III. fejezet
Elektromosságtan

Egy aktív tábla

3.1. Töltés, erő, térerősség

1. A töltés korábbi egysége Benjamin Franklin amerikai tudós tiszteletére a franklin (Fr) volt. Határozd meg, hogy 1 Fr hány C, ha tudjuk, hogy két 1 Fr nagyságú töltés 1 cm távolságról 10^{-5} N nagyságú erővel taszítja egymást!

2. Szőrmével megdörzsölt következtében műanyagrúd 0,64 μC negatív többlettöltésre tett szert.

a) Mekkora, és milyen előjelű többlettöltést nyert a szőrme?
b) Melyik test adott le elektronokat: a műanyagrúd, vagy a szőrme?
c) Becsüld meg, mekkora erőt fejtenek ki a testek egymásra, amikor a dörzsölést követően 1 m-re eltávolították a műanyagrudat a szőrmétől!

3. Mekkora távolságban helyezkedik el egymástól a $2 \cdot 10^{-5}$ C, illetve az $5 \cdot 10^{-5}$ C nagyságú pontszerű töltés, ha a közöttük fellépő elektrosztatikus erő nagysága 1 N?

4. Mekkora elektromos erőt fejt ki egymásra egy $2 \cdot 10^{-7}$ C, illetve egy $-4 \cdot 10^{-7}$ C töltésű pontszerű test 2 m távolságból? Vonzzák vagy taszítják egymást?

5. Fizikaórákon az elektrosztatikai kísérletekhez általában műanyagrúd és gyapjú összedörzsölésével szoktak „töltéseket előállítani”.

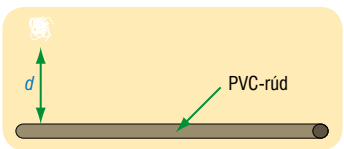
a) Hogyan kell értelmeznünk ezt a „töltés-előállítást”?
b) Dörzsöléssel általában mikrocoulomb nagyságrendű töltésmennyiségekhez lehet jutni. Ha két kis léggömböt 5-5 μC többlettöltéssel látnak el, körülbelül mekkora erőt fejtenek ki egymásra 50 cm távolságból?

6. Az 1910-es években Ernest Rutherford az atommag felfedezése után olyan elképzelést alakított ki az atomról, amit „Naprendszer-modellnek” is szoktak nevezni. Eszerint az elektronok az atommag vonzásának engedelmeskedve úgy mozognak, ahogyan a bolygók a Nap körül: például a H-atom elektronja $0{,}5 \cdot 10^{-10}$ m sugarú körpályán kering az egyetlen protonból álló atommag körül.

a) Mekkora sebességgel haladna a modell szerint a H-atom pontszerűnek képzelt elektronja körpályáján?
b) Mennyi idő alatt írna le egy kört? (Az elektron és a proton töltésének nagysága $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, az elektron tömege $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.)

7. Mekkora és milyen irányú erő hat egy elektronra a $3800\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$ térerősségű, északról dél felé irányuló homogén elektromos mezőben? Mekkora gyorsulást okoz ez az elektromos mező az elektronnak? Hogyan függ a gyorsulás iránya az elektron sebességének irányától? $\left(Q_{\text{elektron}} = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C},\ m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg}.\right)$

8. Kicsi, 0,2 mg tömegű vattadarabkához egy megdörzsölt PVC-rúddal közelítünk. A rúd magához vonzza a vattacsomót, majd eltaszítja. Ügyesen alátartva a rudat a vattadarabkának, még lebegtetni is tudjuk a levegőben.



a) Magyarázd meg, hogyan lehetséges, hogy a PVC-rúd először vonzza, majd eltaszítja a vattacsomót!

b) Mekkora a vatta töltése, ha olyan magasságban lebeg a rúd fölött, ahol a rúdon lévő töltések által létrehozott elektromos mező térerőssége $250\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$?

9. Homogén elektromos mezőben a térerősség $2 \cdot 10^4\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$.

a) Hány erővonal halad át egy az erővonalakra merőlegesen álló, 50 cm^2 területű felületen?

b) Mekkora erő hat egy a mezőben elhelyezkedő $3 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú pontszerű töltésre?

10. Homogén elektromos mezőbe $10^7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ sebességgel beröpülő proton 20 cm távolságon lefékeződött. Mekkora és milyen irányú az elektromos mező térerőssége, ha a proton sebessége vízszintesen kelet felé irányult?

(A proton töltésének nagysága $Q_{\text{proton}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C},\ m_{\text{proton}} = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}.$)

11. Két egyforma nagyságú, de ellentétes előjelű pontszerű elektromos töltés egymástól 20 cm távolságban van rögzítve. A töltéseket elválasztó távolság felezőpontjában a térerősség nagysága $1800\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. Mekkorák a töltések?

12. Homogén elektromos mezőben egy az erővonalakra merőleges, 75 cm^2 nagyságú felület fluxusa $300\,\frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{C}}$.

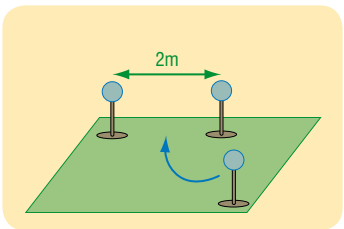
a) Mekkora a mezőben a térerősség?

b) Mekkora erő hat ebben a mezőben egy $2 \cdot 10^{-8}$ C töltésű, pontszerű testre?

13. Egy 3 m hosszú, vékony pálcára három kicsi műanyaggolyót rögzítettek: egyet-egyet a végeire, a harmadikat a közepére. A golyókra egyforma előjelű elektromos többlettöltést vittek: a pálca bal oldali végén lévő golyó $2 \cdot 10^{-8}\,\text{C}$, a középen lévő golyó $3 \cdot 10^{-8}\,\text{C}$, a pálca jobb oldali végén lévő pedig $4 \cdot 10^{-8}\,\text{C}$ nagyságú többlettöltéshez jutott. Mekkora egy-egy golyóra a másik kettő által kifejtett elektromos erők eredője? Merre irányulnak ezek az eredő erők?

14. Két azonos méretű, nagyon kicsi fémgolyón azonos mennyiségű pozitív többlettöltés van. Hány százalékkal változik meg a közöttük fellépő taszítóerő, ha az egyikről a többlettöltések 10%-át átvisszük a másikra?

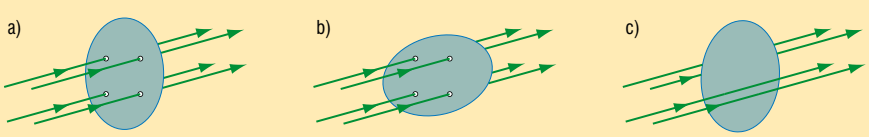
15. A hélium atommagjában két proton és két neutron van. A nukleonokat pontszerű részecskéknek tekintve becsüld meg, mekkora elektromos taszítóerőt fejt ki egymásra a közelítőleg 10^{-15} m átmérőjű He-atommagban lévő két proton! Elegendően nagy-e a nukleonok között fellépő gravitációs vonzóerő ahhoz, hogy összetartsa az atommagot? $\left(Q_{\text{proton}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{proton}} \approx m_{\text{neutron}} = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}\right)$.



16. Homogén elektromos mezőben a térerősségvonalak függőlegesen fölfelé mutatnak, az elektromos térerősség nagysága $30\,000\,\frac{\text{N}}{\text{C}}$. Mekkora és milyen előjelű a töltése annak az 5 g tömegű apró testnek, mely éppen lebeg ebben az elektromos mezőben?

17. Mekkora a $2 \cdot 10^{5}\,\frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű homogén elektromos mezőben felvett, 10 cm sugarú körlemez-felületre számított fluxus nagysága, ha

a) a kör síkja merőleges a térerősség-vektor irányára?
b) a kör síkja 30°-os szöget zár be a térerősség-vektor irányával?
c) a kör síkja párhuzamos a térerősség-vektor irányával?



18. Vízszintes irányú, $10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű homogén elektromos mezőben egy $2 \cdot 10^{-8}$ C töltésű, kisméretű fémgömböt fonálra függesztettünk. A fonál egyensúlyi állapotban 30°-os szöget zár be a függőlegessel. Mekkora tömegű a felfüggesztett golyó, és mekkora erő feszíti a fonalat?

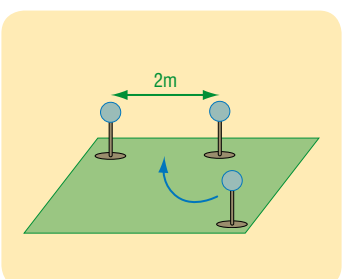
19. Két egyforma, kisméretű fémgolyócskán azonos előjelű, összesen 10^{-4} C nagyságú többlettöltés van, és egymástól 3 m távolságra vannak. Ábrázold a golyócskák között fellépő elektrosztatikus erő nagyságát az egyik golyón lévő többlettöltés és az össztöltés hányadosának függvényében!

20. Hogyan kell elosztani egy megdörzsölt üvegrúd 30 μC pozitív töltését két egyforma, kisméretű, egymástól 2 m távolságban rögzített fémgömb között, hogy a lehető legnagyobb erővel taszítsák egymást? Mekkora ez a maximális erő?

21. Két azonos méretű, elektromosan feltöltött kicsi fémgolyó 20 cm távolságból $3 \cdot 10^{-3}$ N nagyságú erővel taszítja egymást. Ha összeérintjük, majd ismét az eredeti távolságba visszük egymástól a golyókat, a köztük fellépő taszítóerő a kétszeresére nő. Mekkora töltések voltak eredetileg a golyókon?

22. Két egyforma, elektromosan feltöltött kicsi fémgolyó 50 cm távolságból $3 \cdot 10^{-3}$ N nagyságú erővel vonzza egymást. Ha összeérintjük, majd ismét az eredeti távolságba visszük egymástól a golyókat, azt tapasztaljuk, hogy $8{,}1 \cdot 10^{-4}$ N nagyságú erővel taszítják egymást. Mekkora és milyen előjelű elektromos többlettöltéssel rendelkezett eredetileg az egyik, illetve a másik golyó?

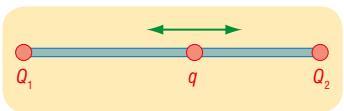
23. Két tökéletesen egyforma méretű, azonos mértékben feltöltött kicsi fémgolyó egy-egy szigetelő állványon egymástól 2 m távolságban áll. Ekkor a két golyó $9 \cdot 10^{-7}$ N nagyságú erővel vonzza egymást.



a) Mekkora és milyen előjelű töltések vannak az egyes golyókon?

b) A két golyót összekötő szakaszra, az egyik golyótól 50 cm távolságban elhelyezünk egy harmadik, ugyancsak szigetelő állványra rögzített, $2 \cdot 10^{-10}$ C töltésű golyócskát. Mekkora lesz az eredeti két golyó által rá kifejtett elektromos erők eredője?

24. 1,2 méter hosszú, vékony szigetelőrúd két végére $Q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ C, illetve $Q_2 = 8 \cdot 10^{-8}$ C nagyságú, egyformán pozitív előjelű elektromos töltéssel ellátott kicsi műanyag golyókat rögzítettek. A rúdon súrlódásmentesen elcsúszhat egy harmadik, ugyancsak kisméretű, $q = 10^{-9}$ C nagyságú elektromos többlettöltéssel ellátott golyó.

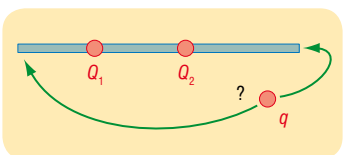


a) Hol lesz egyensúlyban a szabadon mozgó golyó? Hol alakulna ki az egyensúlyi helyzet, ha $q = 2 \cdot 10^{-9}$ C lenne? Stabil vagy labilis a rúdon elcsúszó golyó egyensúlyi helyzete?

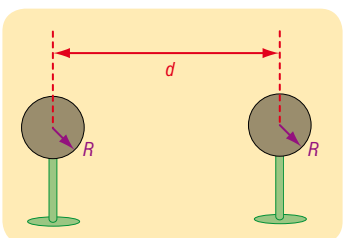
b) Válaszold meg az előző pontban felvetett kérdéseket abban az esetben is, ha a szabadon mozgó golyó elektromos többlettöltése $q = -10^{-9}$ C!

25. Hosszú, vékony szigetelőrúdra egymástól 1,5 m távolságban $Q_1 = +1{,}6 \cdot 10^{-7}$ C, illetve $Q_2 = -10^{-8}$ C elektromos töltéssel ellátott kicsi műanyag golyókat rögzítettek. A rúdra szeretnének ráfűzni egy harmadik, ugyancsak kisméretű, $q = +10^{-10}$ C nagyságú elektromos többlettöltéssel ellátott, átfúrt golyót, amely súrlódásmentesen elcsúszhat a rúdon.

A rúd melyik végére fűzhetik rá, és a rögzített golyóktól milyen távolságra eső pontba kell csúsztatniuk a harmadik golyót, hogy az egyensúlyban maradjon? Stabil vagy labilis lesz a rúdra fűzött golyó egyensúlyi helyzete?

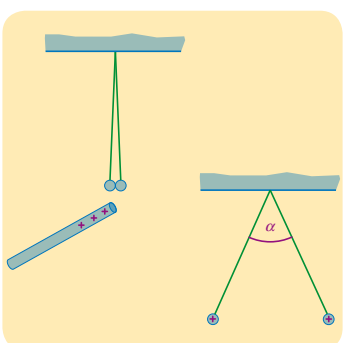


26. $R = 5$ cm sugarú, szigetelő talpakon álló fémgömbökön egyforma abszolút értékű elektromos többlettöltés van. Becsüld meg, legalább milyen messzire kell elhelyezni egymástól a gömböket, hogy a középpontjaik távolságával számolt Coulomb-féle erő, és a közöttük valójában fellépő erő nagysága között ne legyen 10%-nál nagyobb eltérés?



27. Sztaniolpapírral bevont, 5 g tömegű, 38 mm átmérőjű pingponglabdákat közös pontban rögzített, 1 m hosszú szigetelő fonalakra függesztünk az ábra szerint. Selyemmel megdörzsölt üvegrúddal megérintjük a labdákat, ennek következtében azok eltaszítják egymást.

Legalább mekkora többlettöltést nyert a dörzsölés során az üvegrúd, ha a labdákat tartó fonalak az egyensúly beálltával 70°-os szöget zárnak be egymással?



28. Egy 10 cm oldalhosszúságú négyzet két szomszédos csúcsában rögzítünk két azonos előjelű, $2 \cdot 10^{-5}$ C nagyságú töltést. Mekkora nagyságú és milyen irányú erő hat a négyzet középpontjába helyezett $-3 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú pontszerű töltésre?

29. Egy 15 cm oldalhosszúságú négyzet egyik átlójának két végpontjában rögzítünk két azonos előjelű, $4 \cdot 10^{-5}$ C nagyságú töltést. Mekkora nagyságú és milyen irányú erő hat a négyzet másik átlójának egyik végére helyezett $3 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú pontszerű töltésre?

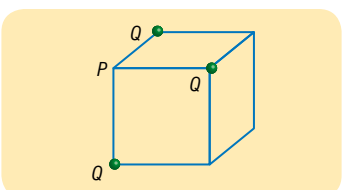
30. Egy 12 cm oldalhosszúságú szabályos háromszög két szomszédos csúcsában rögzítünk két, egyaránt $-3 \cdot 10^{-5}$ C töltésű kis golyót. Mekkora és milyen irányú erő hat a háromszög harmadik csúcsába helyezett kicsi golyóra, ha annak töltése $2 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú?

31. Egy 16 cm oldalhosszúságú szabályos háromszög két szomszédos csúcsában $-2 \cdot 10^{-5}$ C azonos nagyságú töltéssel ellátott, egyforma, kisméretű testeket rögzítünk. Mekkora nagyságú és milyen irányú erő hat a háromszög középpontjába helyezett $-5 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú pontszerű töltésre?

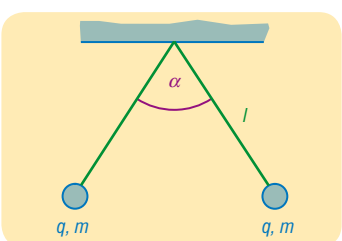
32. Egy 20 cm oldalhosszúságú négyzet csúcsaiban Q, $2Q$, $3Q$, $4Q$ pontszerű töltések helyezkednek el. Mekkora és milyen irányú az elektromos térerősség a négyzet középpontjában, ha $Q = 3 \cdot 10^{-7}$ C?

33. Egy 10 cm oldalhosszúságú hatszög csúcsaiban elhelyezünk Q, $2Q$, $3Q$, $4Q$, $5Q$, $6Q$ pontszerű töltéseket. Mekkora és milyen irányú az elektromos térerősség a hatszög középpontjában, ha $Q = -2 \cdot 10^{-9}$ C?

34. Egy 30 cm oldalhosszúságú kocka 3 csúcsában $3 \cdot 10^{-7}$ C azonos nagyságú pontszerű töltéseket helyezünk el az ábra szerint. Mekkora és milyen irányú az elektromos térerősség a négyzet P csúcsában?



35. Két $m = 2$ g tömegű hungarocell golyócskát $l = 30$ cm hosszúságú fonalakra kötve közös pontban felfüggesztünk az ábra szerint.
A golyócskáknak egyforma nagyságú töltést adva azt tapasztaljuk, hogy azok eltaszítják egymást, és a beálló egyensúlyi helyzetben a fonalak $\alpha = 60°$-os szöget zárnak be egymással.



a) Mekkora volt a golyókra vitt töltés?
b) Mekkora és milyen irányú a két golyó töltése által létrehozott mezőben az elektromos térerősség a fonalak felfüggesztési pontjának helyén?

36. $+2\cdot10^{-8}$ C és $-2\cdot10^{-8}$ C nagyságú töltéssel rendelkező, pontszerűnek tekinthető testeket egymástól 10 cm-es távolságban rögzítünk. Mekkora és milyen irányú lesz az elektromos térerősség a testeket összekötő szakasz felezőmerőlegesén, a szakaszfelező ponttól 5 cm távolságban? Milyen irányú és mekkora erő hatna egy éppen ebben a pontban tartózkodó elektronra? (Az elektron töltése negatív, nagysága $Q_{\text{elektron}} = -1{,}6\cdot10^{-19}$ C.

37. Vákuumban elhelyezett, negatív többlettöltéssel rendelkező cinklemez felületére merőleges irányú, $4\cdot10^{4}\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű homogén mezőt hozunk létre. Ultraibolya fénnyel történő megvilágítás eredményeképpen elhanyagolható sebességgel egy elektron lép ki a lemezből. Merrefelé indul el: a térerősség irányába, vagy azzal ellentétesen? Mekkora sebességre tesz szert 5 cm-es út megtétele közben? (Az elektron töltése $Q_{\text{elektron}} = -1{,}6\cdot10^{-19}$ C, $m_{\text{elektron}} = 9{,}1\cdot10^{-31}$ kg.

38. Rövid szigetelő fonállal $\frac{0{,}001\ \text{N}}{\text{beosztás}}$ érzékenységű erőmérőre függesztünk egy kis méretű műanyaggolyót, és megvárjuk az egyensúly beálltát: ekkor az erőmérő 0,25 N erőt jelez. Ezt követően – egy megdörzsölt üvegrúddal megérintve – 2 μC pozitív töltéssel látjuk el a golyót.

a) A Föld felszíne közelében uralkodó, függőlegesen lefelé irányuló, $150\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$ erősségű elektromos mező hatására megváltozik-e a golyó feltöltése után az erőmérő által mutatott érték?

b) Mekkora erőt jelez az erőmérő, ha a feltöltött golyóval együtt olyan homogén elektromos mezőbe kerül, ahol a térerősség $5\cdot10^{4}\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$ nagyságú, és függőlegesen felfelé irányul?

39. Homogén elektromos mezőbe a térerősségvonalak irányával párhuzamosan a fénysebesség 1%-ával belövünk egy elektront. Mennyi idő alatt és mekkora út megtétele után csökken a sebessége nullára, ha az elektromos térerősség nagysága $2000\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$?

40. Homogén elektromos mezőben a térerősségvonalak függőlegesen fölfelé mutatnak, az elektromos térerősség nagysága $30\,000\ \frac{\text{N}}{\text{C}}$. Mekkora és milyen előjelű a töltése annak az 5 g tömegű apró testnek, mely függőlegesen fölfelé gyorsul $4\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nagyságú gyorsulással?

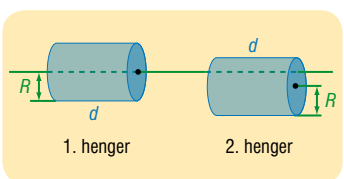
41. Homogén elektromos mezőben a térerősségvonalak függőlegesen fölfelé mutatnak, az elektromos térerősség nagysága $30\,000\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. Mekkora és milyen előjelű a töltése annak az 5 g tömegű apró testnek, mely függőlegesen lefelé gyorsul $4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ nagyságú gyorsulással? Mi az előző kérdésre adott válasz, ha a test gyorsulása lefelé mutat, és nagysága $14\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$?

42. Homogén elektromos mezőben egy $6 \cdot 10^{-4}$ C töltésű, 12 g tömegű apró test függőlegesen lefelé mozog $4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ nagyságú gyorsulással. Milyen irányú és mekkora nagyságú a mező térerőssége?

43. Homogén elektromos mezőben egy $5 \cdot 10^{-4}$ C töltésű, 10 g tömegű apró test függőlegesen fölfelé mozog $4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ nagyságú gyorsulással. Milyen irányú és mekkora nagyságú a mező térerőssége?

44. Homogén elektromos mezőben egy $-3 \cdot 10^{-4}$ C töltésű, 18 g tömegű apró test függőlegesen fölfelé mozog $4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ nagyságú gyorsulással. Milyen irányú és mekkora nagyságú a mező térerőssége?

45. Nagyon hosszú, egyenesre kifeszített, megdörzsölt műanyag horgászzsinóron méterenként 10^{-9} C nagyságú elektromos többlettöltés oszlik el egyenletesen. A zsinór két, $d = 20$ cm-es szakaszát képzeletben körülvesszük egy-egy $R = 2$ cm-es alapkörsugarú, egyenes hengerrel az ábra szerint. Az első henger szimmetriatengelye a horgászzsinórral egybeesik, a második hengeren a zsinór a szimmetria-tengellyel párhuzamosan, attól $\frac{R}{2}$ távolságban halad át.



a) Mekkora a hengerek felületére számított fluxus?
b) Mekkora az elektromos térerősség a horgászzsinórtól 1 cm, 2 cm és 3 cm távolságban?

46. Gauss tételének felhasználásával add meg, és ábrázold grafikusan a térerősség nagyságának helytől való függését

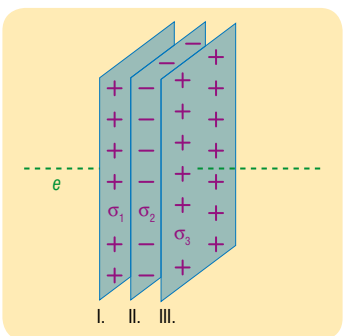
a) egy $\sigma\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}$ felületi töltéssűrűségű, végtelen kiterjedésű vezetősík által meghatározott két féltérben;

b) egy $\rho \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^3}$ térfogati töltéssűrűségű, szigetelő anyagból készült gömb belsejében, és a felszínén kívül eső pontokban;

c) egy végtelen hosszú, $\rho \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^3}$ térfogati töltéssűrűségű, szigetelő anyagból készült egyenes henger belsejében, és a felszínén kívül eső pontokban!

(A gömb és a henger anyagának relatív dielektromos állandója $\varepsilon_r = 1$.)

47. Három, vákuumban elhelyezkedő, nagy kiterjedésű, elektromos többlettöltéssel rendelkező, egymással párhuzamos síkú vezető síklemezt egyenlő térközök választanak el egymástól az ábrának megfelelően. (A lemezek közötti távolság sokkal kisebb, mint a lemezek hosszméretei.)



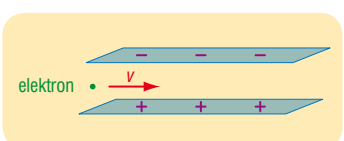
Az egyes lemezeken az elektromos többlettöltés egyenletesen oszlik meg: az I. lemezen $\sigma_1 = +10 \frac{\mu\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}$, a II. lemezen $\sigma_2 = -20 \frac{\mu\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}$, míg a III. lemezen $\sigma_3 = +30 \frac{\mu\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}$ a felületi töltéssűrűség.

a) Határozd meg az *e* egyenesre illeszkedő pontokban uralkodó elektromos térerősség nagyságát és irányát a lemezeken kívül eső és a lemezek közötti térrészekben!

b) Mekkora és milyen irányú a középső, II. lemezre a másik két lemez által kifejtett elektromos erők eredője, ha a lemezek területe 2 m^2?

(A lemezek éleinél fellépő hatásokat hanyagoljuk el.)

48. Két vízszintes síkú, egymástól 4 mm távolságra lévő, egyforma nagyságú, de ellentétes előjelű töltéssel ellátott, 2 cm oldalhosszúságú, négyzet alakú fémlemez közé a lemezektől egyenlő távolságban elektron repül be a lemezek élével párhuzamos irányú sebességgel. Ha az elektron sebessége a belépés pillanatában $5 \cdot 10^7 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ nagyságú, akkor éppen át tud haladni a lemezek között anélkül, hogy a pozitív töltésű lemezbe csapódna.



a) Mekkora a lemezek között az elektromos térerősség nagysága?

b) Mekkora a lemezekre vitt töltés?

c) Mekkora és milyen irányú sebességgel lép ki a lemezek közül az elektron?

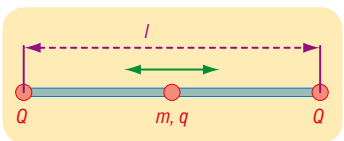
($Q_{\text{elektron}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg. A lemezek felületén a töltéseloszlást vegyük egyenletesnek, a szélek hatásától eltekinthetünk.)

49. Mérésekkel kimutathatóan Földünk a felszínének közelében körülbelül $150\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$ nagyságú, a felszínre merőlegesen „lefelé” irányuló térerősséggel jellemezhető elektromos mezőt tart fenn. Becsüld meg ezek alapján, hogy mekkora és milyen előjelű elektromos többlettöltéssel rendelkezik a Föld!

(A Földet tekintsük 6380 km sugarú szabályos vezetőgömbnek.)

50. Egy 20 cm oldalhosszúságú szabályos tetraéder 3 csúcsában $-2 \cdot 10^{-7}$ C azonos nagyságú töltéssel rendelkező, pontszerűnek tekinthető golyók vannak rögzítve. Mekkora és milyen irányú az elektromos térerősség a tetraéder negyedik csúcsában?

51. *l* hosszúságú vékony szigetelőrúd két végére egyformán pozitív előjelű, *Q* nagyságú elektromos töltéssel ellátott kicsi műanyag golyókat rögzítettek. A rúdon súrlódásmentesen elcsúszhat egy harmadik, ugyancsak kisméretű, *m* tömegű, *q* nagyságú pozitív elektromos többlettöltéssel ellátott golyó.



Igazold, hogy egyensúlyi helyzetéből kismértékben kitérítve a *q* töltésű golyócska harmonikus rezgőmozgást végez! Add meg a kialakuló rezgés periódusidejét!

52. Megvalósítható-e pontszerű elektromos töltések olyan térbeli elrendezése, amelyben az egyes töltések pusztán a közöttük fellépő elektrosztatikus erők hatása alatt állva egyensúlyban vannak?

53. Miután Joseph John Thomson felfedezte, hogy minden atomnak elektronokat kell tartalmaznia, 1904-ben kidolgozott egy „mazsolás puding-modell” néven ismertté vált elképzelést az atom felépítéséről. E modell értelmében az atom egyenletes pozitív töltéseloszlású gömb, melynek anyagába úgy ágyazódnak be a pontszerűnek tekinthető elektronok, mint a mazsolaszemek a kocsonyás pudingba. Ezzel az elképzeléssel az atom semlegessége magyarázatot nyert, sőt, Thomson kísérletet tett arra is, hogy az egyes atomok fénykibocsátásának, illetve -elnyelésének mechanizmusát összekapcsolja a pozitív töltésgömbben elhelyezkedő elektronok lehetséges mozgásával. Gondolatmenetének néhány elemével ismerkedhetünk meg a következő kérdések megválaszolásával.

a) Igazoljuk, hogy a H-atom elektronja egyensúlyi helyzetéből kismértékben kitérítve harmonikus rezgőmozgást végez!

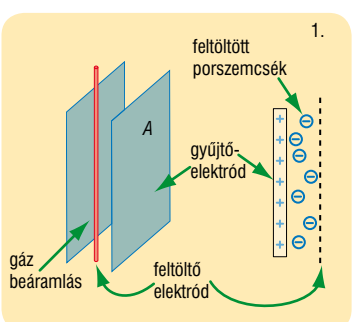
b) Balmer már 1885-ben tanulmányozta a H-atom látható színképtartományát, így Thomson számára ismert volt, hogy a H-atom 410,17 nm hullámhosszú sugárzást is kibocsát. Feltételezve, hogy ezt a hullámot a pozitív „töltésfelhőben” rezgő elektron kelti, Thomson meghatározta a H-atom méretét. Milyen eredményt kaphatott? $\left(Q_{\text{elektron}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}.\right)$

54. A Thomson által megfogalmazott „mazsolás puding-modell” szerint hogyan kellene elhelyezkednie az R sugarú He-atom két elektronjának egyensúlyi állapotban?

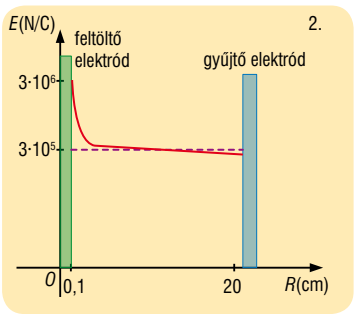
55. A villám főkisülése modellezhető egy rendezetten mozgó töltéseket tartalmazó, hosszú egyenes hengerként (ívcsatorna), melyet ionizált részecskékből álló „burkolat” vesz körül: ennek köszönhető vakító fénye. Tegyük fel, hogy egy átlagos villám 10 km-es ívcsatornájában 5 C töltés oszlik el egyenletesen. A levegő ionizációjához legalább $3 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősség szükséges. A modell alapján maximálisan milyen átmérőjű lehet a villám „magja”, vagyis az áramvezető térrész?

56. A világegyetem tágulásának magyarázatára Lyttleton és Bondi 1959-ben érdekes elméletet dolgozott ki. Elgondolásuk szerint a proton és az elektron elektromos töltésének nagysága nem egyezik meg tökéletesen. Ez a feltételezett tény számításaik szerint magyarázattal szolgál az univerzum csillagászok által megfigyelt tágulására.
Becsüljük meg, az elemi töltésnek legalább hányadrésze kell legyen az elektron és a proton töltése közötti különbség, hogy az univerzum állandó tágulásban legyen! Az egyszerűség kedvéért tekintsük a világegyetemet homogén, egyenletes sűrűséggel eloszló H-atomokból álló gömbnek! A proton és az elektron töltése, az ún. elemi töltés $\left|Q_{\text{proton}}\right| = \left|Q_{\text{elektron}}\right| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$, $m_{\text{proton}} = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$, $m_{\text{elektron}} = \frac{m_{\text{proton}}}{1835}$.

57. A légszennyezés csökkentése érdekében egyes üzemek (pl. cementgyárak, széntüzelésű erőművek) kéményeibe, szellőzőibe elektrosztatikus porleválasztót építenek be (1. ábra). A leválasztóba beáramló gázzal sodródó szennyező porszemcsék egy vékony, negatív töltésű acélszál, a feltöltő elektród mellett elhaladva negatív elektromos többlettöltéshez jutnak. Ezt követően a továbbsodródó, immáron negatív töltésű por-



szemcsék a gyűjtő elektród, azaz egy nagy felületű, pozitív töltésű fémlemez jó közelítéssel homogén elektromos mezejének engedelmeskedve kiválnak a lemez felületén, a megtisztított gáz pedig kiáramlik a leválasztóból. (A térerősség ténylegesen körülbelül a 2. ábrának megfelelően változik a leválasztó belsejében.)



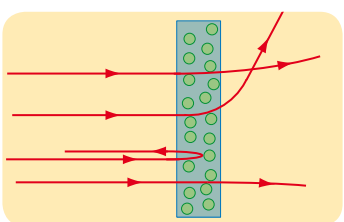
2.

a) A negatív töltést nyert porszemeknek a gyűjtő elektród felé történő mozgását a gáz részéről kifejtett közegellenállás gátolja, ezért a szemcsék kiválási sebessége gyorsan egyenletessé „szelídül”, beáll az ún. „sodródási”, vagy driftsebesség. Becsüld meg, hogy az 1 μm átmérőjű, gömb alakú, $-5{,}92\cdot10^{-17}\,\mathrm{C}$ töltésre szert tett porszemcsék mekkora „sodródási” sebességgel közelednek a porleválasztó $3\cdot10^{5}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$ térerősségű, jó közelítéssel homogénnek tekinthető elektromos mezőt létrehozó, pozitív töltésű gyűjtő elektródja felé!

Tudjuk, hogy $1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ nagyságú sebesség esetén a gáz $3{,}5\cdot10^{-10}\,\mathrm{N}$ nagyságú közegellenállási erőt fejt ki egy ilyen méretű és alakú részecskére, és ez az erő a sebességgel egyenes arányban változik.

b) A porleválasztó működésének hatásfokát az jellemzi, hogy a belépő gáz térfogatának hány százalékát képes megtisztítva kiengedni. Ha a leválasztóba óránként 3000 m^3 portartalmú gáz lép be, legalább mekkora A területű gyűjtő elektródra van szükség, hogy a gáz 95%-ban megtisztítva lépjen ki a környezetbe? (Az áramló gáz egyenletes eloszlásban áramlik el a gyűjtő elektród felülete előtt.)

58. Rutherford és munkatársai az 1900-as évek elején $8{,}8\cdot10^{-13}\,\mathrm{J}$ energiájú α-részecskékkel bombáztak egy kb. század mikrométer vastagságú aranyfóliát. Azt találták, hogy a fóliára merőleges sebességgel érkező α-részecskék 90°-nál nagyobb szögű eltérüléseket is szenvedtek, sőt, átlagosan minden húszezredik „visszapattant”. Ebből Rutherford arra következtetett, hogy az atom pozitív töltése – az akkoriban elfogadott Thomson-modellel ellentétben – nem töltheti ki az egész atom mintegy 10^{-10} m sugarú tartományát, csak körülbelül 10^{-14} m-en belül összpontosul: ez a térrész az atommag.



Közelítő számításokkal igazold, hogy a Thomson-modellel nem magyarázhatók a nagyszögű eltéri-

tések, azokat csak a Rutherford által becsült méretű pozitív „töltéscsomó” hozhatja létre!

(Az α-részecske elektromos töltése $2 \cdot Q_{\text{proton}}$, az arany atomjában $79 \cdot Q_{\text{proton}}$ pozitív töltésnek kell lennie, ahol $Q_{\text{proton}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C az elemi töltés. Az Au-atom elektronjainak hatását hanyagoljuk el.)

3.2. Munka, feszültség, potenciál

59. Milyen erős homogén elektromos mező alakul ki két, egymástól 0,5 cm távolságban lévő, igen nagy kiterjedésű párhuzamos vezető síklemez között, ha közöttük a feszültség 12 V?

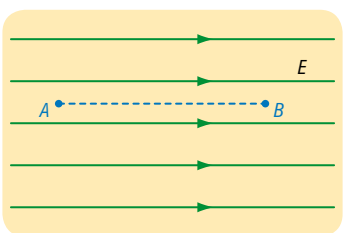
60. $4 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű homogén elektromos mezőben $3 \cdot 10^{-8}$ C nagyságú pontszerű töltés mozog. Mennyi munkát végez rajta az elektromos mező, ha

a) a töltés 10 cm-t tesz meg az erővonalakkal párhuzamosan, a térerősség irányában?

b) a töltés 10 cm-t tesz meg az erővonalakkal párhuzamosan, a térerősséggel ellentétes irányban?

c) a töltés 10 cm-t tesz meg az erővonalakra merőleges irányban?

61. Mekkora a feszültség a vízszintes irányú, $3800 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű, homogén elektromos mező A és B pontja között, ha egymástól a térerősség irányában mérve 50 cm távolságban vannak? Mekkora sebességgel érkezik egy az A pontban még nyugalomban lebegő, 10^{-8} kg tömegű, $6 \cdot 10^{-16}$ C elektromos többlettöltéssel rendelkező porszem a B pontba?



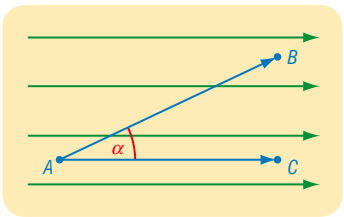
62. Mekkora mozgási energiához jutnak egy tv-készülék katódsugárcsövének katódjából elhanyagolható kezdősebességgel kilépő elektronok, mire a 20 000 V-os gyorsítófeszültséget befutják? Mekkora lendülettel csapódnak a képernyő festékrétegébe? $\left(\left|Q_{\text{elektron}}\right| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}.\right)$

63. Elektrosztatikus mező A és B pontja között a feszültség $U_{AB} = 180$ V. A két pont között egy szigetelőhuzal van kifeszítve, melyen súrlódásmentesen elcsúszhat egy rá fűzött műanyag gyöngy. A gyöngyre $2 \cdot 10^{-8}$ C pozitív többlettöltést viszünk.

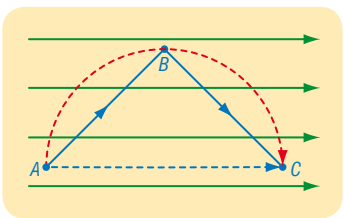
a) A huzalnak melyik végéről kell elengedni a gyöngyöt, hogy az elektromos mező átsodorja a másik végpontba?

b) Mekkora munkát végez eközben az elektromos mező?

64. Elhanyagolható tömegű test töltése $2 \cdot 10^{-5}$ C. Mennyi munkát végez rajta a homogén elektromos mező, miközben *A*-ból *B*-be, illetve *A*-ból *C*-be juttatja? Az elektromos térerősség nagysága $2000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$. (Az *ABC* pontok derékszögű háromszöget alkotnak. Az *AC* távolság 3 cm, és $\alpha = 30°$.) Mekkora az *AB,* illetve a *BC* pontok közötti feszültség?

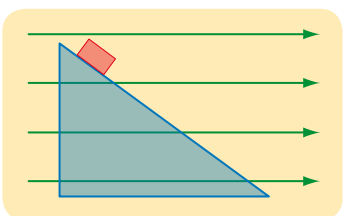


65. $10\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ térerősségű homogén elektromos mező



A pontjából *C* pontjába három különböző útvonalon juttatunk el egy elhanyagolható tömegű, $3 \cdot 10^{-4}$ C töltésű pontszerű testet. Az első esetben egy félkörív mentén, a második esetben egy egyenlőszárú derékszögű háromszög szárai mentén, a harmadik esetben egyenes vonalban mozgatjuk a testet. Add meg mindhárom esetben a mező által végzett munka nagyságát, ha az *AB* távolság 10 cm!

66. 30°-os hajlásszögű, 40 cm magas lejtő tetejéről elengednek egy 20 g tömegű, $3 \cdot 10^{-6}$ C töltésű, kisméretű testet. A lejtő olyan homogén elektromos mezőben helyezkedik el, mely az ábrának megfelelően vízszintes irányú, és az elektromos térerősség nagysága $12\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$. Mennyi munkát végez a testen a gravitációs, illetve az elektromos mező, amíg a lejtő aljára ér? A test és a lejtő közötti súrlódás elhanyagolhatóan kicsi.



67. A radon radioaktív bomlása során 5,5 MeV mozgási energiájú α-részecske lép ki az atommagból. Mekkora sebességgel mozog a kisugárzott $6{,}64 \cdot 10^{-27}$ kg tömegű, $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C töltésű részecske? Mekkora feszültséggel lehetne ugyanekkora sebességre felgyorsítani egy nyugalomból induló He-atommagot?

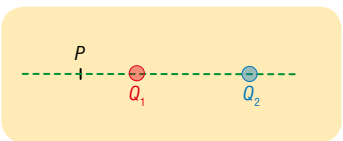
68. Homogén, $2 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ térerősségű elektromos mezőbe egy proton repül be $10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sebességgel, az erővonalak irányával szemben. Mekkora távolságot tesz meg, míg elveszíti a sebességét? A mezőbe lépés pillanatától mérve mennyi idő múlva lesz a proton sebességének nagysága ismét ugyanakkora, mint kezdetben volt? A proton fajlagos töltése $\frac{Q_{\text{proton}}}{m} = 9{,}58 \cdot 10^7 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$.

69. Egymástól 10 mm távolságban, párhuzamosan álló nagy kiterjedésű fémlemezek között $1500\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$ térerősségű homogén mezőt szeretnénk létrehozni. Mekkora feszültséget kell ehhez a lemezek közé kapcsolni?

70. Egy 10 cm oldalhosszúságú szabályos háromszög csúcsaiban rögzítünk három egyformán $3 \cdot 10^{-7}$ C nagyságú töltéssel rendelkező pontszerű testet. Mekkora az elektromos potenciál a háromszög középpontjában?

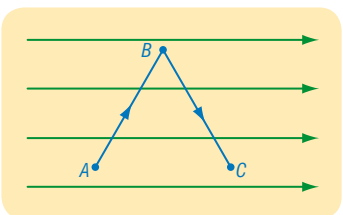
71. Egy pontszerű töltéstől 10 cm-re az elektromos potenciál értéke 100 V. Mekkora az elektromos térerősség ebben a pontban?

72. Az ábrán megjelölt P pontban, mely a $Q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ C nagyságú pozitív töltéstől 10 cm távolságban van, az elektromos térerősség értéke zérus. A Q_1 és a Q_2 egymástól mért távolsága 20 cm.

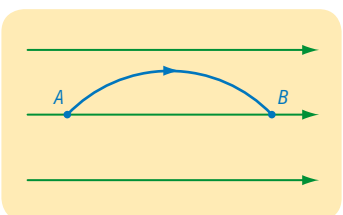


a) Mekkora és milyen előjelű a Q_2 töltés?
b) Mekkora a potenciál értéke a P pontban?

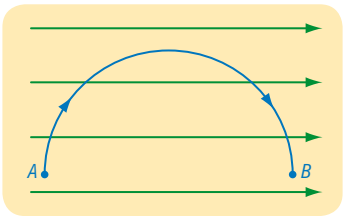
73. Elhanyagolható tömegű, elektromosan töltött test mozog homogén elektromos mezőben az $A \to B \to C$ útvonalon az ábra szerint. Az elektromos térerősség nagysága $30\,000\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. Az ABC pontok olyan szabályos háromszöget alkotnak, melynek oldalai 20 cm hosszúak. Mekkora a test töltése, ha a mező által végzett munka az ABC úton 240 mJ? Mekkora a mező által végzett munka az AB szakaszon? Mekkora az A és B pontok közötti feszültség?



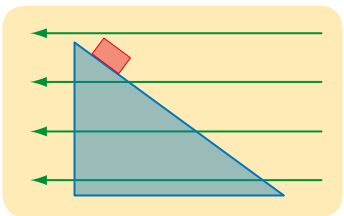
74. Homogén elektromos mezőben a térerősségvonalak mentén egymástól 2 cm-re elhelyezkedő pontok között a feszültség 100 V. Egy elhanyagolható tömegű, $2 \cdot 10^{-6}$ C töltésű test az ábrán látható negyedkörívén jut A-ból B-be. (A negyedkörív végpontjait összekötő egyenes párhuzamos a térerősségvonalakkal.) Mennyi munkát végez rajta az elektromos mező, ha a körív sugara 30 cm?



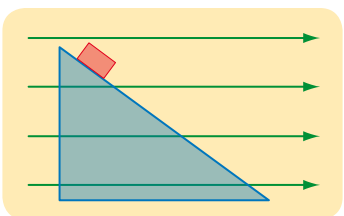
75. Homogén elektromos mezőben egy elhanyagolható tömegű, elektromosan töltött pontszerű test egy félkörív mentén jut A-ból B-be. (A félkörív végpontjait összekötő egyenes párhuzamos a térerősségvonalakkal.) Hányszor akkora munkát végez rajta az elektromos mező a félkörív megtétele során, mint amíg eljut az útjának negyedéig?



76. 30°-os hajlásszögű, 40 cm magas lejtő tetején 30 g tömegű, $-2 \cdot 10^{-5}$ C töltésű, pontszerűnek tekinthető test van. A lejtő olyan homogén elektromos mezőben van, mely az ábra szerint vízszintes irányú, és az elektromos térerősség nagysága $12\,000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$. Mennyi munkát végez a testen a gravitációs, illetve az elektromos mező, amíg a test a lejtő aljára ér? Mekkora lesz a test sebessége a lejtő alján? A test és a lejtő közötti súrlódás elhanyagolhatóan kicsi.



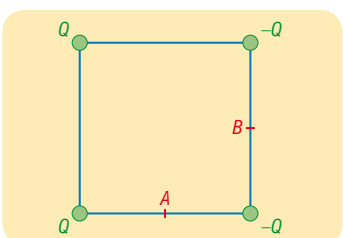
77. 30°-os hajlásszögű lejtő tetején 20 g tömegű, $3 \cdot 10^{-5}$ C töltésű test van. A lejtő olyan homogén elektromos mezőben van, mely az ábra szerint vízszintes irányú. Mekkora az elektromos térerősség nagysága, ha az elektromos mező feleakkora munkát végez a testen, mint a gravitációs mező, amíg a test a lejtő aljára ér?



78. Egy 12 cm oldalhosszúságú szabályos háromszög csúcsaiban rögzítünk három, egyformán $-3 \cdot 10^{-8}$ C nagyságú töltést. Mekkora az elektromos potenciál a háromszög egyik oldalfelező pontjában?

79. Egy 20 cm oldalhosszúságú négyzet csúcsaiban rögzítünk három azonos előjelű, $-4 \cdot 10^{-6}$ C nagyságú töltéssel rendelkező pontszerű testet. Mekkora az elektromos potenciál a négyzet középpontjában?

80. Egy 20 cm oldalhosszúságú négyzet csúcsaiban azonos $Q = 3 \cdot 10^{-8}$ C nagyságú, de különböző előjelű pontszerű töltéseket rögzítünk az ábra szerint. Mekkora nagyságú az elektromos potenciál az A-val, illetve a B-vel jelölt oldalfelező pontokban?

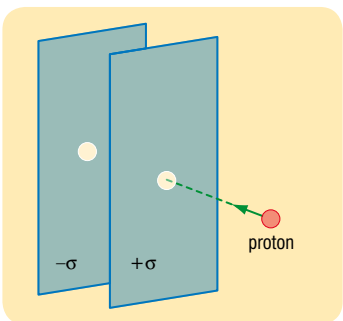


81. Egy pontszerű töltéstől mekkora távolságban van az a pont, ahol kétszer akkora az elektromos potenciál számértéke, mint amekkora az elektromos térerősség számértéke?

82. Vízszintes felületen rögzített, kisméretű, $3 \cdot 10^{-5}$ C töltésű fémgolyótól 1 m távolságban egy 2 mg tömegű, $-3 \cdot 10^{-5}$ C töltésű kicsiny test helyezkedik el. A kis testet, amely a felületen súrlódásmentesen elmozdulhat, nyugalomban tartjuk, majd elengedjük. Mekkora lesz a sebessége, amikor 10 cm-re megközelíti a rögzített fémgolyót?

83. Vízszintes felületen rögzített, kisméretű, $-2 \cdot 10^{-5}$ C töltésű fémgolyótól 80 cm távolságban $3000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nagyságú, a fémgolyó felé irányuló sebességgel elindítunk egy 5 mg tömegű, $-4 \cdot 10^{-5}$ C töltésű kicsiny testet, amely a felületen súrlódásmentesen mozoghat. Mennyire közelíti meg a kis test a rögzített golyót?

84. Egymással szemben álló, párhuzamos síkú, nagy kiterjedésű fémlemezek egyikén pozitív, a másikon negatív elektromos töltés oszlik el egyenletesen, egyformán $\sigma = 3{,}54 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ nagyságú felületi töltéssűrűséggel.

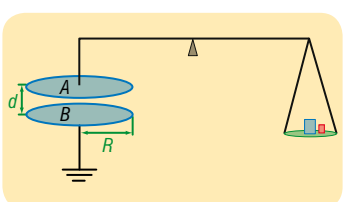


a) Milyen elektromos mezőt hoznak létre a lemezek? Mekkora a lemezek közötti térrészben és a lemezeken kívül az elektromos térerősség? (A lemezek közötti távolság a hosszméreteikhez viszonyítva nagyon kicsi.)

b) A lemezeken egy-egy pici lyuk van egymással szemben. A pozitív töltésű lemezen lévő lyukon keresztül $10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nagyságú, a lemezek síkjára merőleges irányú sebességgel egy proton repül be a lemezek közti térrészbe. Mekkora sebességgel lép ki a negatív töltésű lemezen lévő lyukon, ha a lemezek távolsága 15 mm?

$\left(Q_{\text{proton}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{proton}} = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}.\right)$

85. A William Thomson (Lord Kelvin) által készített, úgynevezett abszolút elektrométer segítségével a feszültségmérést erőmérésre vezethetjük vissza. A műszer működési elvét a mellékelt, erősen leegyszerűsített ábra szemlélteti.



Tegyük fel, hogy az elektrométer $R = 5$ cm sugarú, szigetelő fonálra akasztott A lemezének elektromosan semleges állapotában az egyenlő karú mérleget kiegyensúlyoztuk. Ekkor

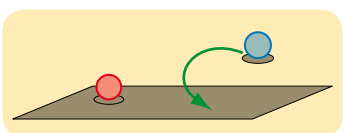
az A és B – egyforma területű – lemezek távolsága $d = 1$ mm volt. Ezután az A lemezre elektromos töltést vittünk, és a jobb oldali serpenyőbe annyi többlet-mérősúlyt tettünk, hogy a lemezek távolsága a feltöltés ellenére sem változott meg. Mekkora a lemezek közötti feszültség, ha a szükséges többlet-mérősúly tömege 35 mg volt?

86. Két egyforma, R sugarú és m tömegű műanyaggömb azonos előjelű és nagyságú Q elektromos többlettöltéssel rendelkezik. A két gömböt kezdetben egy igen rövid szigetelő fonál köti össze.

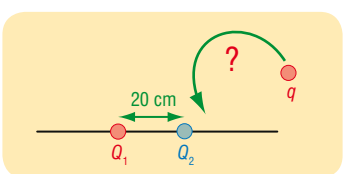
a) Mekkora a két feltöltött gömbből álló rendszer elektromos potenciális energiája?
b) Mekkora sebességre gyorsulnak fel a gömbök, ha az összetartó fonál elszakad?
c) Feltételezve, hogy a 92-es rendszámú urán körülbelül $7{,}5 \cdot 10^{-13}$ m sugarú atommagja két egyforma töltésű hasadvány-magra esik szét, adj becslést a hasadás során felszabaduló energia nagyságára nézve! $Q_{\text{elemi}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

87. A Bohr-féle atommodell szerint a H-atom elektronja alapállapotban 0,0529 nm sugarú körpályán kering az atommag körül.

a) Mekkora sebességgel rendelkezik a modell szerint a pontszerűnek képzelt elektron?
b) Mekkora energia befektetésével lehet az alapállapotú H-atomot ionizálni?
$\left(Q_{\text{elektron}} = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}.\right)$

88. 

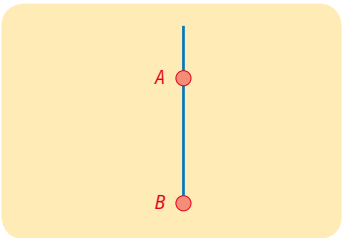
Vízszintes felületen könnyű szigetelő korongra rögzített, 5 g tömegű, 2 μC pozitív töltéssel rendelkező, kisméretű golyó nyugszik. Egy másik hasonló, de 3 g tömegű, 5 μC pozitív többlettöltésű golyót is a felületre helyezünk. A szigetelő korongok és a felület közötti tapadási együttható 0,36, a csúszási súrlódási együttható 0,2.
a) Legfeljebb milyen közel tehetjük le a második golyót az első mellé, hogy nyugalomban maradjanak?
b) Mekkora ebben a helyzetben a nagyobb tömegű testre ható tapadási erő?
c) Maximálisan mekkora sebességgel lehetne elindítani a kisebb tömegű golyót a nagyobbik felé, hogy az még éppen ne mozduljon meg?

89. 

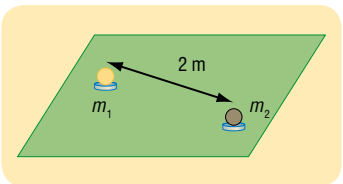
Szigetelőrúdon egymástól 20 cm távolságban $Q_1 = +3 \cdot 10^{-8}$ C, illetve $Q_2 = -10^{-8}$ C elektromos töltéssel ellátott kicsi műanyag golyók vannak rögzítve. A rúdra ráfűzünk egy harmadik, ugyancsak kisméretű, $q = +10^{-9}$ C nagyságú elektromos többlettöltéssel ellátott, átfúrt golyót, és olyan helyre csúsztatjuk, ahol egyensúlyba kerülve nyugalomban marad.

a) Hová kell helyeznünk a harmadik golyót?
b) Legalább mekkora munkát kell végeznünk, míg a kívánt pontba juttatjuk a golyót?
(A felfűzött golyó súrlódásmentesen elcsúszhat a rúdon.)

90. Függőlegesen tartott műanyagzsinór végére egy $5 \cdot 10^{-7}$ C töltésű, kisméretű (az ábrán *B*-vel jelölt) műanyaggolyó van rögzítve. A zsinórra ráfűzött, 50 g tömegű, $3 \cdot 10^{-6}$ C töltésű másik kicsi golyó, melyet az ábrán *A*-val jelöltünk, szabadon mozoghat. Az *A* golyót a rögzített *B* test felett 30 cm magasságban elengedve mennyire közelíti meg a *B* jelű golyót? Mekkora az *A* golyó maximális sebessége a mozgás során?



91. Légpárnás asztalon nyugvó, szigetelő korongra ragasztott, 5 g tömegű, 2 μC pozitív töltéssel rendelkező, kisméretű golyó felé 2 m távolságból, $3\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nagyságú kezdősebességgel csúsztatunk egy másik hasonló, de 2 g tömegű és 5 μC pozitív többlettöltésű golyót. Legfeljebb mekkora távolságra tudja megközelíteni az elindított golyó a másikat? (A korongok ellenállásmentesen csúsznak a légpárnás asztalon.)

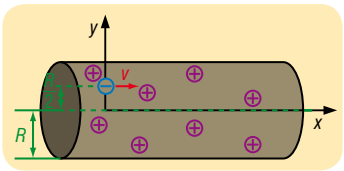


92. Az emberiség szaporodó energiagondjainak megoldását jelenthetné, ha létre tudnánk hozni a könnyű atommagok szabályozott fúzióját, a leküzdendő óriási technikai nehézségek miatt azonban egyelőre még nem koronázta siker a tudósok, mérnökök munkáját.

a) Becsüljük meg, legalább mekkora feszültséggel kellene felgyorsítani egy deuteront $\left({}^{2}_{1}\text{H}\right)$, hogy egy másik, vákuumban éppen nyugalomban lebegő deuteront annyira megközelítsen, hogy közöttük már fellépjen a vonzó jellegű nukleáris kölcsönhatás! A nukleáris kölcsönhatás hatótávolságát vegyük $1{,}3 \cdot 10^{-15}$ m-nek, a deuteronokat tekintsük pontszerű, kezdetben egymástól nagy távolságban lévő részecskéknek!
(A deuteron a nehézhidrogén magja, egy proton és egy neutron alkotja, $Q_{\text{deuteron}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$, $m_{\text{deuteron}} = 3{,}34 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$.)

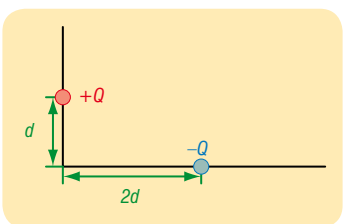
b) Mekkora feszültséget igényelne a probléma megoldása akkor, ha az azonos nagyságú feszültséggel felgyorsított deuteronokat szemben irányítva, centrálisan ütköztetnék egymással?

93. $R = 10^{-6}$ m nagyságú sugarához mérten igen hosszú, henger alakú térrészt pozitív ionok népesítenek be, egyenletes, $\rho = 8 \cdot 10^5 \frac{\text{C}}{\text{m}^3}$ sűrűségű térfogati töltéseloszlást megvalósítva. Az „ioncsatornába” bejuttatott elektron egy adott pillanatban a henger hossztengelyétől éppen $\frac{R}{2}$ távolságban van, mozgási energiája 4 keV, sebességvektora a henger szimmetriatengelyével párhuzamos irányú.



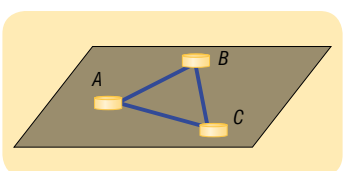
a) Milyen pályán mozog az elektron az „ioncsatornában”? Írd fel egy az elektron fenti adatokkal megadott kezdeti helyzetére, és a henger hossztengelyére illeszkedő tengelyekkel – az ábra szerint – felvett koordináta-rendszerben a pálya egyenletét!
b) Mekkora lesz az elektron maximális mozgási energiája a hengerben? Mennyi idő telik el, míg kezdeti állapotából először a maximális mozgási energiájú állapotba kerül az elektron?
($|Q_{\text{elektron}}| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg, az ionokkal való ütközésektől és a sugárzási veszteségektől tekintsünk el.)

94. Egymással derékszöget bezáróan összeerősített szigetelő rudakból kialakított állvány vízszintes síkban helyezkedik el. A két rúdra egyforma, kicsi műanyag gyöngyöket fűztek úgy, hogy az egyik kétszer akkora távolságban legyen a derékszög csúcspontjától, mint a másik. A két gyöngynek egy adott pillanatban egyforma nagyságú, de ellentétes előjelű elektromos töltést adnak.



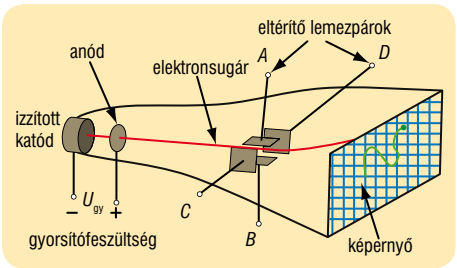
Ha a gyöngyök és a rudak közötti súrlódás elhanyagolható, melyik gyöngy éri el előbb a derékszög csúcspontját? Mekkora lesz az egyes gyöngyök sebessége abban a pillanatban, amikor a közöttük lévő távolság az eredetinek a felére csökken?
(Legyen a gyöngyök tömege 20 mg, töltésük nagysága 10^{-9} C, $d = 1$ m.)

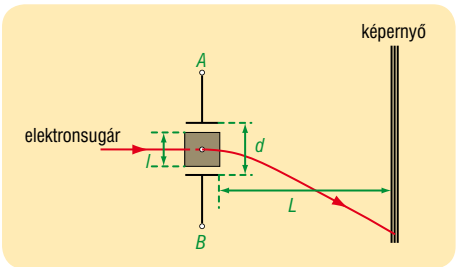
95. Egyforma, 5 g tömegű polisztirol korongokat 25 cm hosszúságú szigetelőfonalakkal összekötve légpárnás asztalra helyezünk. A korongoknak azonos előjelű, 10^{-7} C nagyságú elektromos többlettöltést adunk.



a) Mekkora erő feszíti a korongokat összekötő fonalakat?
b) Mekkora lesz az ábrán *A*-val jelölt korong legnagyobb sebessége, ha elvágjuk a *B* és *C* korongokat összekötő fonalat?
(Az összekötő fonalak elhanyagolható tömegűek, és nyújthatatlannak tekinthetők.)

96. Iskolai, demonstrációs célokat szolgáló katódsugárcsőbe két párhuzamos állású eltérítő lemezpárt építettek be az ábrán látható módon: az $l = 20$ mm oldalhosszúságú, egymástól $d = 21$ mm távolságban lévő, négyzet alakú fémlemezek az egyik pár esetében függőleges (C és D), a másiknál (A és B) vízszintes síkban helyezkednek el. A katódsugárcső 12 cm · 12 cm-es, fluoreszkáló festékkel bevont képernyője $L = 19$ cm távolságban van a lemezektől. Az izzított katódból kilépő elektronok a gyorsítófeszültség befutása után a lemezek által határolt térrész szimmetriacentrumának irányában haladva belépnek a lemezpárok közé, majd az azokra kapcsolt feszültségtől függő mértékben és irányban eltérülve végül a képernyőre érkeznek.





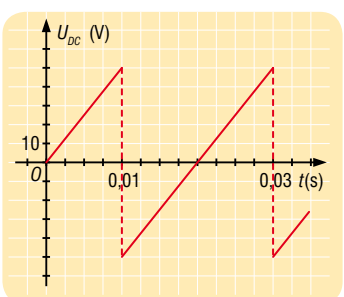
A gyors egymásutánban beeső elektronok az ernyő különböző pontjaiban a festékanyagot zöldes foszforeszkálásra gerjesztik, így az ernyőn a becsapódási pontokból egy-egy görbe rajzolódik ki, amelynek alakja jellemző az eltérítő lemezpárokra kapcsolt feszültség időbeli változására.

a) Mekkora sebességgel lépnek be az elektronok a lemezpárok közé, ha a gyorsítófeszültség értéke 500 V? $\left(Q_{\text{elektron}} = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C},\ m_{\text{elektron}} = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}.\right)$

b) Először csak a vízszintes síkú lemezpárra kapcsolunk eltérítő feszültséget. Merrefelé és mennyivel térül el az eredetileg az ernyő közepére eső fényfolt, ha az A és B pontok közötti feszültség +60 V? (A lemezpárok között kialakuló elektromos mezőnek a relatíve nagy lemeztávolság miatti szóródását hagyjuk figyelmen kívül!)

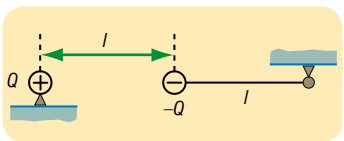
c) Második esetben csak a függőleges síkú lemezpárra kapcsolunk eltérítő feszültséget. Merrefelé és mennyivel térül el az eredetileg az ernyő közepére eső fényfolt, ha a D és C pontok közötti feszültség +120 V? (A földi mágneses mezőnek az elektronokra gyakorolt hatásától tekintsünk el.)

97. Laboratóriumi gyakorlaton az előző feladatban szereplő demonstrációs katódsugárcsőnél 200 V gyorsítófeszültséget alkalmaztak, a függőleges síkú lemezpár kivezetései közé pedig a mellékelt ábra szerint változó feszültséget (ún. „fűrészfogrezgés”) kapcsolták.



a) Mekkora és milyen irányú volt ekkor az eltérítő lemezek közül kilépő elektronok maximális sebessége?
b) Jellemezd a képernyőn kialakult görbét!
(A szükséges adatok a 96. feladatnál találhatók.)

98. $l = 1$ m hosszúságú, elhanyagolható tömegű szigetelő fonálra kötünk egy kisméretű golyócskát, majd az így elkészített inga felfüggesztési pontjának magasságában, attól $2\,l$ távolságban rögzítünk egy másik, ugyancsak kicsi golyót. A két golyónak ugyanakkora, de ellentétes előjelű $Q = 2 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{C}$ töltést adva az ingát vízszintesen kitérítjük az ábra szerint, végül elengedjük. Azt tapasztaljuk, hogy a kilendülő inga eredeti helyzetétől maximálisan 45°-kal távolodik el.



a) Mekkora a felfüggesztett golyócska tömege?
b) Mekkora lesz a golyócska gyorsulása pályájának legalsó pontjában?

3.3. Vezetők elektromos mezőben, kapacitás, kondenzátorok

99. Két A4-es méretre vágott háztartási alufóliából és egy közéjük fektetett nyomtatópapírból kondenzátort készítünk. A 210 mm × 297 mm-es nyomtatópapír vastagsága 0,07 mm, dielektromos állandója 2,5. Mekkora lesz a házilag készített kondenzátorunk kapacitása?

100. Egy 12 pF kapacitású síkkondenzátor fegyverzeteinek területe 20 cm^2. Mekkora a lemezek távolsága? Mennyi töltést tárol a kondenzátor, ha 6 V feszültséget kapcsolunk a lemezekre?

101. Egy síkkondenzátor lemezeinek területe 30 cm^2. Mekkora a lemezek közötti elektromos térerősség, ha a kondenzátorra 20 nC töltést viszünk?

102. Napjainkban már több száz, sőt ezer farad kapacitású kondenzátorokat is elő tudnak állítani. Ezeknek az ún. szuperkapacitásoknak nagy szerepe lehet az energiatárolásban (pl. szélerőműveknél), tápfeszültség-ingadozások kivédésében, illetve a jövőben a galvánelemek kiváltásában. A hatalmas kapacitásértékek eléréséhez „szivacsos”, nagy töltéstároló felületet kínáló aktív szenet vagy préselt fémport alkalmaznak a kondenzátor fegyverzeteiként.

a) Mekkora töltés vihető egy „20 F/2,5 V” feliratú kondenzátorra? Hány elektronnak felel ez meg? Maximális feltöltés esetén mennyi a kondenzátorban tárolt energia?
b) Ha egymástól – levegőben – 0,1 mm távolságban lévő párhuzamos fémlemezekből szeretnénk 10 F kapacitású kondenzátort készíteni, milyen területű fegyverzetekre lenne szükségünk?

103. Egy kondenzátoron az alábbi felirat található: 100 V, 1 μF. Mennyi elektromos energiát képes tárolni ez a kondenzátor?

104. Egy síkkondenzátor lemezeinek távolsága 0,3 mm, a benne tárolt energia 6 V feszültség esetén 0,03 μJ. Mekkora a fegyverzetek felülete, illetve a lemezek közötti elektromos térerősség?

105. Egy síkkondenzátor lemezeinek területe 25 cm^2, a lemezek távolsága 0,1 mm. A kondenzátorban tárolt töltés nagysága 0,15 μC. Mennyi a kondenzátorban tárolt elektromos energia? Mekkora a lemezek közötti feszültség? Mekkora a lemezek közötti elektromos térerősség?

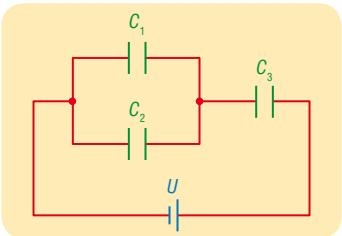
106. Szigetelő állványokon, egymástól távol álló fémgömbök egyike 10 cm, a másik 5 cm sugarú. Mindkét gömbön pozitív, 10^{-8} C nagyságú elektromos többlettöltés van. A két gömböt összekötjük egy vezetőhuzallal. Mekkora elektromos többlettöltéssel rendelkeznek az egyes gömbök ezt követően? (A vezetőhuzalra kerülő töltésmennyiséget hanyagoljuk el.)

107. A levegő átütési szilárdsága száraz időben $20\ \frac{kV}{cm}$. Legfeljebb mekkora lehet a felületi töltéssűrűség egy síkkondenzátor lemezein, ha a lemezek között levegő van?

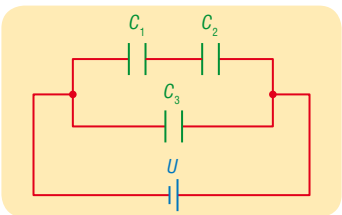
108. Egy síkkondenzátor kapacitása 6 pF, a benne tárolt elektromos energia 2 μJ. Ekkor a lemezek közötti elektromos térerősség $40000\ \frac{N}{C}$. Mekkora a kondenzátorban tárolt töltés? Mekkora a lemezek távolsága? Mekkora a lemezek felületi töltéssűrűsége?

109. A Föld – nedves rétegei miatt – jó vezetőnek tekinthető.
a) Körülbelül mekkora a Föld kapacitása?
b) Mekkora a Földnek a végtelenben felvett nullszinthez viszonyított potenciálja, ha a felszín közelében átlagosan $150\ \frac{N}{C}$ elektromos térerősség mérhető?
(A Földet tekintsük 6380 km sugarú szabályos gömbnek, a légkörben jelen lévő elektromos töltéseket ne vegyük figyelembe.)

110. Határozd meg a mellékelt ábrán látható kapcsolás esetén az egyes kondenzátorok feszültségét, az általuk tárolt töltést és a bennük lévő elektromos mező energiáját! ($C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$, $C_3 = 6\ \mu F$, $U = 12\ V$)



111. Határozd meg a mellékelt ábrán látható kapcsolás esetén az egyes kondenzátorok feszültségét, az általuk tárolt töltést és a bennük lévő elektromos mező energiáját! ($C_1 = 6\ \mu F$, $C_2 = 3\ \mu F$, $C_3 = 4\ \mu F$, $U = 12\ V$)

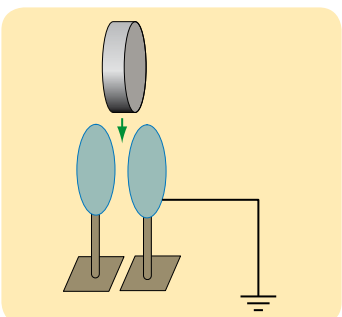


112. Egy 12 pF kapacitású síkkondenzátort 24 V feszültségű akkumulátorra kapcsolunk, majd miután feltöltődött, lekapcsoljuk az áramforrásról.

a) Mennyi munkát kell végeznünk, ha a kondenzátor lemezeinek távolságát ezután szeretnénk megduplázni?

b) Mennyi munkát kell végeznünk abban az esetben, ha a kondenzátor lemezeinek távolságát úgy duplázzuk meg, hogy közben mindvégig összeköttetésben marad az áramforrással?

113. Egy síkkondenzátor fegyverzetei szigetelő talpakra állított, egymástól 2 mm távolságban elhelyezett 10 cm sugarú körlemezek. Az egyik lemezt leföldelték, a másikra pozitív elektromos többlettöltést vittek, aminek következtében a fegyverzetek között 100 V potenciálkülönbség jött létre.



a) Mekkora a kondenzátorra vitt töltés? Mekkora a kondenzátor belsejében a térerősség?

b) Mennyivel változik meg a kondenzátor elektromos mezejében felhalmozott energia, ha a földeletlen lemezt – szigetelő talpánál fogva – 4 mm-re eltávolítják a földelt lemeztől?

c) Az egymástól 4 mm távolságban lévő lemezek közé végül becsúsztatnak egy tömör, lapos fémhengert, melynek magassága 2 mm, sugara pedig a kondenzátorlemezek sugarával egyenlő nagyságú. Hogyan és mennyivel változik meg a kondenzátor mezejének energiája? A válaszhoz fontos-e tudni, hogy a lemezektől milyen távolságban van a lapos henger?

d) Ábrázold grafikusan a fémhenger becsúsztatását követően kialakult állapotban a fegyverzetek között a térerősség és a potenciál értékét a földeletlen lemeztől mért távolság függvényében! (A rajzkészítésnél feltételezheted, hogy a lapos henger a lemezektől egyenlő távolságban helyezkedik el.)

114. Egy kondenzátor kapacitását szeretnénk meghatározni. Ezért egy ismert kapacitású, 6 μF-es kondenzátort feltöltünk 12 V feszültségű áramforrásról. Miután az áramforrásról leválasztottuk, párhuzamosan kapcsoljuk az ismeretlen kapacitású kondenzátorral. Megmérjük az összekapcsolt kondenzátorok közös feszültségét. Mekkora a kondenzátor ismeretlen kapacitása, ha a közös feszültségük 4 V?

115. Két kondenzátoron az alábbi feliratok találhatók: 100 V, 1 μF, 200 V, 4 μF.

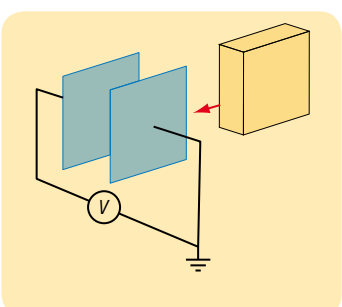
a) A kondenzátorokat sorba kötjük. Legfeljebb mekkora feszültséget kapcsolhatunk az összekapcsolt kondenzátorokra anélkül, hogy tönkremennének? Add meg a maximális feszültség rákapcsolása esetén az egyes kondenzátorok feszültségét, a bennük tárolt töltést és az elektromos mezejükben tárolt energiamennyiségeket!

b) A kondenzátorokat párhuzamosan kötjük. Legfeljebb mekkora feszültséget kapcsolhatunk az összekapcsolt kondenzátorokra anélkül, hogy tönkremennének? Add meg a maximális feszültség rákapcsolása esetén az egyes kondenzátorok feszültségét, a bennük tárolt töltést és az elektromos mezejükben tárolt energiamennyiségeket!

116. Vízszintes helyzetű síkkondenzátor alsó lemeze pozitív, a fölső lemez negatív töltésű. A lemezek közötti távolság 4 cm, a közöttük lévő feszültség 400 V. A lemezek közötti távolság felénél egy $2 \cdot 10^{-5}$ C töltésű, 8 g tömegű testet lövünk be vízszintes síkban a lemezek közé. Milyen pályán mozog a test, és melyik lemezbe csapódik be, ha elég széles a lemez? Mekkora legyen a test kezdősebessége, hogy a lemez szélétől 10 cm-re csapódjon be a lemezbe?

117. Vízszintes helyzetű 2 pF kapacitású síkkondenzátor lemezei 8 cm oldalélű négyzetek. Az alsó lemez pozitív, a fölső lemez negatív töltésű. A lemezek töltése 10^{-12} C. A lemezek közötti távolság felénél egy elektront lövünk be vízszintes síkban a lemezek közé. Mekkora volt az elektron kezdősebessége, ha sebességének iránya 10°-kal változott meg, mialatt keresztülhaladt a lemezek közötti elektromos mezőn?

118. Síkkondenzátor két, egymástól d_0 távolságban lévő, A területű lemeze között levegő van. Az egyik fegyverzetet leföldeljük, a másikra elektromos töltést viszünk. A két lemez közé kapcsolt elektrométer ekkor U_0 feszültséget jelez. A kondenzátorral három kísérletet végzünk el. (Tegyük fel, hogy a kísérletek elvégzése közben a lemezeken lévő töltésmennyiség nem változik.)



a) Először a lemezek közötti távolságot a háromszorosára növeljük. Mekkora feszültséget jelez ezt követően az elektrométer?

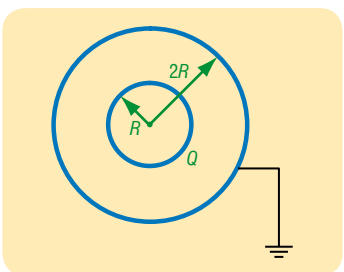
b) A második kísérlet előtt visszaállítjuk az eredeti állapotot, majd a fegyverzetek közé, azokkal párhuzamos állásban becsúsztatunk egy $d_{\text{fém}} < d_0$ vastagságú, ugyancsak A

alapterületű fémlemezt. Azt tapasztaljuk, hogy az elektrométer által mutatott feszültségérték a háromnegyedére csökken. Milyen vastag a becsúsztatott fémlemez?
c) A harmadik kísérletben a d_0 távolságban lévő fegyverzetek közé egy $d_{\text{műanyag}} = d_0$ vastagságú, A alapterületű műanyaghasábot csúsztatunk be. Mekkora a hasáb anyagának relatív dielektromos állandója, ha az elektrométer által mutatott feszültségérték a becsúsztatás következtében $\frac{U_0}{5}$-re csökken?

119. 10 cm sugarú, elhanyagolható falvastagságú fémgömb 10^{-8} C pozitív elektromos többlettöltéssel rendelkezik.

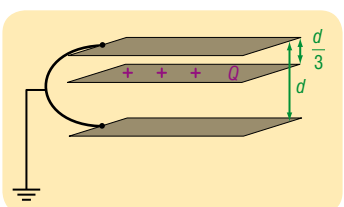
a) Ábrázold a gömb elektromos mezejében uralkodó térerősségnek és az elektromos potenciálnak a gömb középpontjától mért távolságtól való függését! (Vizsgáld a gömbön belüli és a gömb felszínén kívül eső pontokat is!)
b) Mennyi munkát kellett végezni a gömb feltöltéséhez?

120. A 10 cm sugarú, $3 \cdot 10^{-9}$ C pozitív többlettöltésű, belül üres fémgömböt 20 cm sugarú, leföldelt fém gömbhéj vesz körül. A két gömb középpontja egybeesik, falvastagságuk – sugarukhoz viszonyítva – elhanyagolható.

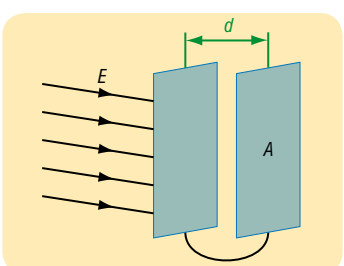


a) Írd fel a térerősség és a potenciál értékét megadó összefüggéseket a kisebb sugarú gömbhéjon belüli, a két gömbhéj között elhelyezkedő, és a nagyobb sugarú gömbön kívül eső pontokra nézve!
b) Ábrázold grafikonon a térerősség és a potenciál alakulását a gömbök közös középpontjától mért távolság függvényében!
c) Mekkora ennek a „gömbkondenzátornak” a kapacitása?

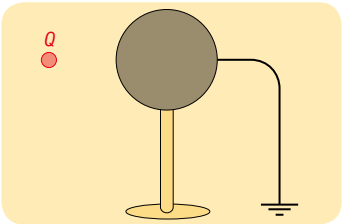
121. Három azonos területű, vízszintes síkú fémlemez egymással szemben helyezkedik el úgy, hogy a középső lemez kétszer akkora távolságra van az alsó lemeztől, mint a felsőtől. Az alsó és a felső lemezt leföldelték, a középsőre pedig Q pozitív többlettöltést vittek. Mekkora és milyen előjelű töltés van az alsó, illetve a felső lemezen?



122. Fémhuzallal összekötött, egymással szemben álló, párhuzamos síkú, A területű vezető síklemezek homogén elektromos mezőben helyezkednek el az E térerősség irányára merőlegesen. Mennyi munkát kell végeznünk annak érdekében, hogy a lemezek közötti d távolságot a harmadára csökkentsük?



123. Szigetelő állványon álló, 15 cm sugarú, földelt fémgömbtől 15 cm távolságban $2 \cdot 10^{-8}$ C töltésű, pontszerűnek tekinthető golyó helyezkedik el. Mekkora és milyen előjelű lesz a gömb többlettöltése, ha megszüntetjük a földelését?

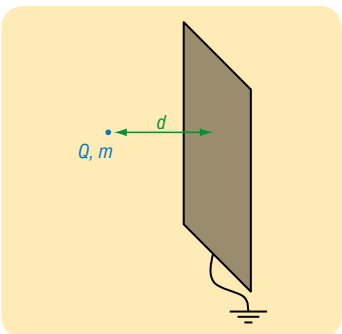


124. Függőleges síkú, nagy kiterjedésű, földelt fémlemeztől d távolságban megjelenik egy Q töltésű, m tömegű porszem.

a) Mekkora erőt fejt ki a lemez a porszemre?

b) Mennyi idő alatt ütközik a lemezbe a porszem?

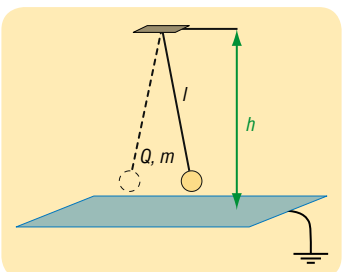
(A porszem kezdősebessége, a gravitáció és a légellenállás hatása elhanyagolható.)



125. Vízszintes síkú, nagy kiterjedésű földelt vezetőlemez fölött $h = 3$ m magasságban egy fonálinga van felfüggesztve. Az $l = 2{,}99$ m hosszúságú, elhanyagolható tömegű szigetelőfonál végén lévő $m = 2$ g tömegű polisztirol golyó $Q = 10^{-6}$ C elektromos többlettöltéssel rendelkezik.

Mekkora az inga lengésideje kis szögkitérések esetén?

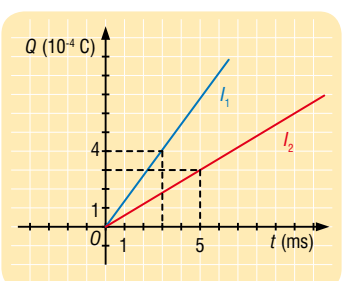
(Ha a differenciálszámítással már megismerkedtél, válaszolni tudsz arra a kérdésre is, hogy ha a gravitáció hatásától eltekintünk, milyen hosszú ingafonál biztosítaná az adott elrendezésben a leghosszabb lengésidőt?)



3.4. Áramerősség, ellenállás, Ohm törvénye

126. Egy vezető adott keresztmetszetén 2 perc alatt 6 C töltés halad át. Mekkora a vezetőben folyó áram erőssége?

127. Hogyan állapíthatnád meg puszta „ránézéssel”, hogy a két áramerősség közül melyik a nagyobb? A grafikonok alapján határozd meg az egyes áramerősségek nagyságát!



128. Melyik esetben nagyobb az áram erőssége:

a) ha 80 μC nagyságú töltés 1 ms alatt, vagy

b) ha 5 perc alatt 9 C töltés áramlik át a vezető adott keresztmetszetén?

129. Egy elektromos kapcsolás adott csomópontjába befutó áram erőssége 4 A. Az egyik kifutó mellékágban folyó áram erőssége 400 mA. Mekkora erősségű áram folyik a másik mellékágban?

130. A vezető adott keresztmetszetén 40 s alatt 10^{22} számú elektron halad át. Mekkora a vezetőben folyó áram erőssége? $\left(Q_{\text{elektron}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}\right)$

131. Egy fémes vezető két végére egy 9 V-os elemet kötünk. Mekkora a vezető ellenállása, ha a vezetőn átfolyó áram erőssége 19,15 mA?

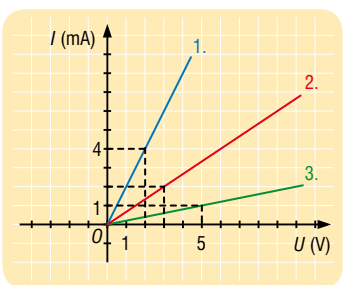
132. Állítsd nagyság szerint sorrendbe az alább meghatározott ellenállásokat!

a) Az ellenállásra kapcsolt 24 V-os feszültség hatására a létrejött áram erőssége 15 mA.

b) Az ellenállás 4,7 kΩ-os.

c) Az ellenálláson átmenő 80 μA-es áram az ellenálláson 18 mV nagyságú feszültségesést eredményez.

133. A grafikon egy-egy ellenálláson átfolyó áram erősségét mutatja a feszültség függvényében. Mekkorák az egyes ellenállások értékei?



134. Mekkora annak a 20 km hosszú távírósodronynak az ellenállása, amelynek az átmérője 5 mm? A távírósodrony anyagának fajlagos ellenállása $0{,}15\,\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

135. Milyen hosszú az az $1{,}68 \cdot 10^{-8}\,\Omega \cdot \text{m}$ fajlagos ellenállású, kör keresztmetszetű rézhuzal, amelynek 0,5 mm a sugara és 749 mΩ az ellenállása?

136. Egy konstantán huzalra 3 V-os feszültségforrást kapcsolunk. A huzalon átfolyó áram erőssége 1,2 A. Mekkora ennek a vezetőnek a hossza, ha az átmérője 5 mm, fajlagos ellenállása pedig $5 \cdot 10^{-7}\,\Omega \cdot \text{m}$?

137. Fémes vezetőben 2 mA erősségű áram folyik. Hány coulombnyi töltés halad át a vezető adott keresztmetszetén fél perc alatt?

138. Hány elemi töltés halad át 15 s alatt annak a vezetőnek a keresztmetszetén, amelyben 20 mA erősségű áram folyik?

139. Egy teherautó indítóakkumulátora 180 amperórás (Ah). Hány C töltést tárol teljes feltöltöttségi állapotban? Feltételezve, hogy az áramerősség végig állandó, mennyi ideig terhelhető ez az akkumulátor 3 A-es árammal?

140. Egy elektromos kapcsolás egyik csomópontjába négy vezetéken folyik be áram. Az áramerősségek nagyságai: 2 A, 7 A, 15 A, 6 A. A csomópontból két ág csatlakozik ki. Az egyik ágon 15 A erősségű áram folyik ki. Mekkora töltés áramlik át a második kivezető ágon 3 perc alatt?

141. Egy vezető adott keresztmetszetén 3 perc alatt $9 \cdot 10^{20}$ számú elemi töltés halad át. A vezető két vége között 12 V-os feszültség mérhető. Mekkora a vezető ellenállása?

142. Mekkora annak az autóizzónak az ellenállása, amelynek üzemi adatai 12 V és 1,75 A?

143. Egy halogén zseblámpaizzón található feliratok: 0,7 A, 6,5 V. Hányszor nagyobb a halogén zseblámpaizzó ellenállásánál a 230 V-ra készített hagyományos izzó ellenállása, ha azon 0,26 A erősségű áram halad át?

144. Három, egyenként 0,5 m hosszúságú huzalból egy $\sqcap$ alakú vezetőt készítünk. A vezető szabad végeire feszültségforrást kapcsolunk. A vezetőben folyó áram erőssége ekkor 3 A. Az elektromos térerősség nagysága a vezetőben $0{,}012\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. A vezető átmérője 5,64 mm.

a) Mekkora a vezető egy-egy oldalának ellenállása?
b) Mekkora a vezető anyagának fajlagos ellenállása?