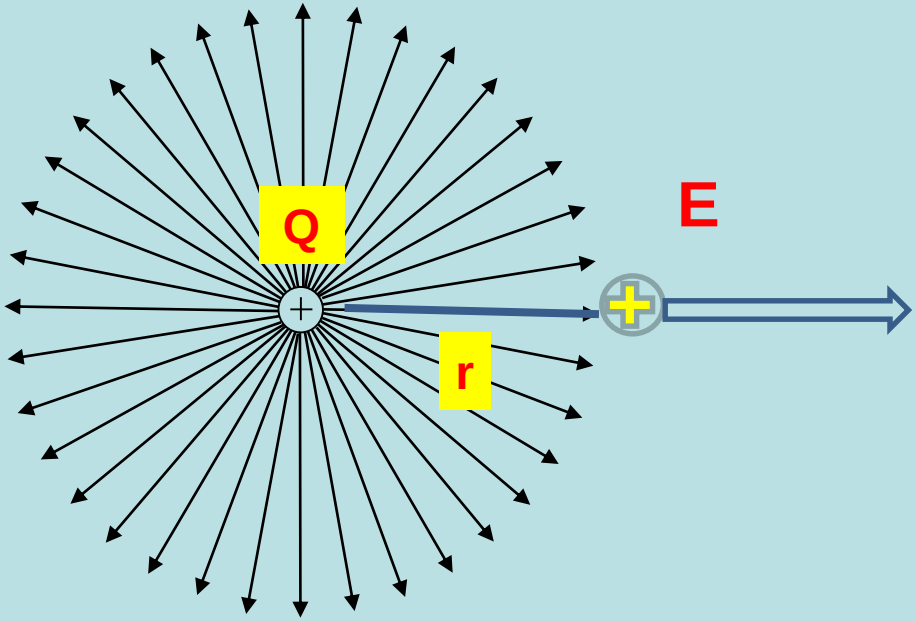
Az elektromos térerősség megmutatja, hogy az adott elektromos mezőben mekkora **az egységnyi töltésre jutó erő nagysága**. Jele: E.

Kiszámítása: $E = \frac{F}{q}$ Mértékegysége: $\frac{N}{C}$

A **térerősség vektormennyiség**. Irányának (megállapodás szerint) a pozitív próbatöltésre ható erőt tekintjük.
A nyugvó töltések által keltett elektromos mező a helytől függ, az időtől nem, ezért elektrosztatikus mezőnek nevezzük.

Tartalom

Elektromos térerősség
a teret létrehozó Q töltéstől r távolságra



Ismerjük a tér forrását!

Mekkora a térerősség a teret létrehozó Q töltéstől r távolságban?
E=?

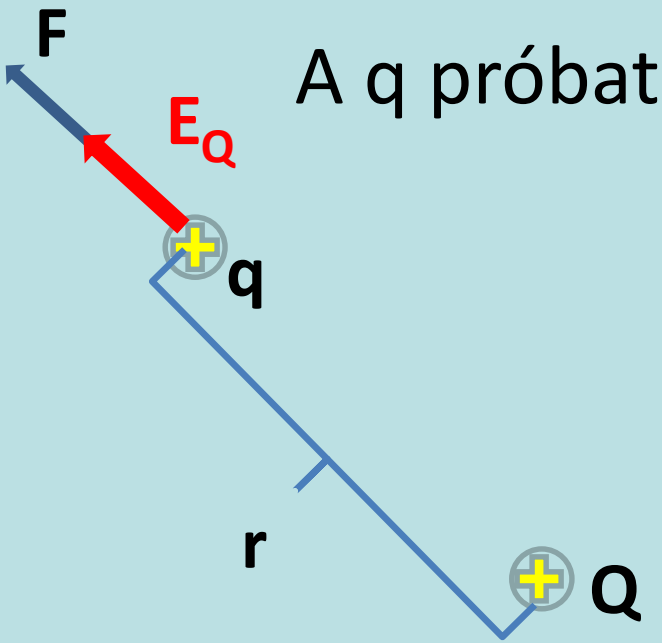
Számítás:

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

Q: a teret létrehozó töltés
r: a Q töltéstől mért távolság
E: a térerősség Q–tól r távolságban

Tartalom

Elektromos térerősség a teret létrehozó Q töltéstől r távolságra (Számítás)



A q próbatöltésre ható Coulomb erő

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

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

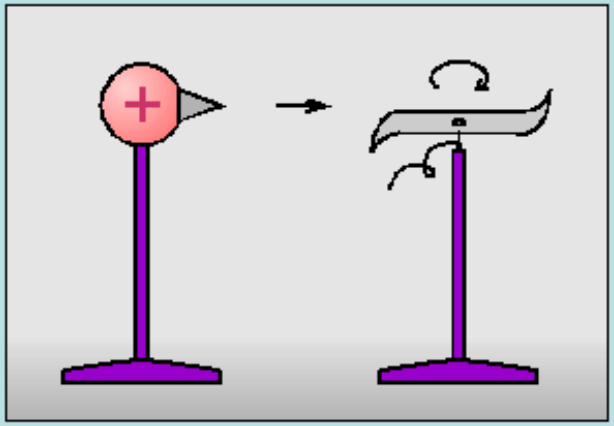
Tartalom

Elektromos csúcshatás

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:

Elektromos szél

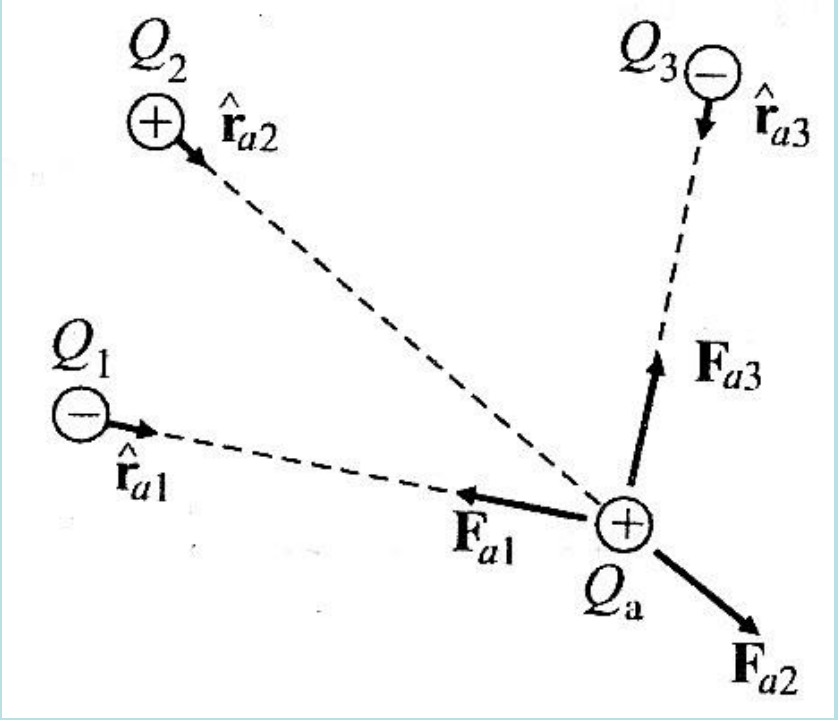


Segner-kerék

Tartalom

A szuperpozíció elve

Ha több töltés hoz létre valamilyen mezőt, akkor érvényes a szuperpozíció elve, **mindegyik töltés a másiktól függetlenül létrehozza a maga elektromos mezejét,** és az egyes elektromos mezők térerősségének vektori összege adja az eredő térerősséget.

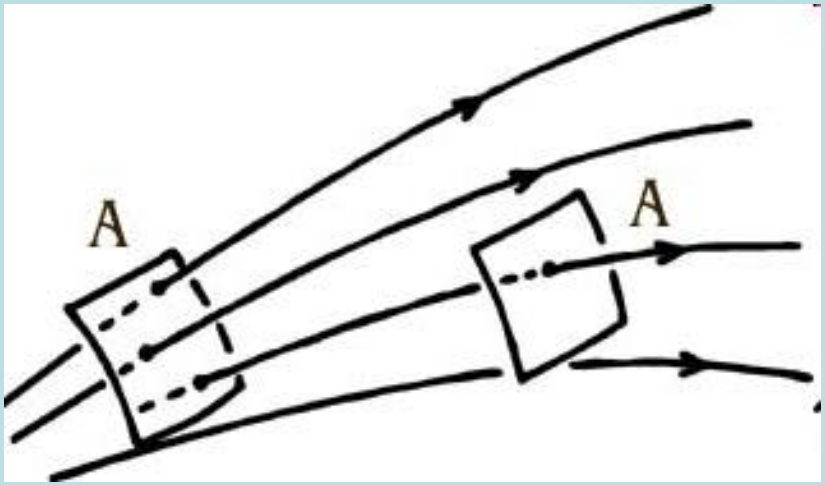


Tartalom

A fluxus fogalma

Az egy felületen áthaladó összes erővonal száma a felület elektromos fluxusának számértékét adja.

$$\text{Jele: } \Psi \text{ (pszí)} \quad \text{Mértékegysége: } \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \text{m}^2$$



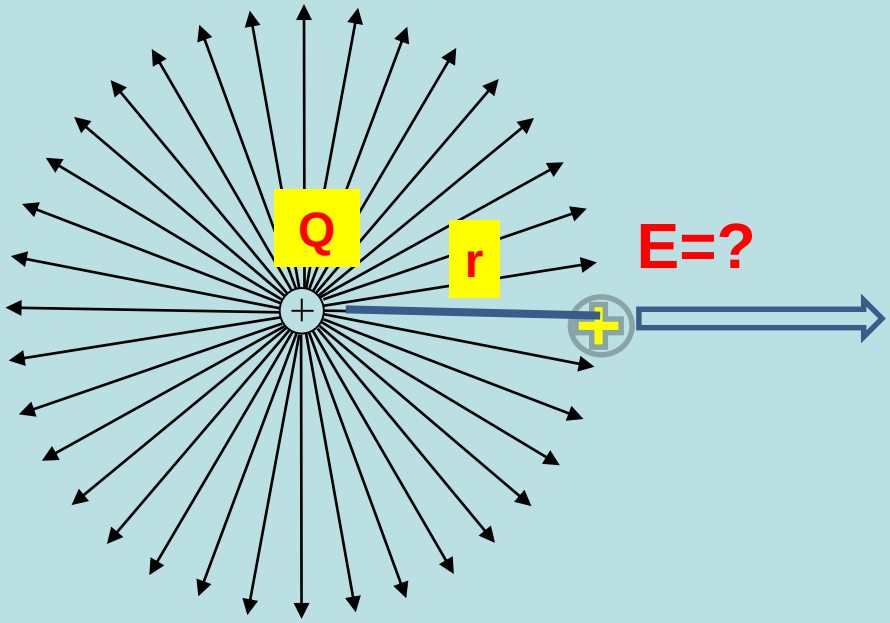
A térerősség irányára merőleges ***A*** nagyságú felület fluxusa: $\Psi = E \bullet A$

Tartalom

Feladatok előtt

A térerősség számítása. Összehasonlítás

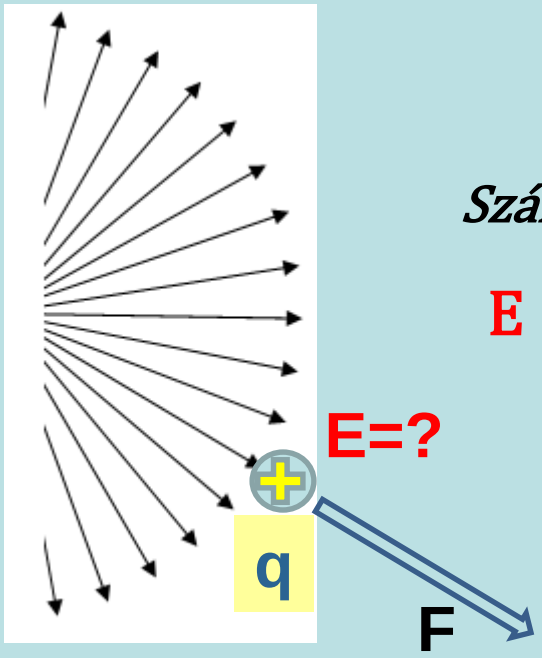
Ismerjük a tér forrását!



Számítás:

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

Nem feltétlen ismerjük a tér forrását, csak azt tudjuk, hogy elektromos tér van jelen.



Számítás:

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

Tartalom

Feladat

1) Egymástól 20 cm távolságra levő pontszerű testek $4{,}2 \cdot 10^{-8}$ C és $-3 \cdot 10^{-7}$ C töltéssel rendelkeznek. Milyen nagyságú és milyen irányú elektromos erőt fejtenek ki egymásra?

Adatok:

$$r = 20cm$$

$$Q_1 = 4{,}2 \cdot 10^{-8} C$$

$$Q_2 = -3 \cdot 10^{-7} C$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Képlet:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Számolás:

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}2 \cdot 10^{-8} \cdot (-3 \cdot 10^{-7})}{0{,}2 \cdot 0{,}2} =$$

Válasz:

A két töltés $2{,}835 \cdot 10^{-3}$ N nagyságú **vonzóerőt** fejt ki egymásra.

Tartalom

Feladat

2) Határozzuk meg az elektromos mező térerősségének nagyságát és irányát abban a pontban, amelyben a mező a $2 \cdot 10^{-7}$ C töltésű részecskére $3 \cdot 10^{-4}$ N erőt fejt ki függőlegesen lefelé.

Képlet:

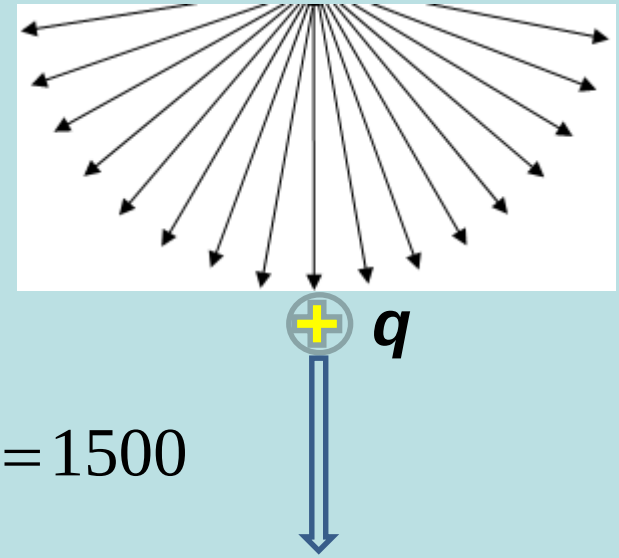
Töltésre ható erő osztva a töltés nagyságával adja a térerősséget.

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

Adatok:

$$q = 2 \cdot 10^{-7} C$$

$$F = 3 \cdot 10^{-4} N$$



Számolás:

$$E = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-7}} = \frac{3}{2} \cdot 10^{3} = 1500$$

Válasz:

A mező térerősségének nagysága 1500 N/C iránya lefelé mutat.

Tartalom

Feladat

3) $2 \cdot 10^4$ N/C térerősségű mezőben lévő elektronikusan feltöltött porszemre $6{,}4 \cdot 10^{-13}$ N nagyságú elektromos erő hat. Hány elektron töltésével rendelkezik a porszem?

Adatok:

$E = 2 \cdot 10^4 \frac{N}{C}$

$F = 6{,}4 \cdot 10^{-13} N$

$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19} C$

Képlet: $F = E \cdot q$ A porszem töltése: $\boldsymbol{q = \frac{F}{E}}$

Számolás:

A porszem töltése: $q = \frac{6{,}4 \cdot 10^{-13} N}{2 \cdot 10^4 \frac{N}{C}} = 3{,}2 \cdot 10^{-17} C$

Ez hány darab elektron töltése?

$n = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-17} C}{1{,}6 \cdot 10^{-19} C} = 200 \text{ darab}$

Válasz: A porszem 200 darab elektron töltésével rendelkezik.

Tartalom

Feladat

5) Homogén mezőben a térerősségre merőleges 0,2 m^2-es felületen 600 erővonal halad át. Mekkora ebben a mezőben a térerősség értéke?

Adatok:

$$A = 0{,}2\,m^2$$

$$\psi = 600\,\frac{N}{C}\,m^2$$

Képlet: $\psi = E \cdot A$

Számolás: $E = \frac{600}{0{,}2}$

Válasz: A mező térerőssége 3000 N/C.

Tartalom

Feladat

6) Mennyi a fluxusa az 5000 N/C térerősségű homogén elektromos mezőben a térerősségre merőlegesen elhelyezkedő 30 cm^2 nagyságú felületnek?

Adatok:

$A = 30 cm^2$

$E = 5000 \frac{N}{C}$

Képlet: $\psi = E \cdot A$

Számolás: $\psi = 5000 \cdot 0{,}003$

Válasz: A keresett fluxus: 15 Nm^2/C.

Tartalom