



KEMIJA U NASTAVI

Uređuje: Nenad Raos

Kako natrij reagira s vodom?

DOI: 10.15255/KUI.2015.024
 KUI-32/2015
 Stručni rad
 Prispjelo 11. svibnja 2015.
 Prihvaćeno 28. svibnja 2015.

A. Miličević*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
 Ksaverska c. 2, p.p. 291, 10 001 Zagreb

|| Sažetak

Inspiracija za pisanje ovoga rada bilo je predavanje profesora Pavela Jungwirtha na 24. hrvatskom skupu kemičara i kemijskih inženjera, pod naslovom *Razjašnjenje složene prirode hidratiziranog elektrona*. Pokazano je kako je upotrebom super-brze kamere te uz pomoć računalne kemije objašnjen mehanizam reakcije alkalijskih metala s vodom. Otkriveno je naime kako je kritični korak u toj reakciji coulombska eksplozija.

|| Ključne riječi

Nastava kemije, alkalijski metali, hidratacija elektrona, coulombska eksplozija

Zanimljivo je kako neke stvari uzimamo zdravo za gotovo. Natrij, kao i drugi alkalijski metali, burno reagira s vodom; uz dim i prskanje često se i zapali, a uzrok tome je što su alkalijski metali jako reaktivni, tj. lako otpuštaju elektron iz zadnje ljuske, pri čemu u vodi nastaje elementarni vodik, H₂. I točka!

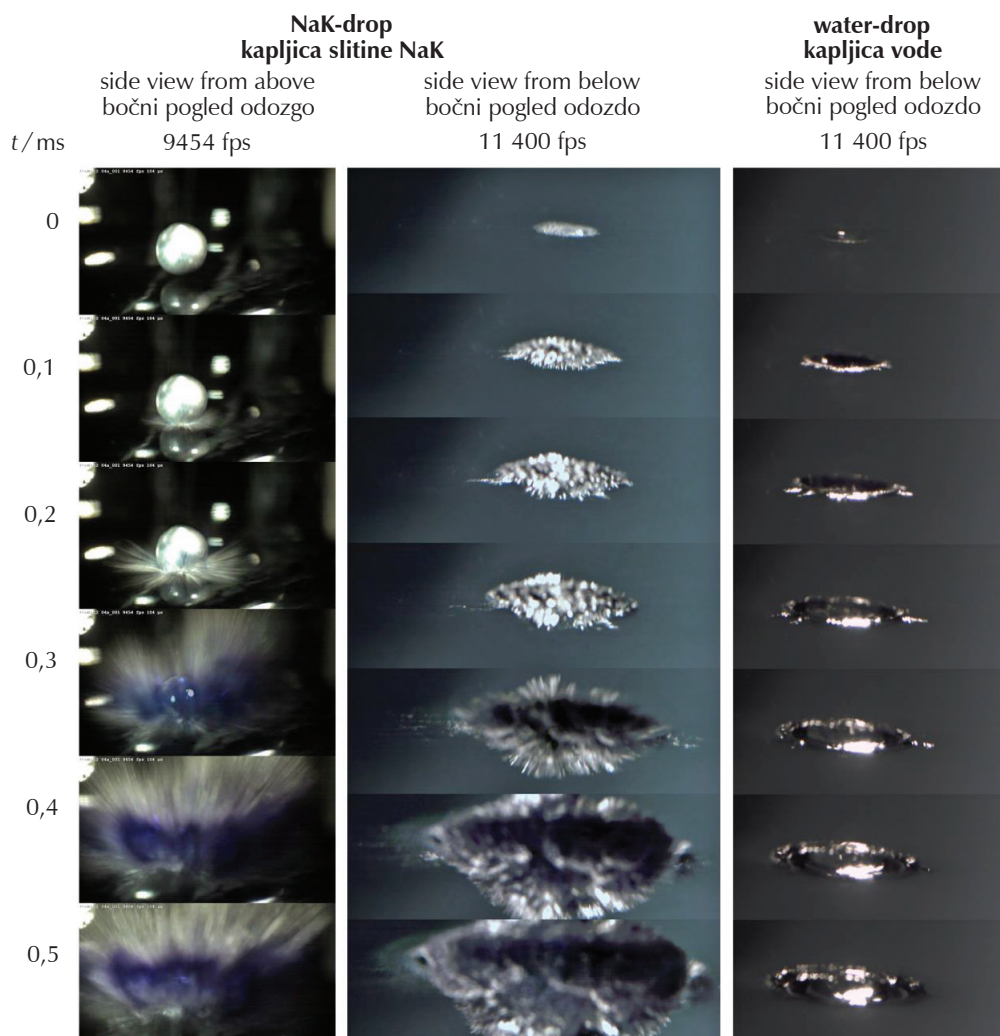
Taj najjednostavniji primjer eksplozivne reakcije, o kojoj se uči već od prvog susreta s kemijom u školi, a kada se vidi uživo ostaje urezan u sjećanje i postaje sinonimom za "opasnu kemiju" (barem je tako bilo sa mnom), međutim, uopće nije jednostavno objasniti. To nam je pokazao profesor Pavel Jungwirth predavanjem "Unravelling the complex nature of the hydrated electron" (Razjašnjenje složene naravi hidratiziranog elektrona) na 24. hrvatskom skupu kemičara i kemijskih inženjera održanom u travnju ove godine na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.

Naime, grupa kemičara s Instituta za organsku kemiju i biokemiju u Pragu i Instituta za fizikalnu i teorijsku kemiju u Braunschweigu, pod vodstvom profesora Jungwirtha, ove je godine objavila rad "Coulombska eksplozija tijekom ranih faza reakcije alkalijskih metala s vodom" u visokocitiranom časopisu *Nature Chemistry*.¹ No što je to rekao profesor Jungwirth u svom predavanju?

Kako je reakcija alkalijskih metala s vodom metastabilna, tj. prisutnost nečistoća u metalu i vodi te sloj oksida na metalu mogu jako usporiti reakciju, a bitna je i količina metala te prisutnost kisika, ti su kemičari u svojim eksperimentima upotrebljavali smjesu natrija i kalija u masenom omjeru 1 : 9. Ta je smjesa tekuća pri sobnoj temperaturi, za razliku od natrija i kalija, koji su krutine (talište natrija je 97,81, a kalija 63,65 °C). Tako su svi uzorci bili iste čistoće, uvijek svježiji, neoksidirani, a uzimali bi se kapalicom te bi svaka kap bila približno iste mase, oko 0,1 g. Uzorak se metala bacao u vodu kroz cijev visine jednog metra, ispunjenu argonom, kako bi se isključila mogućnost zapaljenja nastalog vodika kisikom iz zraka. Time su postigli potpunu reproducibilnost eksperimenta, tj. svaka je reakcija završila eksplozijom. No, uz sve to, ključni čimbenik u ovom istraživanju bila je superbrza kamera, s oko 10 000 snimaka u sekundi kojom su reakcije snimane.

Od mnoštva snimaka, ispalo je da je najbitnije onih nekoliko prvih, snimljenih prvih nekoliko desetinki milisekunde. Na slici 1 može se usporediti udar kapljice Na/K i kapi vode o vodenu površinu. Dok se iz snimaka za udar kapljice vode ne može reći ništa posebno, u slučaju smjese Na/K događa se pravi vatromet. No što je uzrok tome nije se moglo reći samo na osnovu snimaka, već je tek empirijsko opažanje u kombinaciji s teorijskim izračunima, kvantnim, koji zbog složenosti uključuju samo mali broj atoma (u ovom slučaju samo 19 Na atoma) i molekularno-dinamička simulacija u koju je u ovom slučaju bilo uključeno 4000 natrijevih atoma, dalo odgovor.

* Dr. sc. Ante Miličević
 e-pošta: antem@imi.hr



Slika 1 – Snimke udara o vodenu površinu kapljice slitine natrija i kalija te kapljice vode snimljene super-brzom kamerom [prilagođeno uz dopuštenje Nature Publishing Group: (Nature Chemistry) (P. E. Mason, F. Uhlig, V. Vaněk, T. Buttersack, S. Bauerecker, P. Jungwirth, Coulomb explosion during the early stages of the reaction of alkali metals with water, Nat. Chem. 7 (2015) 250–254, doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nchem.2161>), copyright (2015)]

Fig. 1 – High speed camera images of a sodium/potassium alloy drop vs. a water drop impacting on water [adapted by permission from Nature Publishing Group: (Nature Chemistry) (P. E. Mason, F. Uhlig, V. Vaněk, T. Buttersack, S. Bauerecker, P. Jungwirth, Coulomb explosion during the early stages of the reaction of alkali metals with water, Nat. Chem. 7 (2015) 250–254, doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nchem.2161>), copyright (2015)]

Naime, poznato je da natrij, kao i kalij te ostali alkalijski metali, vrlo lako gubi jedan elektron (energetska barijera je samo 2,3 eV (= 496 kJ mol⁻¹), pa je već i doticaj natrija s vodom dovoljan da elektron s natrija prijeđe u vodu.² Pokretačka energija za to je ponajprije vrlo egzotermna hidratacija elektrona, a nakon toga i hidratacija hidroksilnog iona (OH⁻) nastalog redukcijom vode te hidratacija iona Na⁺ koji nastaje na površini metala nakon odlaska elektrona.^{3–7}

Elektron odlazi s natrija i ako natrij ubacimo u amonijak, no tada ne nastaje elementarni vodik: Na(s) $\xrightarrow{\text{NH}_3(l)}$ Na⁺(solv) + e⁻(solv). Upravo je elektron so-

lvatiran molekulama amonijaka uzrok intenzivne modre boje reakcijske smjese jer on apsorbira svjetlost u crvenom području. Koliko je solvatacija tj. hidratacija elektrona bitna za reaktivnost natrija, govori i činjenica da se natrij može čuvati i na zraku, no samo ako je zrak potpuno suh.²

Na slici 1, negdje oko 0,3 ms također se vidi plavi bljesak što je upravo dokaz nastajanja hidratiziranog elektrona u vodi, a negdje u isto vrijeme, 0,3 – 0,4 ms nakon doticaja Na/K kapljice s vodom, vide se i nekakvi šiljci koji izbijaju iz metala. Što je to? E sad dolazimo do otkrića profesora Jungwirtha i njegovih suradnika.

Naime, nakon brzog odlaska elektrona iz kapi metala, na njezinoj se površini stvaraju ioni Na^+ , te površina metala postaje pozitivno nabijena. Kako se pozitivni ioni međusobno odbijaju, odbojna sila širi površinu metala tako da dolazi do izbijanja natrijevih šiljaka u vodu. To se događa u trenutku kada se coulombska odbojna sila između iona Na^+ izjednači s površinskom napetošću kapljice metala. Stoga se i taj događaj naziva coulombska eksplozija.

Isto se događa i kada u vodu ubacimo komadić čistog natrija. Upravo coulombska eksplozija omogućuje daljnju, dakako burnu reakciju natrija s vodom. Zašto? Zato što se coulombskom eksplozijom višestruko povećava površina metala, čime je ispunjen kritični uvjet koji glasi: reakcija na površini generira bar još toliko površine za reakciju. To je uvjet za heterogenu eksplozivnu reakciju, – što reakcija između alkalijskih metala i vode upravo jest.

Dakle, kada coulombske eksplozije ne bi bilo, heterogena eksplozija natrija i vode ne bi bila moguća. Dapače, stvaranje vodika i vodene pare otežava reakciju jer se stvara plinski sloj koji razdvaja metal od vode i onemogućuje njihovu interakciju.

Literatura References

1. P. E. Mason, F. Uhlig, V. Vaněk, T. Buttersack, S. Bauerecker, P. Jungwirth, Coulomb explosion during the early stages of the reaction of alkali metals with water, *Nat. Chem.* **7** (2015) 250–254, doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nchem.2161>.
2. E. Wiberg, *Anorganska kemija*, Školska knjiga, Zagreb, 1967., str. 476.
3. E. J. Hart, Research potentials of hydrated electron, *Acc. Chem. Res.* **2** (6) (1969) 161–167, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ar50018a001>.
4. A. T. Hutton, Dramatic demonstration for a large audience – The formation of hydroxyl ions in the reaction of sodium with water, *J. Chem. Educ.* **58** (6) (1981) 506, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed058p506.1>.
5. C. J. Mundy, J. Hutter, M. Parrinello, Microsolvation and chemical reactivity of sodium and water clusters, *J. Am. Chem. Soc.* **122** (19) (2000) 4837–4838, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ja994507p>.
6. F. Mercuri, C. J. Mundy, M. Parrinello, Formation of a reactive intermediate in molecular beam chemistry of sodium and water, *J. Phys. Chem. A* **105** (37) (2001) 8423–8427, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/jp011046x>.
7. R. E. Krebs, *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements*, Greenwood Press, Westport, CT, 2006.

SUMMARY

How does Sodium React with Water?

Ante Miličević

This paper was inspired by the lecture of Professor *Pavel Jungwirth* "Unravelling the Complex Nature of the Hydrated Electron", delivered at the 24th Croatian Meeting of Chemists and Chemical Engineers, Zagreb, Croatia, 2015. It gives an insight into the mechanism of the reaction of alkali metals with water in its early stages, studied by high-speed camera and QM and MD modelling. It was found that the Coulomb explosion is a critical step in the reaction.

Keywords

Chemistry education, alkali metals, hydrated electron

*Institute for Medical Research and
Occupational Health,
Ksaverska c. 2
P.O.B. 291, 10 001 Zagreb
Croatia*

Professional paper
Received May 11, 2015
Accepted May 28, 2015