

volt azonban egyetlenegy sem, aki sokoldalúbb lett volna, s aki nagyobb, s főleg hosszabb tartó befolyást gyakorolt volna a kémiai ismeretek hazai terjedésére, a kutatások megszervezésére és a magyar vegyészet fejlődésére.”

Ilosvay Lajos a magyar vegyészkutatásban és tudományszervezésben elévülhetetlen érdemeket szerzett. Élete 1936. szeptember 30-án ért véget Budapesten.

Máthé Enikő

Űrjárművek elektromos energiával való ellátása

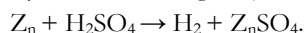
I. rész

1. Bevezetés

A kozmikus térség kutatására szolgáló űrjárművek műszereinek a működtetéséhez elektromos energia szükséges. A fedélzeti műszerek állandó tökéletesítése és számának növekedése mind több és több energiát igényel. Már az űrhajózás első évtizedeiben láthattuk, hogy a sorban felbocsátott űrhajók egyre több és több energiát használtak. Míg az 1957.10.4-én felbocsátott első műhold, a Szputnyik-1 és az 1958.01.31-én pályára állított Explorer-1 csak alig néhány wattot fogyasztott, addig az 1968-ban Földkörüli pályára helyezett OAO-2 (a második orbitális csillagászati obszervatórium) már majdnem egy kW-ot. Ha viszont űrhajósok is vannak az űrjármű fedélzetén, akkor ez az energiafogyasztást jelentősen megemeli: minden űrhajósra kb. 1,5 kW elektromos teljesítményt kell számítani. Habár az űrhajózás kezdetén az űrjárművek távközlési- és mérőműszereit galvánelemek és akkumulátorok táplálták, jelenleg erre a célra többnyire napelemeket és termoelemeket használnak. A továbbiakban e három generátortípust fogjuk bemutatni, belőlük legalább egy változat tüzetesebb tanulmányozásával.

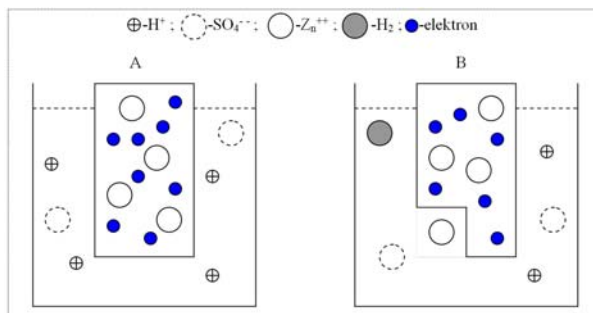
2. Galvánelemek

A galvánelemek kémiai energiából egyenes úton állítanak elő elektromos energiát. Ezek elméletileg is érdekesek, a fizika történetében nagy szerepet töltek be és lehet, hogy a jövőben ismét fontosakká válnak. Működésüket egy példán tanulmányozzuk. Ha hígított kénsavba cinkfémeket helyezünk, ez hidrogénfejlődés közben feloldódik:



A cinkfém kristályrácsát cink ionok alkotják és a közöttük levő térben szabad elektronok mozognak össze-vissza. A kénsavas oldatban pozitív hidrogén ionok (H^+) és negatív szulfát ionok (SO_4^-) úszkálnak (1. ábra).

Az oldás alkalmával cink ionok válnak le a fémből és az oldatba mennek. Ezzel együtt a cink elektrongázának két elektronja két hidrogén iont semlegesít. A keletkezett két hidrogén atom hidrogén molekulát fog képezni. A hidrogén molekulák hidrogéngáz alakjában távoznak az oldatból. A szulfát ionoknak nincs különösebb szerepük.



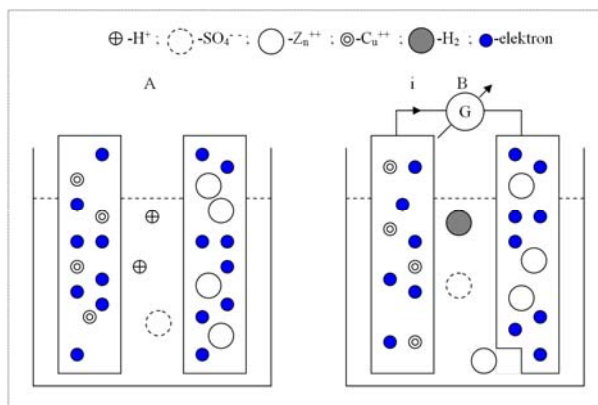
1. ábra

A leírt kémiai folyamat hőfejlődéssel jár: ha 1 gramm-atomsúlynyi (65,3 gramm) cinket oldunk fel, akkor az 1 literes oldat kb. 45 °C-kal felmelegszik. Ez azt jelenti, hogy kb.

$$Q = (m_{\text{cink}} \cdot c_{\text{cink}} + m_{\text{víz}} \cdot c_{\text{víz}}) \cdot \Delta t = (0,0653 \cdot 400 + 0,9908 \cdot 4187) \cdot 45 = 187857 \text{ (J)} \quad (1)$$

hőmennyiség keletkezik (a számításban eltekintettünk a kénsav jelenlététől, hisz az elenyésző mennyiségű). Az 1. ábrán feltüntetett két állapot között energiakülönbség van: a B állapot 187857 J energiával szegényebb, mint az A állapot, ha 65,3 gramm cink oldódott, vagyis $6,023 \cdot 10^{23}$ darab cink ion ment az oldatba, és ugyanennyi molekula hidrogéngáz fejlődött. A leírt kísérletben a kémiai energia hőenergiává alakult.

Most bonyolítjuk kissé a kísérletet: hígított kénsavba vörösréz- és cinklemezt helyezünk (2. ábra).



2. ábra

A cink sokkal jobban oldódik, mint a vörösréz, s az oldatba jutó pozitív töltésű cink ionok az ugyancsak pozitív töltésű hidrogén ionokat a vörösrézlemez felé taszítják. Másrészt a két fém közül a vörösréz sokkal kevésbé ragaszkodik elektrongázának elektronjaihoz, mint a cink, ezért a hidrogén ionok a vörösrézből vonják ki azokat az elektronokat, amelyekkel semlegesítődve hidrogéngázt alkotnak. Ezekkel a folyamatokkal megbomlik a fémlemezek elektromos semlegessége. A vörösrézlemez elektromosan pozitív lesz, mert elektrongázában kevesebb elektron marad (szabad elektronjainak száma

csökken), mint amennyi pozitív töltést jelent a réz ionokból álló kristályrács. A cinklemez negatív töltésű lesz, mert pozitív cink ionok távoznak, de az elektrongáz elektronjainak a száma nem csökken. A kénsavba merülő réz- és cinklemez között potenciálkülönbség jelentkezik: a réz pozitívabb, mint a cink. Számítsuk ki ezt az elektromos feszültséget! Az 1 mólnyi (65,3 gramm) cinkben az Avogadro számmal ($N_A=6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) megegyező számú cink ion van, amelyek mindegyikének $2 \cdot e=2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ töltése van. Ez összesen $q = 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 192000 \text{ (C)}$ pozitív töltést jelent és ugyanekkora negatív töltést vontak ki a hidrogén ionok a rézlemezről (ennyi elektron folya át a két lemezt összekötő vezetéken is). Ebben a második kísérletben a cinklemez teljes feloldódása után

$$W = q \cdot U \quad (2)$$

elektromos energia jön létre. Mínt hogy a két kísérletben ugyanannyi vegyi energia alakult át – az első esetben hőenergiává, a második esetben elektromos energiává – az (1)-es és a (2)-es összefüggések figyelembevételével írhatjuk:

$$Q = W; Q = q \cdot U; U = Q/q; U = 187857/192000 = 0,978 \text{ (V)}.$$

A galvánelem feszültsége független az elektródák nagyságától, azok távolságától, az elektrolit mennyiségétől és csak az elektródák anyagi minőségétől, ill. az elektrolittól függ: $U = U_a - U_b$, ahol U_a és U_b a két vegyi elem (amelyekből az elektródák készültek) hidrogénre vonatkoztatott alapfeszültsége. Az 1. táblázat néhány kémiai elem hidrogénre vonatkoztatott alapfeszültségét (U_H) tartalmazza.

Vegyi elem	L_i	N_a	Al	Z_n	Fe	C_u	Ag	A_u
U_H [V]	-3,045	-2,714	-1,662	-0,763	-0,440	+0,337	+0,799	+1,498

1. táblázat

Az 1. táblázatban szereplő adatok szerint a cink- és rézlemez elektrolitba merítve:

$$U_0 = 0,337 - (-0,763) = 1,1 \text{ (V)}$$

üresjárású feszültséget ad. A galvánelemeknek az itt tanulmányozott fajtáját Voltaelemnek nevezzük. A galvánelemek története L. Galvani (1737-1798) híres békacombkísérletével kezdődött 1780-ban. Véletlen kísérletében a rézhorog és a vasrács volt a két különböző fém, a szétboncolt békatest az elektrolit, és a comb izma a galvanométer. Kísérleteinek helyes értelmezése 1792-ből, A. Voltától (1745-1827) származik.

A galvánelemek egy másik fajtája, a Leclanché-elem pozitív sarka barnakőbe ágyazott szénrúd, negatív sarka cink, elektrolitja szalmiáksó vizes oldata. Ennek a kb. 1,5 V feszültségű elemnek az előnye a Volta-elemmel szemben az, hogy a pozitív sarkon kiváló hidrogént a barnakő (mangán-peroxid) leköti. Ennek módosított változata az általunk jól ismert szárazelem.

Végül még számítsuk ki, hogy mennyi vegyi energia szabadul fel egy kilogramm cink teljes feloldódása során? Ezt úgy kapjuk meg, hogy az (1)-es összefüggés alapján kiszámított hőmennyiséget megszorozzuk az egy kilogramm cinkben levő mólok számával:

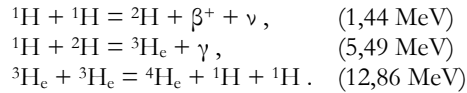
$$Q \cdot \nu = Q \cdot m / \mu = 187857 \cdot 1000 / 65,3 = 2876830 \text{ (J)} = 2876,83 \text{ (kJ)} \approx 2,9 \text{ (MJ)}.$$

3. Napelemek

a) A Nap sugárzó energiája

A Napból kisugárzott energia a magfúziókból származik. Csillagunk belsejében (középpontjában a hőmérséklet eléri a 14,6 millió K-ot) termonukleáris magfolyamatok (proton-proton ciklus, szén-ciklus, ...) zajlanak le. Jelenleg a Napban a proton-proton

ciklus a jelentősebb (egy csillag belsejében a szén-ciklus produktivitása akkor nagyobb a proton-proton ciklusénál, ha a hőmérséklet meghaladja a 16 millió K-ot):

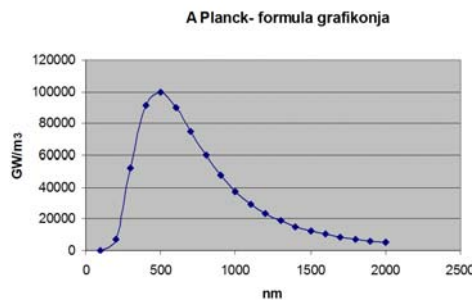


Megjegyzés: zárójelben a reakcióhőt tüntettük fel.

Egy ${}^4\text{He}$ atom képződéséhez az első két reakcióból kettő szükséges, ezért az ekkor felszabaduló energia: $2 \cdot 1,44 + 2 \cdot 5,49 + 12,86 = 26,72$ (MeV), és az egy kilogramm hidrogén fúziójából származó energia:

$$\frac{1}{4} \cdot 6,023 \cdot 10^{26} \cdot 26,72 \text{ MeV} = 40,23364 \cdot 10^{26} \text{ MeV} = 64,445 \cdot 10^{13} \text{ J} = 17,9 \cdot 10^7 \text{ kWh.}$$

A magfúziókból felszabaduló energiát a Nap felszíne különböző hullámhosszú elektromágneses hullámok formájában sugározza szét minden irányban a fény terjedési sebességével. Az elektromágneses hullámok által szállított energia porciózva (kvantálva) van. Egy fénykvantum energiája $\epsilon = h\nu = hc/\lambda$, ahol h a Planck-féle állandó, c a fény terjedési sebessége, ν az elektromágneses hullám frekvenciája és λ ennek a hullámhossza. A Nap jó megközelítésben úgy sugároz elektromágneses energiát, mint egy abszolút fekete test (ez egy olyan test, amely a felületére eső minden sugárzást elnyel). Bizonyítható, hogy egyéb testekhez viszonyítva az ilyen test kisugárzása is a lehető legnagyobb. Az abszolút fekete test sugárzásának a hullámhossz szerinti energiaeloszlását különböző hőmérsékleten a Planck-féle sugárzási törvény írja le: $e_\lambda = 2\pi hc\lambda^{-5} [e^{hc/(\lambda kT)} - 1]^{-1}$, ahol e_λ a spektrális emittancia (azt az energiát jelenti, amit az egységnyi felület, az egységnyi hullámhossz tartományban, egységnyi idő alatt kisugároz), k a Boltzmann-féle állandó és T a test hőmérséklete. A $T = 6000$ K-on sugárzó abszolút fekete test esetében a Planck-féle sugárzási törvény grafikonját a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra

Minden hőmérsékleten egy bizonyos hullámhosszon maximális a sugárzó energia. Ezt matematikai formában W. Wien 1839-ben megállapított törvénye fejezi ki:

$$\lambda_m \cdot T = 2897 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{K},$$

ahol λ_m az e_λ maximumhoz tartozó hullámhossz. Ismervén a Napra vonatkozóan a $\lambda_m = 478$ nm értékét, kiszámíthatjuk a Nap felszínén uralkodó hőmérsékletet:

$$T = 2897 \cdot 10^{-6} \cdot 478^{-1} \cdot 10^9 = 6061 \text{ (K)}.$$

Az összes hullámhosszon az egységnyi idő alatt az egységnyi felület által kisugárzott energiát, az emittanciát a görbe alatti terület adja meg. Erre vonatkozik a Stefan-

Boltzmann-féle törvény, amely szerint az abszolút fekete test egységnyi felszíne által egységnyi idő alatt az abszolút nulla fokos féltér-részbe kisugárzott energia arányos a sugárzó test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával: $E = \sigma \cdot T^4$, ahol $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ a Stefan-Boltzmann állandó. Az $E_3 = 1395 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ napállandó (a Föld, a harmadik bolygó felületét érő besugárzott felületi teljesítmény) ismeretében ezzel a képlettel is kiszámítható a Nap felszíni hőmérséklete:

$$E_3 \cdot 4\pi(r_3)^2 / (4\pi R^2) = \sigma \cdot T^4 \Rightarrow T = (E_3 / \sigma)^{1/4} (r_3 / R)^{1/2},$$

ahol $r_3 = 149500000 \text{ km}$ a közepes Föld-Nap távolság és $R = 696000 \text{ km}$ a Nap sugara. Az adatok behelyettesítése és a számítások elvégzése után kapjuk: $T = 5805 \text{ K}$.

A kiszámított két hőmérsékleti érték alapján mondhatjuk, hogy a Nap felszínén a hőmérséklet kb. 6000 K.

A látható sugárzási tartományban az abszolút fekete test által kisugárzott fluxus η részaránya (a teljes fluxushoz viszonyítva) függ a sugárzó test hőmérsékletétől. (2. táblázat). A táblázatból kitűnik, hogy a látható sugárzási tartományban a $T = 6000 \text{ K}$ -on maximális a sugárzott teljesítmény hatásfoka.

A Naptól r_i (i a bolygónak a Naptól számított sorrendje) távolságra levő bolygó felületét érő besugárzott felületi teljesítményt az $E_i = E_3(r_3/r_i)^2$ képlettel számíthatjuk ki. Eredményeinket a 3. táblázat összesíti.

T [K]	η [%]
1500	0,0
2000	1,7
3000	14,6
4000	31,8
6000	49,7
8000	47,7
12000	18,6

2. táblázat

A bolygó sorszáma	A bolygó neve	A bolygó-Nap távolság [C.s. E]	A szoláris állandó (E_i) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
1	Merkúr	0,387	9314
2	Vénusz	0,723	2669
3	Föld	1,000	1395
4	Mars	1,524	600,6
5	Jupiter	5,203	51,53
6	Szaturnusz	9,550	15,30
7	Uránusz	19,218	3,777
8	Neptunusz	30,210	1,529

3. táblázat

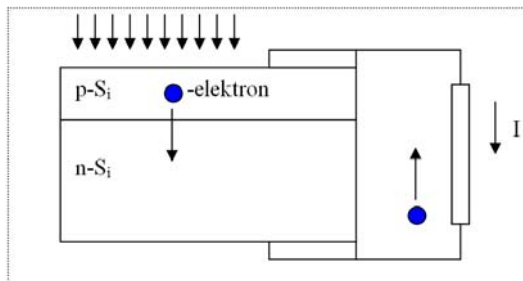
A táblázat jól szemlélteti, hogy milyen lehetőségek rejlenek a Nap sugárzó energiájának a hasznosítására Naprendszerünk egyes bolygóin. A táblázatban szereplő adatok magyarázatot adnak arra, hogy miért csak a közeli bolygókat felkereső űrszondák energiaellátása történik napelemekkel.

b) A napelemek felépítése és energiaátalakítása

A napelem (fotovillamos elem, fényelem, szolár cella) a Nap sugárzási energiáját közvetlenül alakítja villamos energiává.

A ma gyártott és a napelemes áramforrásokban tömegesen alkalmazott napelemek szinte kizárólag szilícium alapanyagból készülnek. A szilícium a földkéregben a második leggyakrabban előforduló elem. Közismert előfordulási formája a homok (SiO_2), melyet termikus-kémiai reakcióval redukálnak, majd tisztítanak. A jelenleg alkalmazott és a közeljövőben alkalmazásra kerülő, hosszú élettartamú, nagy hatásfokú napelemek egy-

kristályos, illetőleg polikristályos szilícium felhasználásával készülnek. A fénylelem elvi felépítését a 4. ábrán láthatjuk. A legnagyobb tisztaságú szilícium egykristályból mm-es vastagságú lemezt vágnak ki, amelyet körülbelül 10^{-4} %-nyi arzén-szennyezéssel n-vezetővé tesznek. A lemez egyik felületét 1-2 μm vastagságban kevés bór-szennyezéssel



4. ábra

p- vezetővé változtatják. Ha 1000 nm-nél rövidebb hullámhosszú fény hatol be, akkor ennek energiája lehetővé teszi, hogy elektronok lépjenek át a p-rétegből az n-rétegbe, ahonnan a záró réteg nem engedi visszaugrani. Ha a rétegekre terhelő ellenállást kapcsolunk, akkor ezen keresztül folynak vissza az elektronok a p-rétegbe. Ez a fénylelem elektromotoros feszültsége 0,6 V, rövidzárlatban $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ besugárzott felületi teljesítménynél cm^2 -enként 28 mA erősségű áramot ad. Az így kialakított napelemek energiaátalakítási hatásfoka 15-17 %, de laboratóriumi körülmények között akár a 23,5 %-ot is eléri. A szimpla Si kristály alapú szolár cellák például nem képesek a napsugárzás energiájának több mint 25 %-át elektromos árammá alakítani, mivel az infravörös tartományban a fénynek nincs elég energiája, hogy ionizálja a félvezető atomjait. A napelemeket általában nagyobb egységekbe, modulokba szerelik, amelyekben az egyes elemeket sorosan, ritkábban vegyesen kapcsolják. A napelemmodulok szokásos névleges feszültsége 12 V, mérete a néhány 100 cm^2 -től a néhány m^2 -es tartományba esik és névleges teljesítménye néhány W és néhány 100 W között van. Más anyagokból is készítenek szoláris cellákat: GaAs , CuInS_2 , CdTe .

c) Űrszervek szoláris cellával való energiaellátása

A 3. táblázat adatait elemezve meggyőződhetünk arról, hogy a belső bolygók (Merkúr, Vénusz, Föld és Mars) térségébe juttatott űrhajók elektromos energiával való ellátása többnyire napelemekkel megoldható. Más megoldást kell találni például a Hold két hétig tartó árnyékos oldalán levő űrszonda műszereinek az energiaellátására, vagy az átlátszatlan légkörű Vénusz felületére küldött űrszonda energiával történő ellátására. Az 1998. november 20-án pályára állított orosz Zarja (Hajnal) modullal megkezdődött annak a nemzetközi űrállomásnak (ISS-International Space Station) a kiépítése, amelyben 16 nemzet vesz részt (5. ábra). A 9 henger alakú modulból álló űrállomás $110 \cdot 88 \text{ m}^2$ kétirányú kiterjedésű, 400 t-nyi tömegű és 1200 m^3 lakható térfogatú építmény. Az egész űrállomás energiaellátását az összesen 3000 m^2 -nyi és 110 kW teljesítményű napelemek biztosítják.



5. ábra

A napelemek fejlődésének is köszönhető, hogy a Rosetta üstökös-kutató és a Juno Jupiter-kutató szondák energiáját is napelemek szolgáltatják.

Forrásanyagok

- [1] Inzelt György: Űreszközök áramforrásai, a Természet Világa 2001. januári számában megjelent cikk elektronikus változata
- [2] Glenn T. Seaborg, William R. Corliss: Omul și atomul, Editura Științifică, București, 1974
- [3] K. N. Muhin: Fizica nucleară experimentală, Volumul I, Editura Tehnică, București, 1974
- [4] Vermes Miklós: A természet energiái, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964

Ferenczi János, Nagybánya

Számítógépes grafika

XVIII. rész

A fraktálok világa

A *fraktálok* *önhasonló*, végtelenül komplex matematikai alakzatok, amelyek változatos formáiban legalább egy felismerhető (tehát matematikai eszközökkel leírható) ismétlődés tapasztalható. Az elnevezést 1975-ben Benoît Mandelbrot adta, a latin *fractus* (vagyis törött; törés) szó alapján, ami az ilyen alakzatok tört számú dimenziójára utal. „A természet geometriájának fraktál arculata van.” – vallotta Mandelbrot.

Az ön hasonlóság azt jelenti, hogy egy kisebb rész felnagyítva ugyanolyan struktúrát mutat, mint egy nagyobb rész. Ilyen például a természetben a villám mintázata, a levél erezete, a felhők formája, a hópehelyek alakja, a hegyek csipkézete, a fa ágai, a hullámok fodrozódása és még sok más. „*Hogy fölfrissülj a nagy Egészben, lásd meg az Egészben minden kicsi részben.*” – írta Goethe.

A fraktál szóval rendszerint az ön hasonlító alakzatok közül azokra utalunk, amelyeket egy matematikai formulával le lehet írni, vagy meg lehet alkotni.

A generatív számítógépes grafikában fraktálok segítségével tudunk leírni olyan objektumokat (pl. felhők, hegyek, növények stb.), amelyek egyszerű geometriai formáknak nem felelnek meg.