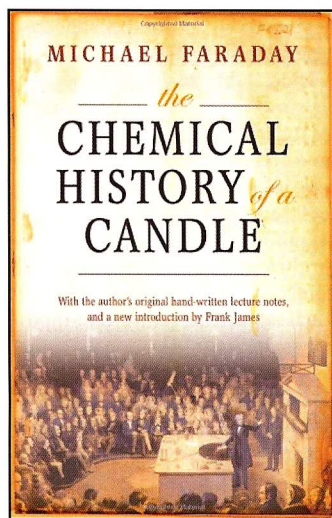


Nanogyémántok is ragyognak a gyertya lángjában

BRAUN TIBOR–NEMES LÁSZLÓ

Világítás és fény nélkül az emberiség nem juthatott volna el idáig. Az út a mécses, a gyertya, a fáklya lángjával kezdődött hosszú évezredekkel ezelőtt. Ezekkel világított az ősemlék, amikor a franciaországi Lascaux-, vagy a spanyolországi Altamira-barlangokban készítette állatrajzait. A világítás nyomai a barlangfalakon koromként mindmáig megmaradtak.

A gyertya lángjában bonyolult oxidációs (égési) folyamatok zajlanak, és a kémia történet egyik érdekes fejezete ezek felderítését a nagy angol fizikus és kémikus nevéhez köti, aki eredményeit a londoni Királyi Intézetben (Royal Institution) „The Chemical History of a Candle – A gyertya természetrajza” – címmel hat előadásban ismertette, majd 1861-ben könyvben is publikálta (1. ábra). [1] Michael Faraday nagyszerű klasszikus népszerűsítő előadásokat tartott. Sokat hallhatunk, olvashatunk ezekről



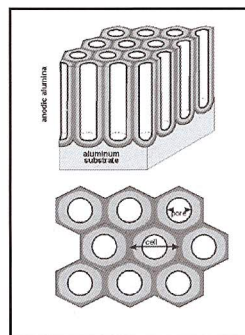
1. ábra. A gyertya természetrajza – új kiadásban

Róka Andrásról és Turányi Tamástól. [2] Faraday előadássorozatának második előadását „A láng ragyogása” címmel tartotta. Az akkori ismeretek alapján nem sejthette, hogy a gyertya ragyogása, amint Angliában dolgozó kínai kutatók 2011-ben bizonyították, [3] nanogyémántok átmeneti, de folyamatos jelenlétének is tulajdonítható. Kiszámították, hogy egy égő gyertya lángjában másodpercenként körülbelül 1,5 millió nanogyémánt-részecske képződik és ég el. Írásunk erre a felfedezésre kíván – a témához illő szóval – rávilágítani.

Ha a gyertya igen fontos volt is az emberiség fejlődése során, a gyémánt mint drágakő, mint a hatalom, az erő, a halhatatlanság jelképe (l. a Diamonds are Forever/Gyémántok a halhatatlanságért c. világlágért) még nagyobb népszerűsége, mondhatnánk, hírhedsége tett szert. Meglepő, hogy a gyertya és a gyémánt a kínai kutatók felfedezése szerint milyen szoros kapcsolatban áll, hiszen a gyertya lángjában megtalálták a nanogyémántokat (1 nanométer (nm) = 10^{-9} m, azaz egymilliomod milliméter). Összehasonlításképp például a baktériumok mérete általában 1 mikrométer (ezred milliméter) körül van: egy átlagos baktérium hossza több száz nanogyémánt sorbakelésével érhető el.

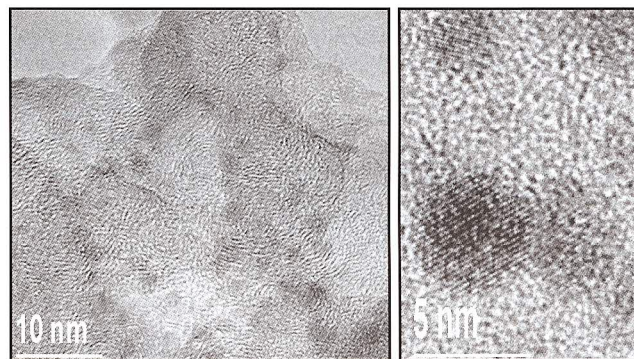
Ha a gyertya igen fontos volt is az emberiség fejlődése során, a gyémánt mint drágakő, mint a hatalom, az erő, a halhatatlanság jelképe (l. a Diamonds are Forever/Gyémántok a halhatatlanságért c. világlágért) még nagyobb népszerűsége, mondhatnánk, hírhedsége tett szert. Meglepő, hogy a gyertya és a gyémánt a kínai kutatók felfedezése szerint milyen szoros kapcsolatban áll, hiszen a gyertya lángjában megtalálták a nanogyémántokat (1 nanométer (nm) = 10^{-9} m, azaz egymilliomod milliméter). Összehasonlításképp például a baktériumok mérete általában 1 mikrométer (ezred milliméter) körül van: egy átlagos baktérium hossza több száz nanogyémánt sorbakelésével érhető el.

A kínai kutatók úgy fedezték fel ezeket a nanogyémántokat, hogy a gyertyalángban keletkező részecskéket speciális módon előállított, zsugorított alumínium-oxid kerámialemezen fogták fel. [4] Ezekben apró csatornácskák futnak merőlegesen a lemezek síkjára (2. ábra), és a lángban keletkező részecskék, ha elég kicsik, simán áthaladnak a csatornákon anélkül, hogy a lángban zajló folyamatokat megzavarnák. A nagyobb részecskék azonban fennakadnak, és a láng különböző magasságában elhelyezett kerámialemezek nagy feloldóképességű elektronmikroszkópiával végzett leképezésével és elektrondiffrakciós vizsgálatával elemezhetők (3. ábra).



2. ábra. Alumínium-oxid szűrőlapocskák henger alakú pórusokkal [4]

A szénhidrogén lángokban (a gyertyaláng is ilyen) a szén mind a négy allotróp módosulata előfordul és ég el amorf koromként: a planáris grafit (és valószínűleg grafénrészecskék is), a molekuláris fullerének és a nanogyémánt szénmolekulái. [5–7] Róka And-



3. ábra. A transzmissziós elektronmikroszkópiával készült felvételen sok nanogyémánt-részecske jelenik meg (balra).

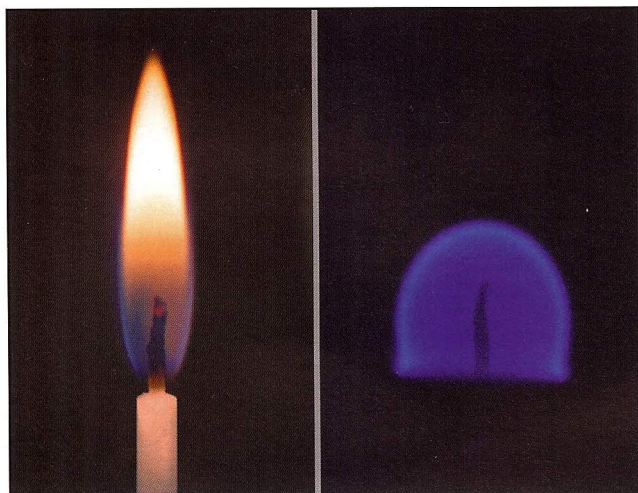
Nanogyémántok a nagy felbontású felvételen (jobbra).

A szűrő a láng közepén volt [3]

rás és Turányi Tamás írásaiból jó képet alkothatunk a gyertyaláng térbeli és kémiai szerkezetéről és a benne játszódó kémiai folyamatokról. Lényegében az történik, hogy a paraffin a láng hőmérsékletén elpárolog, a paraffingőzök az ellipszis formájú láng alsó szakaszában tökéletlenül (kormozva), a lángellipszis csúcán pedig tökéletesen elégnak, azaz vízgőzzé és szén-dioxiddá alakulnak. Bármilyen korpuszkuláris szénformát találunk is a láng alsóbb szakaszaiban, ezek mind nyomtalanul elégnak, ahogy a

gyertyaláng teteje felé haladunk. Nem mindig egyértelmű a láng tetejéről beszélni, mert például súlytalanságban a gyertyaláng gömb alakú! Szokványos körülmények között a gyertyaláng alakja, mint említettük, elliptikus (4. ábra).

De hogyan keletkeznek a gyertyalángban a nanogyémántok? A válaszhoz a kínai kutatók részletesen elemezték a kerámialapkákban a láng különböző részeiben felfogott szénformákat. Az analízis lényegében nagy felbontású elektronmikroszkópián alapuló morfológiai vizsgálat volt. Sikertült megállapítaniuk, hogy a szénrészecskék nagysága, kristályossági foka és kristálytani tulajdonságai hogyan változnak a láng különböző részeiben, mégpedig a láng függőleges tengelyében és keresztmetszetében. A lángban megfigyelhető szénrészecskék részben grafit-nanogömböcskék, amelyeknek hagymahéjszerű szerkezete van. A nanogyémánt-szerkezetek a gömböcskékben nagy sűrűségű kristályos szén-gömbök, méretük 2 és 5 nm között van. Ezekben a kristályos magok-



4. ábra. Lángocska a Földön és az űrben (NASA)

ban a garficsikok távolsága (0,34 nm) és a síkok relatív dőlésszöge megfelel a gyémánt ismert kristályszerkezetének. Azonban ezek a nanogyémánt-szerkezetek többnyire erősen torzultak a tökéletes gyémántrácsához képest. A nanogyémánt egységcellájának mérete ($a=0,3567$ nm) nagyon közel esik bizonyos fémekéhez (pl. a réz esetében $a=0,3608$ nm), de kimutatták, hogy ennek nem oka sem a gyertya, sem a kerámialapkának nehézfém-szennyezettsége. Ahogy a láng teteje felé haladunk, a láng aljához képest a nanogyémánt-részecskék száma, mérete és kristályossági foka egyre növekszik, de a láng külsejében és a láng tetején egyre kevesebb részecske figyelhető meg.

A kínai szerzők a gyertyalángban végzett megfigyeléseik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a nanogyémántokra vezető égési folyamatok kezdeti szakaszában a paraffinból származó hosszú láncú szénhidrogénekből C_2 , C_3 , C_2H_2 gyökök, továbbá egyéb kisméretű szabad gyökök keletkeznek. Ezekből a gyökökből, illetve magukból a szénhidrogénláncokból hattagú aromás gyűrűk keletkeznek. A láng alsó szakaszában planáris, többgyűrűs aromás szerkezetek alakulnak ki, és a grafitos nanogömböcskék ezekből jönnek létre. A kis gyökök egy részéből viszont nagy sűrűségű szénfürtök keletkeznek, és ezekből kristályosodnak ki a nanogyémánt-részecskék. A nanogyémánt-részecskék a gyertyalángban energetikailag előnyösebbek, mint a policiklikus aromás gyűrűk, és képződésükhöz nincs szükség sem nagy nyomásra, sem különleges körülményekre.

De aki a történet nyomán arra gondol, hogy gyertyalángban keletkező nanogyémántokkal kápráztatja el kedvesét, könnyen pórul járhat. [8]

IRODALOM

- [1] Michael Faraday, The Chemical History of a Candle. Course of Six Lectures, Griffin, Born and Co., London, 1861. (A gyertya természetrajza, Athenaeum, Budapest, 1921; fordította: Bálint András.)
- [2] Róka András, Adventi Észbont(ogat)ó show Faraday tiszteletére (2011); Turányi Tamás, Miről beszél a gyertya lángja? Az égés kémiája 150 évvel Faraday után (2007). ELTE Kémiai Intézet, http://www.chem.elte.hu/pr/alkimia_ma.html; Természet Világa, 2005/12.; Középiskolai Kémiai Lapok, 2008/1.
- [3] Zixue Su, Wuzong Zhou, Yang Zhang, New insight into the soot nanoparticles in a candle flame, Chem. Commun. Vol. 47, 4700–4702. (2011)
- [4] Anodic Aluminium Oxide, <http://www.synkera.com/nano-microfabrication/anodic-aluminum-oxide-aao.html>
- [5] Braun Tibor, Detonációs nanogyémántok titkosított felfedezése, Magyar Tudomány, 172, 1247, 2011
- [6] Braun Tibor, A szénanokémia ékszerai. Detonációs nanogyémántok, Magyar Kémikusok Lapja, 47, 7, 2012.
- [7] Eiji Osawa, Monodisperse single nanodiamond particulates, Pure Appl. Chem. Vol. 80, 1365–1379. (2008)
- [8] Impress her with nanodiamonds. <http://www.youtube.com/watch?v=KzOkuGQC3Rw>

AKIK EBBEN AZ ÉVBEN LEMONDTAK A HONORÁRIUMUKRÓL

Ebben az évben is sok kiváló szerző tisztelte meg folyóiratunkat írásával. A lapunkat éltetik, hálásak vagyunk ezért nekik. Külön köszönet illeti azokat, akik szellemi munkájuk ellenértékét 2012-ben felajánlották a Természet Világa megjelenésének segítésére. Nevüket, az elmúlt évekhez hasonlóan, most is közzé tesszük.

Balkay László	10 000 Ft	Lázár Imre	7 000 Ft
Bencze Gyula	7 000 Ft	Lépine Szily Alinka	7 000 Ft
Bertus Tímea	7 000 Ft	Major István	35 000 Ft
Both Előd	89 000 Ft	Makai Mihály	18 000 Ft
Budavári Tamás	12 000 Ft	Mészáros Péter	25 000 Ft
Csik Attila	7 000 Ft	Patkós András	30 000 Ft
Dürr János	5 000 Ft	Pálinkás József	18 000 Ft
Füstöss László	3 000 Ft	Radnai Gyula	6 000 Ft
Hargittai István	47 000 Ft	Rosivall László	19 000 Ft
Hargittai Magdolna	24 000 Ft	Schiller Róbert	46 000 Ft
Horváth Gábor	24 000 Ft	Staar Gyula	100 000 Ft
Jánosfalvi Zsuzsa	10 000 Ft	Tél Tamás	42 000 Ft
Jánosi Imre	20 000 Ft	Zoltai Márta	5 000 Ft
Kirsch Éva	10 000 Ft		

JANUÁRI SZÁMUNK TARTALMÁBÓL

Bacsárdi László–Imre Sándor: Kommunikáció mélyben és magasban. Fizikai Nobel-díj–2012; Standovár Tibor: Hazai erdők jövője a klímaváltozás tükrében; Solt György: Miért sötét az éjszakai égbolt?; Varga Péter: Szeizmológiai riasztó rendszerek; Szili István: Táj, tájkép és természetvédelem; Kapitány Katalin: Kutatások a hatékonyabb immunválaszért. Beszélgetés Kacs Kovics Imrével; Kéri András: Uruguay elfeledett népe; Schiller Róbert: Az inga és a vers; Bencze Gyula: Egy reneszánsz tudományos életpálya