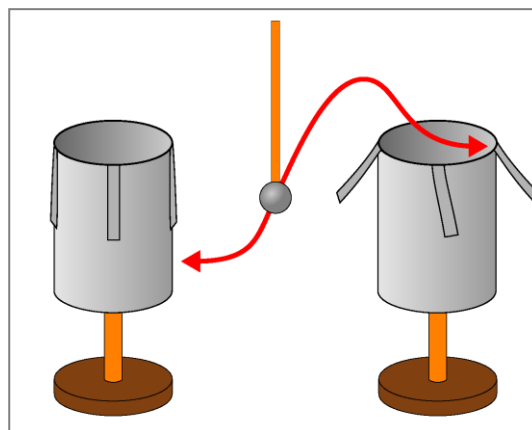
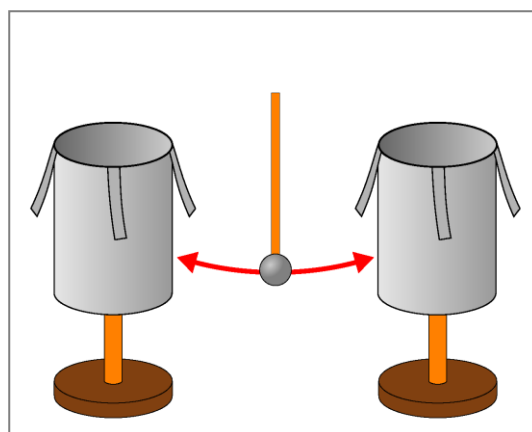


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

Töltés, térerősség és potenciál a vezetőkön

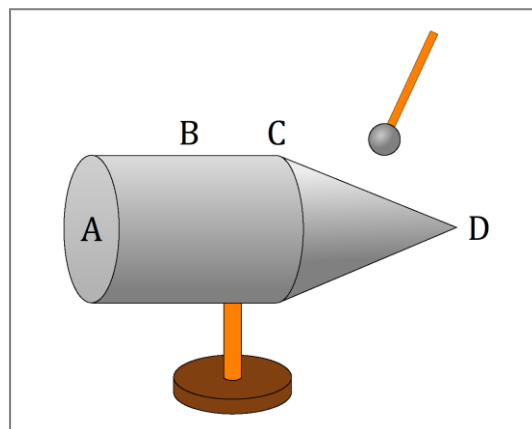
Az elektromos alapjelenségek tanulmányozásakor láttuk, hogy az elektromos töltés egy szigetelőnyélen levő fémgolyóval átvihető az egyik testről a másikra. Az akkor elvégzett kísérletet kissé módosítva, fémgömbök helyett fémserlegeket használva is elvégeztük.

Ha a töltést az egyik serleg külső felületéről próbáltuk meg a másik serleg külső felületére juttatni, akkor a serlegekre erősített elektroszkópok azt jelezték, hogy ez csak részben sikerült: az eredetileg semleges serlegre ilyen módon nem lehet az összes töltést átvinni. Ha azonban a fémgolyót mindig az eredetileg feltöltött serleg külső felületéhez, majd a kezdetben semleges serleg belső oldalához érintettük, akkor a teljes töltést átvihettük a második serlegre. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy *a vezetőn elhelyezkedő nyugvó többlettöltés mindig a külső felületen helyezkedik el*. A vezető belsejébe juttatott, töltéssel rendelkező részecskék a fellépő taszítás miatt azonnal a vezető külső felületére kerülnek.



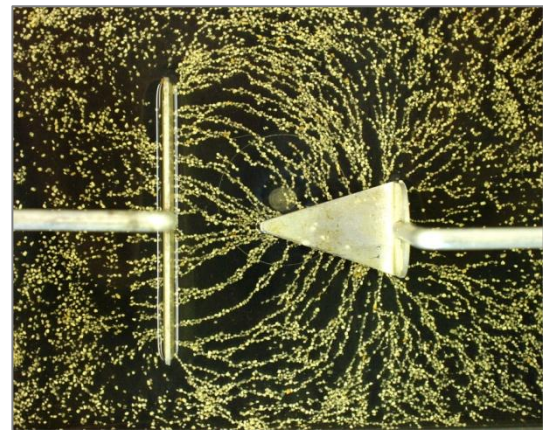
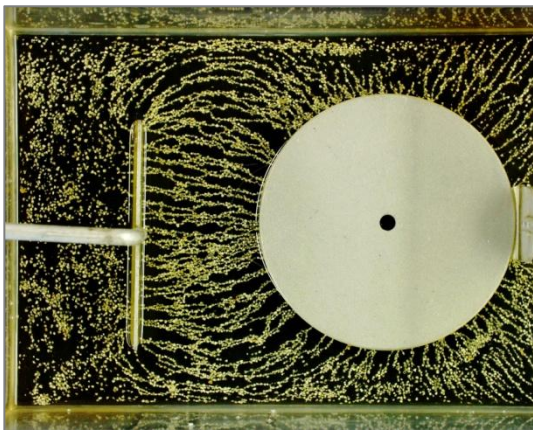
A töltés a vezető felületén általában nem egyenletesen helyezkedik el. Ha például az ábrán látható feltöltött vezető megjelölt pontjaiból egy szigetelőnyélen erősített kis fémgolyóval töltést viszünk át egy elektroszkópra, akkor azt tapasztaljuk, hogy

$$Q_A < Q_B < Q_C < Q_D .$$



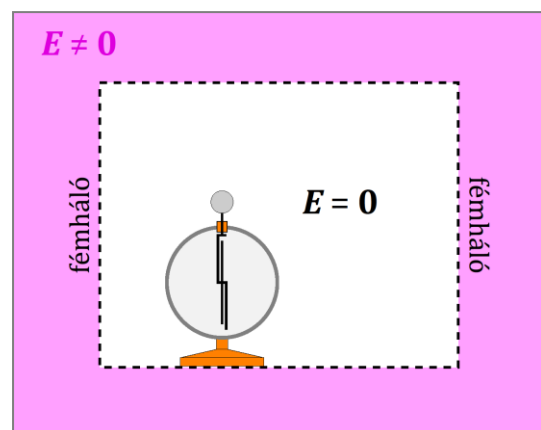
Ebből arra következtethetünk, hogy *a vezető felületének különböző részein annál több töltés gyűlik össze, minél nagyobb a görbület.* Ennek megfelelően a csúcsokon és az éleken viszonylag sok töltés van.

Ha a vezetőn levő töltések nyugalomban vannak, akkor a vezető belsejében a térerősség nulla, a felületen pedig mindenütt merőleges a felületre. Ha ugyanis a vezető belsejében a térerősség nem lenne nullvektor, akkor a vezetőben levő töltéshordozókra erő hatna, így azok nem maradnának nyugalomban. Ha a felszínen a térerősség nem lenne merőleges a vezető felületére, akkor a térerősségnek a felülettel párhuzamos összetevője nem lenne nulla. Ennek következtében a felületen levő töltéshordozókra a felülettel párhuzamosan erő hatna, így azok nem maradhatnának nyugalomban. A vezető felületére merőleges térerősség egyébként az erővonalakat bemutató (búzadarás) kísérlettel szemléltethető.



Láttuk, hogy a töltések a vezető felületén általában nem egyenletesen oszlanak el, hanem a nagy görbületű részekeken halmozódnak fel. Ezért *a térerősség a csúcsok, élek közelében a legnagyobb, és ezeken a helyeken az erővonalak összesűrűsödnek.*

Ha egy sűrű dróthálóval minden oldalról körbeveszünk egy semleges, a hálótól elszigetelten álló elektroszkópot, akkor bármekkora töltést viszünk a dróthálóra, illetve akármilyen erősen feltöltött testet helyezünk a háló közelébe, az elektroszkóp lemezei nem térnek ki. Mindez azt igazolja, hogy a vezető belsejébe a külső elektromos mező nem hatol



be, azaz *a vezető belsejében levő üregekben a térerősség szintén nulla, feltéve, hogy az üregekben nincsenek a vezetőtől elszigetelt, elektromos töltésű testek.* Ezt a tényt gyakran

kihasználják az elektronikában. Az érzékeny berendezéseket, műszereket ugyanis a külső elektromos tér zavaró vagy káros hatásától fémházzal védik. Ezt a megoldást *árnyékolásnak* nevezik.

Láttuk, hogy nyugvó töltéseknél a térerősség a vezető belsejében mindenütt nulla, ezért az elektromos mező így nem fejt ki a vezető belsejében levő töltésre erőt. Ennek következtében bármekkora Q töltést viszünk a vezető belsejében haladó útvonalon a vezető egyik pontjából a másikba, nem kell munkát végeznünk. A vezető tetszőleges A és B pontját kiválasztva tehát

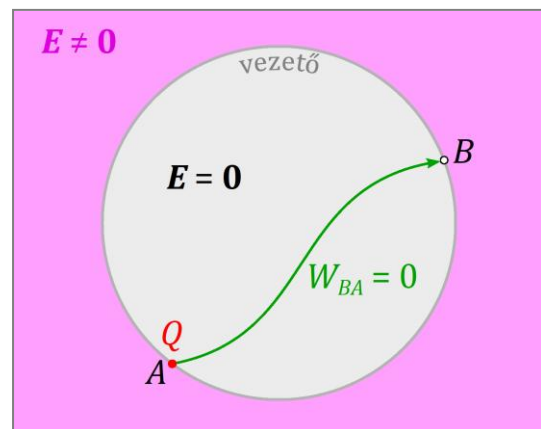
$$U_{BA} = \frac{W_{BA}}{Q} = \frac{0}{Q} = 0.$$

A két pont közti potenciálkülönbség eszerint:

$$U_B - U_A = U_{BA} = 0,$$

tehát

$$U_B = U_A.$$



azaz a két pont potenciálja egyenlő. Mivel ez az összefüggés a vezető bármely két pontjára teljesül, ezért *ha a vezetőn levő töltések nyugalomban vannak, akkor a vezető minden pontjában ugyanakkora a potenciál*. Eszerint a vezető minden pontja ekvipotenciális pont.

Igazolható, hogy a magában álló, környezetétől elszigetelt, gömb alakú, R sugarú, Q töltésmennyiséggel rendelkező *vezető potenciálja* egy végtelen távol fekvő ponthoz viszonyítva:

$$U = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q}{R}.$$

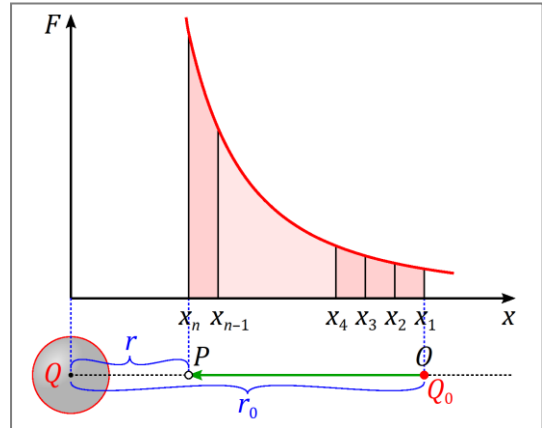
Kiegészítések

1. A magában álló, környezetétől elszigetelt, gömb alakú, R sugarú, Q töltésmennyiséggel rendelkező *vezető potenciáljának* kiszámításához először határozzuk meg, hogy mekkora munkát kell végeznünk, ha egy Q_0 töltésű pontszerű testet a gömb középpontja felé elmozdítunk!

A Q_0 töltésű pontszerű test mozgatásához szükséges erő a gömb középpontjától x távolságban a Coulomb-törvény szerint:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot Q_0}{x^2}.$$

Tudjuk, hogy a munkának az erő-elmozdulás grafikonon függvénygörbéje és az elmozdulástengely közti síkidom területe felel meg. Osszuk fel a rajz szerint az elmozdulást $n - 1$ egyenlő részre! Az első szakaszon közelítsük a függvénygörbe alatti síkidomot egy trapézzal! A végzett munka a trapéz területe alapján:



$$W_1 = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot (x_1 - x_2).$$

Matematikai tanulmányainkból tudjuk, hogy két pozitív mennyiség számtani és mértani közepe annál közelebb van egymáshoz, minél kisebb a két mennyiség eltérése. Ezért az F_1 és F_2 erők számtani közepét a mértani középpel helyettesítve:

$$\frac{F_1 + F_2}{2} \approx \sqrt{F_1 \cdot F_2} = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot Q_0}{x_1^2} \cdot \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot Q_0}{x_2^2}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot Q_0}{x_1 \cdot x_2}.$$

Ezt az (1) összefüggésbe helyettesítve, majd a beszorzást elvégezve:

$$W_1 = \frac{F_1 + F_2}{2} \cdot (x_1 - x_2) \approx \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q \cdot Q_0}{x_1 \cdot x_2} \cdot (x_1 - x_2) = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right).$$

Ehhez hasonlóan látható be, hogy a további szakaszokon végzett munkák közelítő értékei:

$$W_2 = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2} \right),$$

$$W_3 = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{x_4} - \frac{1}{x_3} \right),$$

⋮

$$W_{n-1} = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{x_n} - \frac{1}{x_{n-1}} \right).$$

A teljes munka a fenti munkák összegével közelíthető, azaz

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_{n-1}.$$

Az előzőek behelyettesítésével:

$$W = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left[\left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) + \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2} \right) + \left(\frac{1}{x_4} - \frac{1}{x_3} \right) + \dots + \left(\frac{1}{x_n} - \frac{1}{x_{n-1}} \right) \right].$$

A belső zárójelek felbontása és az összevonások után:

$$W = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{x_n} - \frac{1}{x_1} \right).$$

Ez a közelítés annál pontosabb, minél rövidebb szakaszokra osztjuk az elmozdulást, mivel ilyenkor egyrészt kisebb a számtani és mértani közép közti eltérés, másrészt a trapézok területe jobban megközelíti a függvénygörbe alatti síkidomok területét. Határesetben, ha az elmozdulást az elképzelhető legrövidebb szakaszokra bontjuk, akkor az OP szakaszon végzett munka az ábra jelöléseit használva:

$$W_{PO} = \frac{Q \cdot Q_0}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right).$$

Mindkét oldalt elosztva a mozgató Q_0 töltésmennyiséggel, a bal oldalon a két pont közti feszültséget kapjuk, így

$$U_{PO} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right).$$

Ha a kezdőpont nagyon távol van a gömbtől, akkor

$$\frac{1}{r_0} \approx 0$$

ezért a P végpont feszültsége egy végtelen távoli ponthoz viszonyítva:

$$U_{PO} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r} - 0 \right) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q}{r}.$$

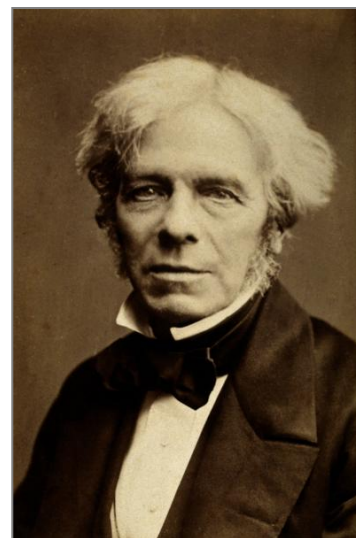
Ez a feszültség egyúttal megegyezik a P végpont potenciáljával, tehát

$$U_P = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q}{r}.$$

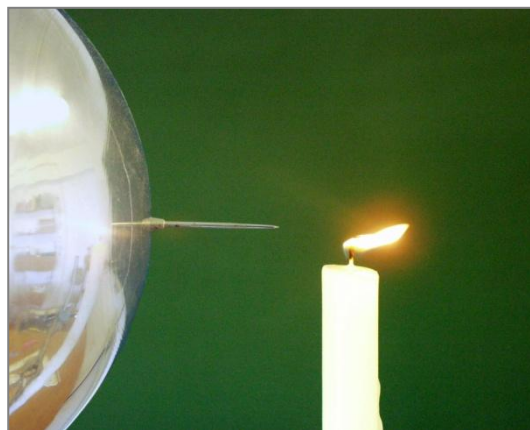
Határesetben a P végpontot a gömb felszínén, azaz a középponttól R távolságban is kijelölhetjük. A végpont potenciálja ekkor megegyezik a gömbfelszín potenciáljával. Eszerint a magában álló, környezetétől elszigetelt, gömb alakú, R sugarú, Q töltésmennyiséggel rendelkező vezető potenciálja egy végtelen távoli ponthoz viszonyítva:

$$U = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q}{R}.$$

2. A vezetők árnyékoló hatását Michael *Faraday* (1791–1867) angol fizikus, vegyész ismerte fel. Faraday autodidakta (önképző) tudós, korának legkiválóbb kísérletezője volt. Eredetileg könyvkötőinasként dolgozott, itt szabadidejében, éjszakánként rendszeresen elolvasta a bekötésre hozott könyveket. A londoni *Királyi Intézet*ben előbb *Humphry Davy* (1778–1829) angol vegyész laboránsa, majd 1825-től az intézet igazgatója, 1827-től a kémia professzora volt. Elsőként sikerült cseppfolyósítania a klórt, az olaj analízise során pedig 1825-ben felfedezte a benzolt. Legjelentősebb eredményeit azonban az elektromosság területén érte el. Faraday 1858-tól a *Magyar Tudományos Akadémia* tiszteleti tagja volt.



3. A töltéssel rendelkező fémcsúcsok körüli nagy térerősség miatt a csúcs a levegő molekuláit magához vonzza, majd miután azok a fémcsúccsal azonos töltésűvé váltak, nagy erővel eltaszítja őket. Emiatt a csúcs közelében *elektromos szél* keletkezik, amely egy gyertya lángját is elhajlíthatja vagy akár el is olthatja.

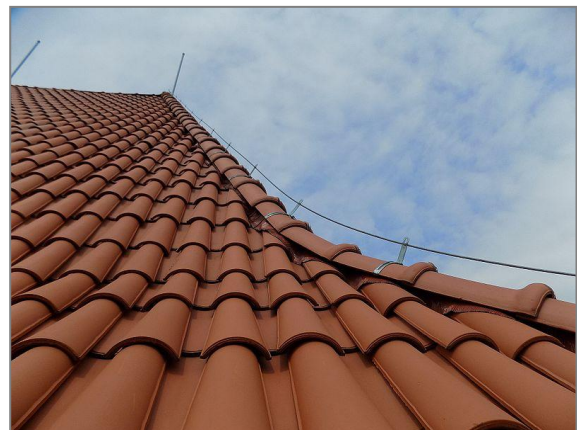
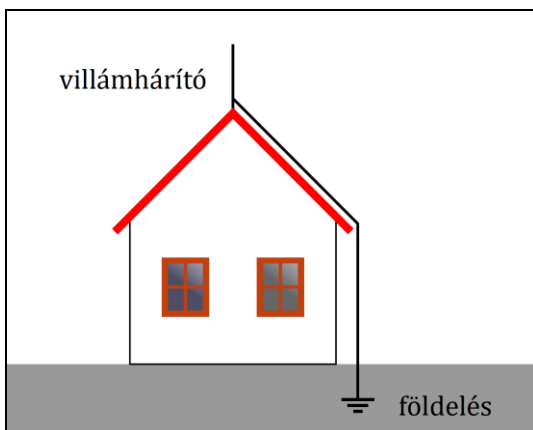


Videó az elektromos szélről: <https://www.youtube.com/watch?v=hNrMMIO5FZU>

4. Az *elektromos Segner-kerék* működése szintén azon alapszik, hogy a keréken található érintőirányú fémcsúcsok a levegő molekuláit eltaszítják maguktól. A hatás-ellenhatás törvénye miatt azonban az ellökött molekulák ugyanekkora erővel hatnak a csúcsokra, és így forgásba hozzák a kereket.



5. A villámhárító többnyire egy olyan hegyes fémrúd, amely fémes összeköttetésben van a földdel. A villámhárítót többnyire a házak, építmények legmagasabb pontján helyezik el, és így a csúcs körüli nagy térerősség miatt a villám nem a tetőbe, hanem a villámhárítóba csap. Az áram így nem az épületen keresztül, hanem a villámhárító vezetékén át jut a földbe, ezáltal a villám nem okozhat tüzet.

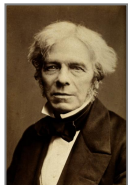


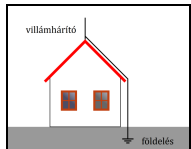
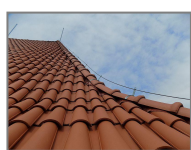




6. A villámhárítót Benjamin *Franklin* (1706–1790) amerikai fizikus, államférfi fejlesztette ki 1752-ben. Franklin egyik megfogalmazója és aláírója volt az amerikai Függetlenségi Nyilatkozatnak (1776). Tiszteletére 1914 óta az ő arcképe található a legnagyobb címletű amerikai bankjegyen, a 100 dolláron.



Képek jegyzéke

	<p>Töltés átvitele kívülről kívültre © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0422.svg</p>
	<p>Töltés átvitele kívülről belültre © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0423.svg</p>
	<p>A vezetőn található töltés eloszlásának kimutatása © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0424.svg</p>
	<p>A vezető felületére merőleges térerősség szemléltetése 1. © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0818.jpg</p>
	<p>A vezető felületére merőleges térerősség szemléltetése 2. © http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0122.jpg</p>
	<p>Az árnyékolás © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0425.svg</p>
	<p>Rajz a levezetéshez © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0426.svg</p>
	<p>Rajz a munkavégzés kiszámításához © http://fizikakonyv.hu/rajzok/0427.svg</p>

	<p>Faraday arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Michael_Faraday.png</p>
	<p>Az elektromos szél</p> <p>© http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0666.jpg</p> <p>Videó a kísérletről: https://www.youtube.com/watch?v=hNrMMlO5FZU</p>
	<p>Elektromos Segner-kerék</p> <p>© http://fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0729.jpg</p> <p>Videó a kísérletről: https://www.youtube.com/watch?v=vMxt7GuNSfk</p>
	<p>Villámhárító rajza</p> <p>© http://fizikakonyv.hu/rajzok/0428.svg</p>
	<p>Villámhárító egy háztetőn</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Museum_of_Applied_Arts_in_Pozna%C5%84_-_maj_2017_-_23.jpg</p>
	<p>Franklin arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benjamin_Franklin_by_Joseph_Siffrein_Duplessis.jpg</p>
	<p>Franklin arcképe a 100 dolláros bankjegyen</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Obverse_of_the_series_2009_\$100_Federal_Reserve_Note.jpg</p>

Jelmagyarázat:

- © **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.