

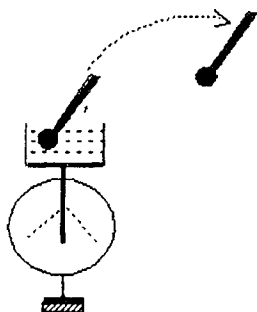
Érintkezési és hőelektromos jelenségek

I. rész

A villamos jelenségekkel kapcsolatban régóta ismert jelenség a szorosan érintkező vagy összedörzsölődő, különböző anyagi minőségű testek, elektromos feltöltődése. E jelenség csoportot szigetelők esetén dörzselektromosságnak, fémek esetén érintkezési vagy kontakt elektromos jelenségnek nevezik. Mindkét esetben a jelenség kísérletileg is könnyen kimutatható. Ismert tény, hogy a bőrdarabbal vagy sörmedarabbal megdörzsölt üveg vagy ebonit rúd elektromosan feltöltődik. Megfigyelhető, hogy műanyag tárgyak (pl. ruhaneműk, fésűk) sűrűlódáskor dörzsölődéskor elektromosan feltöltődnek. Esetenként akár több-tízezer voltos feszültségre is feltöltődhetnek a megdörzsölt szigetelő anyagok. Az így feltöltődött testek olykor látványos sercegő hangot adó szikrakisülés formájában veszítik el töltéseiket. Gyakran előforduló balesetek okozója lehet ez a jelenség. Ezért nem szabad műanyag tartályokban (kaniszterekben) gyúlékony folyadékokat pl. benzint tárolni. A folyadéknak a tartályba való be- vagy ki-töltésekor a folyadék részecskék surlódnak (érintkeznek) az edénnyel és elektromosan feltöltődnek. Ha a feltöltődés nyomán szikrakisülés lép fel, az a gyúlékony folyadékot lángra lobbantathatja. Így ez a jelenség komoly tüzek, vagy akár robbanások okozója lehet. A malomiparban olykor előforduló porrobbanások és malomtűzek leggyakrabban érintkezési elektrosztatikus feltöltődésekre vezethetők vissza. Ennek a jelenségnek a káros következményein kívül vannak hasznos alkalmazásai is. A gyárkérményekben alkalmazott elektrosztatikus füstszűrők kiszűrik a füstgázban kiáramló szennyező vagy mérgező anyagokat és ugyanezt a jelenséget hasznosítják a vegyipar elektrosztatikus porleválasztó berendezéseiben.

A szigetelő anyagok elektromos feltöltődése valójában annak a következménye, hogy a két különböző szigetelő test érintkezése során az egyik testről töltések mennek át a másik testre így az egyik test pozitív a másik pedig negatív potenciálra töltődik fel. **A szilárd szigetelőknél a dörzsölés lényegében csak a szoros érintkezést biztosítja.** Szigetelők elektromos feltöltődését dörzsölés nélkül, csupán az érintkezés következtében, könnyen ki lehet mutatni abban az esetben, ha az egyik szigetelő szilárd a másik pedig cseppfolyós halmazállapotú; ebben az esetben ugyanis nagyon jó az érintkezés a két test részecskéi között.

A jelenség bemutatására szolgáló kísérlet felépítése a következő (1 ábra):



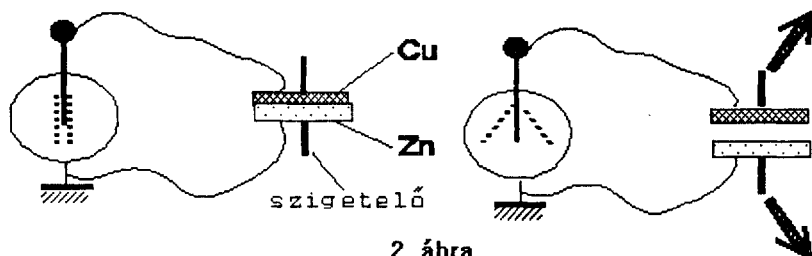
1. ábra

- érzékeny elektrométerre egy fém poharat rögzítünk. A pohárba desztillált vizet töltünk. Ezután egy szigetelő nyélre erősített paraffin golyót merítünk a vízbe. Paraffin helyett más, a vízben nem nedvesedő szigetelő is megfelel. A paraffin golyó bemerítésekor az elektrométer nem mutat kitérést. A golyót a vízből kihúzva az elektrométer kitér. Megvizsgálva az elektrométer feltöltődését azt tapasztaljuk, hogy az pozitív potenciálra töltődött fel. Ha a golyót visszadugjuk a vízbe az elektrométer kitérése megszűnik. Ebből a tényből arra következtethetünk, hogy a golyón annyi negatív töltés van amennyi pozitív töltés található a vízben illetve az elektrométeren. Az érintkezés során feltöltődő testekre érvényes a **Coehn-szabály**, amely kimondja, hogy érintkezéskor mindig a nagyobb permittivitású test töltődik fel pozitív töltéssel.

Az itt leírt kísérletben, de általában is érvényes az, hogy ha két különböző anyagú test szorosan érintkezik, részecskéik 10^{-10} m távolságra megközelítik egymást, akkor az egyik testről a másikra töltések mehetnek át. Így a két test érintkezési felülete mentén kialakul egy $+Q, -Q$, töltésű elektromos kettősréteg. A két test között létrejön egy igen rövid erővonalakkal bíró elektromos erőter, melyhez tartozik egy U_e **érintkezési feszültség** (kontaktspotenciál). Ez a feszültség a becslések szerint 1 volt nagyságrendű. Szigetelők esetén ennek a feszültségnek a mérésére megfelelő mérési eljárást nem ismerünk. Az előbb ismertetett kísérletben az elektrométer 100 volt nagyságrendű feszültséget jelez és az elektrosztatikusan feltöltött testek kisülésekor (szikrakisülés) is 10^4 vagy akár 10^5 volt nagyságrendű feszültségek lépnek fel.

Honnan ez a nagy feszültség?

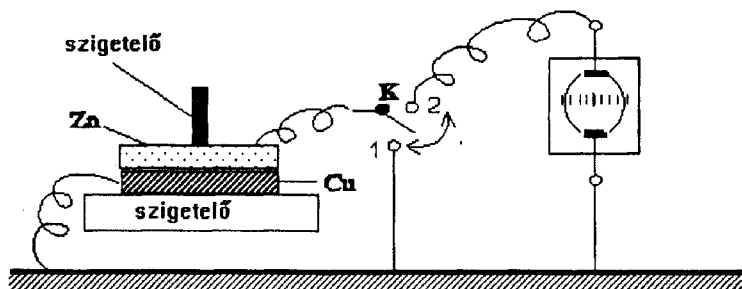
Az érintkezés nyomán kialakult elektromos kettősréteg térhatárai mikroszkópikus távolságra vannak egymástól ($d \sim 10^{-10}$ m). A réteg mindkét határfelületén ugyanakkora nagyságú, de ellentétes előjelű Q töltés helyezkedik el egy viszonylag nagy kapacitású rendszerben, melynek a feszültsége az U_e érintkezési feszültség. Erre a rendszerre nyilvánvalóan felírható a jól ismert alapösszefüggés: $Q = C_e \cdot U_e$, ahol C_e a kettősréteg kapacitása. Amikor a két feltöltött testet egymástól eltávolítjuk, az erővonalak a töltések között nagymértékben meghosszabbodnak, a rendszer elektromos kapacitása nagyon lecsökken (a kezdeti C_e értéknek akár a tíz vagy század részére). Mivel a szigetelő testeken az eltávolítás során a töltések értéke változatlan maradt, most is felírható az előzőhöz hasonló összefüggés: $Q = C \cdot U$. A Q töltésre felírt két összefüggésből következik, hogy az eltávolított szigetelt testeken a feszültség olyan arányban kell megnöjjen, amilyen arányban csökkent a kapacitása a rendszernek. Így érthető, hogy elektrosztatikus feltöltődéskor a testek akár százezer volt nagyságrendű feszültségre is feltöltődhetnek.



2. ábra

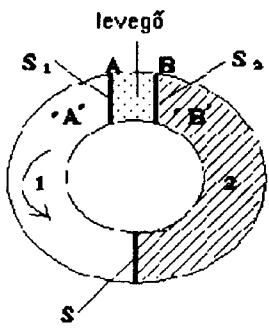
Különböző anyagú fémtestek érintkezésekor keletkező elektromos feltöltődést a Volta-féle alapkísérlettel (1793) lehet kimutatni (2.ábra). Szigetelő nyélre erősített sima rézlemez és cinklemez kapcsoljunk rá egy érzékeny elektrométer sarkaira; érintsük jól össze a lemezeket (az elektrométer nem mutat kitérést), majd hirtelen távolítsuk el egymástól. Azt tapasztaljuk, hogy az eltávolítás pillanatában az elektrométer kitérést mutat. Az elektrométer feltöltődéséből megállapítható, hogy a cink pozitív, a rézlemez pedig negatív töltésekkel töltődött fel. Az elektrométer 100 voltos nagyságrendű feszültséget jelez. Ez az érték jóval nagyobb a réz és cink között mérhető érintkezési feszültségnél. A két fém között az érintkezési feszültség ebben az esetben is 1 volt nagyságrendű. Az előzőekben a szigetelőkre alkalmazott gondolatmenet itt is érvényes. A szétválasztáskor a rendszer kapacitása lecsökken és ugyanakkor megnő a lemezekben a töltések feszültsége.

Megfigyelhető, hogy fémek esetében a szétválasztás után jóval kisebb (nagyságrendekkel kisebb) feszültség adódik. Ennek az a magyarázata, hogy fémek esetén a szétválasztás pillanatában részleges töltéskiegyenlítődés (kisülés) jön létre a két fémfelület között. Így a szétválasztott fémfelületeken kevesebb töltés van mint az érintkező lemezek felületi kettősrétegében.



3. ábra

A fémek érintkezési feszültségét legegyszerűbben a Faraday által javasolt mérési eljárással lehet meghatározni. Ehhez szükséges egy nagyobb érzékenységű elektrométer, pl. egy Braun féle szálas elektrométer. A 3. ábrán látható kapcsolási vázlat alapján közvetlenül mérhető két fémfelület között az érintkezési feszültség. A mérés menete a következő: a **K** kapcsolót előbb az 1-es helyzetbe állítjuk (a lemezeket földeljük), majd átkapcsoljuk a 2-es helyzetbe, ekkor az elektrométer feltöltődik, a két fém között fellépő érintkezési feszültség értékére. Abban az esetben, ha az elektrométer nem elég érzékeny a kitérés nem érzékelhető. Ha a felső lemezt a szigetelő nyélről fogva kissé felemeljük, a rendszer kapacitása lecsökken, de ugyanakkor megnő a feszültség. Az elektrométer most már jóval nagyobb feszültséget mutat. Ez a feszültség már kevésbé érzékeny elektrométerrel is jól kimutatható.



4. ábra

Azt is figyelembe kell vennünk, hogy a gyakorlatban az egymással érintkező fémfelületek sokszor nem közvetlenül érintkeznek, hanem köztük elhelyezkedik egy vékony szigetelőréteg (levegő vagy vákuum). A 4. ábrán látható gyűrűt két különböző fém alkotja (az 1-es és a 2-es fém). A gyűrű az **A** és **B** pontok között meg van szakítva, a megszakítási közt levegő (vákuum) tölti ki. Ebben a gyűrűben három határfelület (**S**, **S**₁, **S**₂) figyelhető meg. Ennek megfelelően három határfelület jön létre és három érintkezési feszültség alakul ki.

A két fém belső pontjai közötti U_{12} potenciálkülönbséget (pl. az **A** **B** pontok között) Galvani-feszültségnek nevezik: $U_G(1,2) = U_{12}$.

Ettől különbözik az a feszültség, amely a két fém felületén levő **A** és **B** pontok között lép fel, ha ezek a pontok a levegővel érintkeznek; a közöttük levő távolság 10^{-4} cm nagyságrendű. Ha a gyűrűn végighaladunk a nyíl irányában és összegezzük a közben fellépő érintkezési feszültségeket, rendre a következő értékek adódnak: U_{12} , amikor az 1-es fémből a 2-es fémbé lépünk, U_{20} feszültség adódik; amikor a 2-es fémből a levegőbe, és U_{01} amikor a levegőből az 1-es fémbé jutunk. Ezen feszültségek összegét Volta-feszültségnek nevezik:

$$U_V(1,2) = U_{12} + U_{20} + U_{01}$$

A fémek érintkezésekor az őket elválasztó szigetelőben (levegőben) mérhető feszültség a mérvado, ezért a gyakorlatban ezt a **Volta-feszültséget** nevezik **érintkezési feszültségnek** (kontaktfeszültség). A felírt összefüggésből nyilvánvalóan következik, hogy az érintkezési feszültség nagymértékben függ az érintkező felületek fizikai állapotától (felületi adszorpció) és attól a szigetelő közegtől, amely a felületeket körülveszi.

Volta-féle feszültségi sor. A különböző fémek és a fémekhez hasonlóan viselkedő más vezető anyagok között egy sorrend állítható fel, ahol az alumínium az első a legpozitívabb vezető anyag; minnél távolabb van két anyag az illető sorban, annál nagyobb érintkezési feszültség lép fel:

(+) alumínium - cink - ólom - ón - antimon - bizmut - vas - réz - ezüst - arany - platina - szén - barnakő (-)

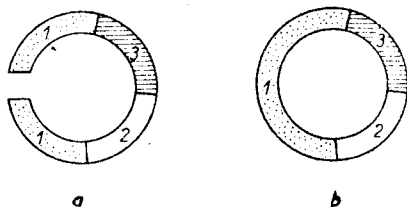
Az így felállított sort, Volta nyomán, Volta-féle feszültségi somak nevezik.

A feszültségi sorra érvényes a **Volta törvény**, amely kimondja, hogy: **a sor két tagja közti Volta-feszültség független attól, hogy a két fém közvetlenül vagy akárhány más fém közbeiktatásával érintkezik-e egymással** (feltételezzük, hogy minden érintkezési felület azonos hőmérsékleten van). Például az 1. és 3. fémnél a közvetlen érintkezéskor fenálló $U_V(1,3)$ Volta-feszültség ugyanakkora, mint a 2-es fém közbeiktatása esetén (5. a-b ábra), amikor is ez az egyes Volta-feszültségek összegeként adódik:

$$U_V(1,3) = U_V(1,2) + U_V(2,3).$$

A Volta törvényből levezethető a következő két sajátos eset:

- Ha különböző fémekből álló láncot hozunk létre és a lánc első és utolsó tagját ugyanaz a fém képezi (5. a ábra), akkor a lánc két vége között az érintkezési feszültség zéró; ha különböző fémekből zárt láncot képezünk, az



5. ábra

érintkezési feszültségek összege zéró (5.b ábra):

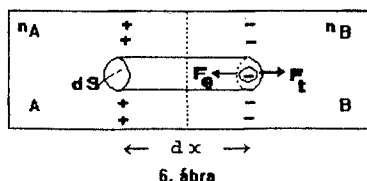
$$U_V(1,1) = U_V(1,2) + U_V(2,3) + U_V(3,1) = 0$$

Az érintkezési feszültség kialakulását fémekben, nyilvánvalóan a fémekben levő szabadelektronoknak egyik fémből a másikba való átáramlása eredményezheti. A jelenség pontos értelmezése és részletes leírása csak a kvantummechanikai modellek segítségével lehetséges. Azonban a klasszikus elektronelmélet modellje is lehetőséget nyújt az érintkezési feszültség egy közelítő összfüggésének a levezetésére, amelynek az a legfőbb jelentősége, hogy számot ad az érintkezési feszültség hőmérsékleti függéséről.

A klasszikus elektronelmélet modellje

A fémekben lévő szabad elektronokat a klasszikus elektronelmélet "**elektrongáznak**" tekinti és a termodinamikából jól ismert gáztörvényeket alkalmazza erre a rendszerre. Ebből a modellből kiindulva levezethetünk egy összefüggést az érintkezési feszültségre vonatkozólag.

Az egymással szorosan érintkező két fém szabad elektronjai e modell értelmében átmehetnek egyik fémből (tartályból) a másikba. A 6. ábrán a két érintkező fém modelljét tüntettük fel; a fémekben természetüktől függően, a szabad elektronok koncentrációja különböző. Az **A** fémekben n_A a **B** fémekben n_B a szabad elektronok koncentrációja.



6. ábra

Helyezzünk el képzeletben egy kis zárt henger a fémfelületek érintkezési határretegében az ábrán látható módon. A henger két fedőlapjára az elektrongáz különböző nyomással hat, mivel különböző a gáz koncentrációja a két fémekben. A szabad elektronok átáramlása következtében létrejön a határfelületen egy elektromos kettősréteg, amely igyekszik megakadályozni az elektronok további áramlását. Tehát kezdetben az elektronok áramlását a gáznymáskülönbség eredményezi, ennek a tendenciának ellene szegül a létrejött elektromos térben (kettősréteg elektromos tere) ható elektromos erő.

A henger baloldali részében az elektrongáz koncentrációját jelöljük n -nel, akkor a baloldali fedőlapra ható nyomás $p = n \cdot k \cdot T$, ahol k a Boltzmann féle állandó és T az abszolút hőmérséklet. Tételezzük fel, hogy a hengerben a kialakult viszonyoknak megfelelően a gáz nyomása folytonosan növekszik és ennek megfelelően a koncentráció is nő; a henger jobboldali fedőlapjánál a koncentráció legyen $n' = n + dn$. A jobb oldali fedőlapra ható nyomás: $p' = n' \cdot k \cdot T$. A henger két fedőlapja közötti nyomáskülönbség: $dp = dn \cdot k \cdot T$, ez létesíti azt az $F_t = dp \cdot dS$ nyomóerőt, amely az elektronokat az **A** fémből a **B** fémbe jutatja. Az elektronáramlás következtében kialakult elektromos térben, az elektronokra az $F_e = q \cdot E$ coulomb-féle erő fog hatni, amely az F_t erővel ellentétes hatású; q jelenti a hengerben levő elektronok töltését, E a kialakult elektromos tér térerősségét. A töltés értéke: $q = e \cdot n \cdot dV$; ahol e az elektron töltése és dV a henger térfogata. $dV = dS \cdot dx$; dx a henger hossza és dS a fedőlap felülete. Az elektromos térerősségre érvényes az ismert összefüggés: $E = dU/dx$. A rendszer egyensúlyi állapotba jut, ha a két erő egymás hatását kiegyenlíti, tehát amikor $F_t = F_e$. Ebben

az esetben egy állandó elektromos tér marad fenn a két fém érintkezési felülete mentén, ez hozza létre az érintkezési feszültséget. Az eddig felírt összefüggésekből kifejezhetjük a dU feszültségváltozást megadó összefüggést:

$$dU = \frac{kT}{e} \frac{dn}{n}$$

a rétegben a dU feszültségváltozás az n koncentráció függvénye, melynek értéke n_A -tól, n_B -ig változhat. Ha a dU feszültségváltozást integráljuk a megadott határok között, megkapjuk a két fém között fellépő U érintkezési feszültséget:

$$U = \frac{kT}{e} \int_{n_A}^{n_B} \frac{dn}{n} = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{n_A}{n_B} \right]$$

Ebből az összefüggésből kitűnik, hogy az érintkezési feszültség a hőmérséklet függvénye. Ha a fémek magasabb hőmérsékleten vannak, nagyobb érintkezési feszültség adódik. Kis egyenfeszültségek nagy pontosságú laboratóriumi mérésénél figyelembe kell venni a mérő áramkörben esetleg fellépő érintkezési feszültségek jelenlétét, amelyek nagymértékben meghamisíthatják a mérési eredményt. Ezért a mérő áramkör vezetőkeit (huzalokat és a többi fémes alkatrészeket) mind azonos anyagú fémes vezetőből kell kialakítani.

Puskás Ferenc
Kolozsvár

Molekuláris topológia. Mátrixok és topológiai mutatók

II. rész

A legrövidebb út mértéke két atom között egyenlő ezen atomok közt levő kötések számával, vagyis a szomszédság rendjével.

Lássuk, hogy néz ki ez a mátrix a heptán esetében: a diagonálison levő D_{ij} elemek nullával egyenlők (nulladik szomszédság). Az 1-es és a 2-es atom között 1-es kötés van, tehát a legrövidebb út mértéke 1, $D_{12} = D_{21} = 1$. Az 1-es és az 5-ös atomot 4 kémiai kötés választja el, így a legrövidebb út mértéke $D_{15} = D_{51} = 4$, stb.:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

A molekuláris topológiában ezen mátrixok alapján olyan számokat hozunk létre, amelyek segítségével jellemezni tudjuk a molekulát. Ezeket a számokat indexeknek, vagy topológiai mutatóknak nevezzük.

Többféle kémiai index ismeretes, ezek közül a következőket említjük meg: teljes szomszédság index, a Zágrábi csoport indexei, Randić-féle index, Wiener-féle index, Hosoya-féle index, Schultz-féle index stb.