

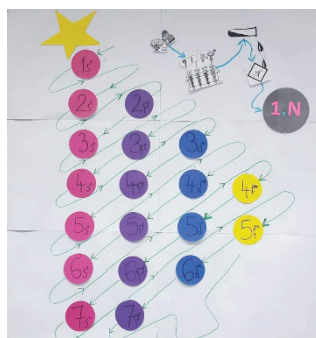


D. Šabić*

Prirodoslovna škola Vladimira Preloga
Ulica grada Vukovara 269, 10 000 Zagreb

Božićna kemija

Da bih razbila pretjeranu ozbiljnost tijekom održavanja nastave kemije te kemiju pokušala učenicima približiti na zanimljiviji način, često nastojim sa svojim učenicima provesti prigodan pokus iz kojega mogu proizaći prikladne pouke. Tako svake godine u božićno vrijeme izrađujemo nekakvu formu božićnog drvca. S prvim razredima srednje škole u to vrijeme ponavljam gradivo o elektronskoj konfiguraciji atoma, pa se obično izradi plakat na tu temu (slika 1). Učenici često ističu da im je nakon izrade tog plakata jednostavnije pratiti slijed popunjavanja atomskih orbitala.



Slika 1 – Slijed popunjavanja atomskih orbitala elektronima shodno pravilu dijagonale prezentiran u obliku božićnog drvca

Nadalje, na laboratorijskim vježbama izrađujemo božićno drveće, koje popularno nazivamo "chemistree". Drveće izrađujemo koristeći se stalkom na koji pričvršćujemo kleme odnosno hvataljke, simulirajući njima grane bora. Na krajevima klem uglavimo odmjerne tikvice ispunjene otopinama različitih obojenja kao ukras (slika 2).



Slika 2 – Božićno drveće izrađeno od stalka i klem, okičeno tikvicama s otopinama različitih obojenja

Kod učenika viših razreda srednje škole na laboratorijskim vježbama prikladnije je izraditi drugačije božićno drveće. To drveće, koje učenici popularno zovu "srebreno drveće", povezano je s odvijanjem kemijske reakcije u vodenoj otopini, pa pokus može poslužiti kao temelj za kvalitetnu raspravu. Postupak izrade drvca vrlo je jednostavan. Bakrena žica oblikuje se u formu božićnog drvca i uroni u laboratorijsku čašu u kojoj se nalazi razrijeđena otopina srebrova nitrata te pusti da se odvija kemijska reakcija (slike 3 i 4). Pritom učenici promatraju što se događa u čaši. Na vježbama bakrenu žicu obično oblikujemo u dvije forme drvca: plosnata i spiralnu, sukladno prezentiranom na slikama 3a i 4a.

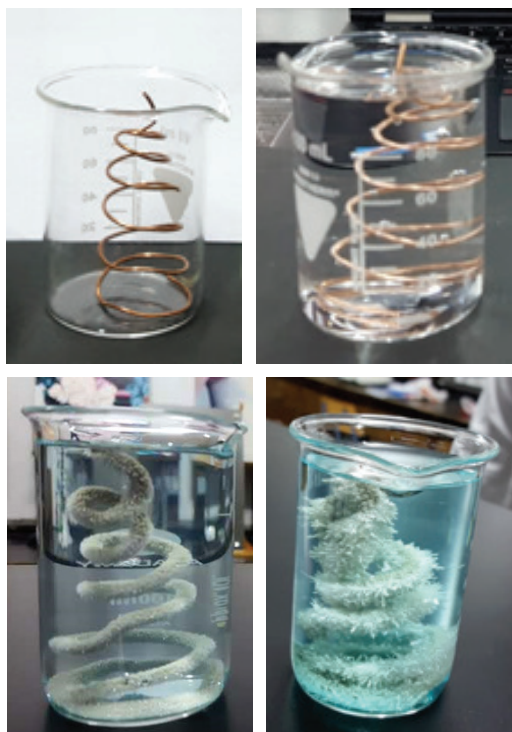


Slika 3 – Izrada srebrnog drvca iz plosnato oblikovane bakrene žice

Reakcije učenika na pokus u pravilu su vrlo pozitivne. S oduševljenjem promatraju nastajanje i rast nečega što u prvom trenutku nazivaju "iglicama" te jedva čekaju raspravu u kojoj će im biti objašnjena pozadina uočenog fenomena.

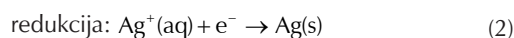
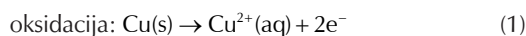
Nastavno na taj pokus, može se provesti iznimno zanimljiva rasprava i učenicima postaviti razna prikladna pitanja. Od učenika se može zatražiti da iznesu svoje mišljenje o tome koja se tvar izlučila na površini bakrene žice. Može se raspravljati o vrsti reakcije bakra u otopini srebrova nitrata te na temelju toga ponoviti osnove redoks-reakcija. Zanimljivo je i pitanje zašto je otopina poplavila.

* Danica Šabić, dipl. kem. ing.
e-pošta: danicasabic@gmail.com

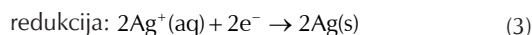


Slika 4 – Izrada srebrnog drvca iz spiralno oblikovane bakrene žice

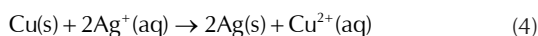
Standardni elektrodni potencijal bakra iznosi $E^{\circ}(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu(s)}) = 0,3419 \text{ V}$, a standardni elektrodni potencijal srebra $E^{\circ}(\text{Ag}^{+}/\text{Ag(s)}) = 0,7996 \text{ V}$.¹ Potencijal srebra pozitivniji je od potencijala bakra; drugim riječima, ioni Ag^{+} jači su oksidans od iona Cu^{2+} .² Zato će bakar oksidirati, a srebrovi ioni reducirati shodno jedn. (1) i (2).



Ovdje učenici mogu ponoviti pravila određivanja stehiometrijskih brojeva (koeficijenta) kod redoks-reakcija. Potrebno ih je podsjetiti da u reakcijama redukcije i oksidacije treba biti izmijenjen jednak broj elektrona. Kako u jedn. (1) imamo izmjenu dva elektrona, potrebno je jedn. (2) pomnožiti brojkom 2 da se dobije identičan broj izmijenjenih elektrona. Time jednadžba redukcije zapravo postaje:

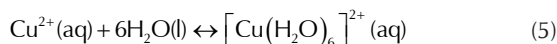


Zbrajanjem jedn. (1) i (3) dolazi se do konačne kemijske jednadžbe koja opisuje proces otapanja bakrene žice u vodenoj otopini srebrovih iona:



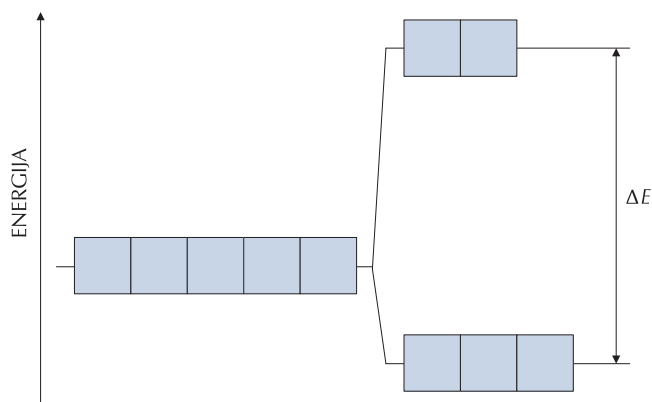
Učenici su, na temelju gore napisanog, zaključili da se na površini bakrene žice izlučilo srebro.

U kontekstu obojenja otopine u plavo može se konstatirati da je do obojenja došlo zbog nastanka stabilnog kompleksa između dvovalentnih iona bakra, Cu^{2+} , i molekula vode,³ shodno jedn. (5).



Ovdje se, ovisno o tome jesu li učenici upoznati ili ne s kemijskim kompleksima, mogu ponoviti ili dati osnove kemije kompleksnih odnosno koordinacijskih spojeva. To se u prvom redu odnosi na to od čega je građen kemijski kompleks; što je središnja čestica, što su ligandi, a što koordinacijski broj. Osobito treba istaknuti da u kompleksnim spojevima imamo oblik kovalentne veze u kojem ligand središnjem atomu daje oba vezna elektrona za uspostavu veze. Takva kovalentna veza naziva se koordinacijskom vezom.⁴

S učenicima koji teže dodatnom znanju, poput onih koji pohađaju fakultativnu i dodatnu nastavu iz kemije u vidu priprema za natjecanje, zanimljivo bi bilo raspraviti o činjenici da ioni srebra također kompleksiraju s molekulama vode stvarajući najčešće kompleksni ion $[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_2]^{+}$. Međutim, dok je kompleksni ion bakra $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ plav, kompleks $[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_2]^{+}$ je bezbojan. Učenici dobro znaju da je bakar kemijski element atomskoga broja 29, te mu je, samim time, elektronska konfiguracija $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$. Budući da ionu Cu^{2+} nedostaju dva elektrona, njegova elektronska konfiguracija je $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9$, tj. ima jedno nepopunjeno mjesto u vanjskoj d orbitali. Srebro ima atomski broj 47, pa bi njegova elektronska konfiguracija, shodno slijedu popunjavanja atomskih orbitala prikazanim na slici 1, trebala biti $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^9$. Međutim, znanstveno je dokazano da je srebro stabilnije ako ima potpuno popunjenu $4d$ nego $5s$ orbitalu, pa je stvarna elektronska konfiguracija srebra $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1 4d^{10}$.⁵ Samim time, elektronska konfiguracija iona Ag^{+} je $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 4d^{10}$.

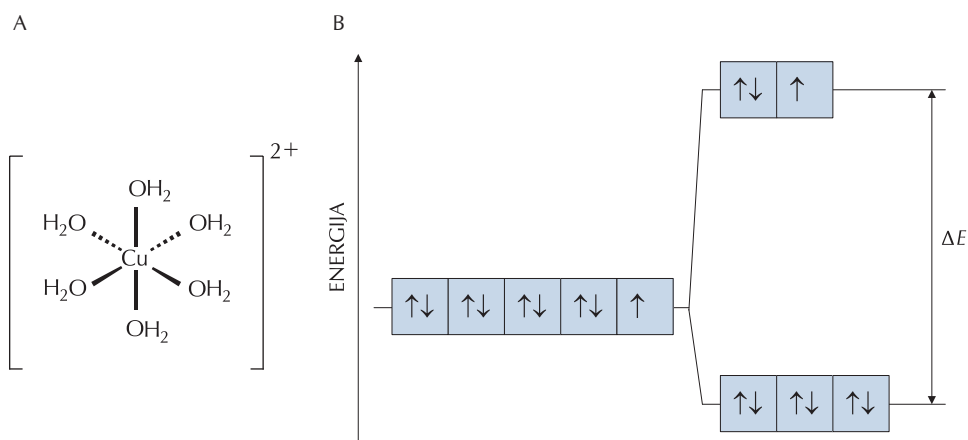


Slika 5 – Shematski prikaz diobe vanjskih d orbitala iona prijelaznih metala pod utjecajem ligandnog polja

Poznato je da se pod utjecajem ligandnog polja, vanjske d orbitale iona prijelaznih metala razdjeljuju na dvije razine: jednu višeg, a drugu nižeg energetskog nivoa (slika 5). To je osobito izraženo kod oktaedarskih ligandnih polja. Ako d orbitale višeg nivoa centralnog metalnog iona nije potpuno popunjena, kompleksni ion će, u situaciji kad je izložen bijeloj svjetlosti, davati obojenje. Prisjetimo se da je bijela svjetlost spektar svih boja. Elektron (ili više njih, ovisno o broju slobodnih mjesta) iz d orbitale nižeg nivoa centralnog metalnog iona će iz bijele svjetlosti apsorbirati foton zračenja koji energijom odgovara razlici među razdijeljenim d orbitalama (ΔE , jedn. (6)), i time prijeći u d orbitalu višeg nivoa.

$$\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (6)$$

U jedn. (6) h predstavlja Planckovu konstantu u iznosu $6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$, c brzinu svjetlosti, a ν i λ frekvenciju odnosno valnu duljinu apsorbiranog dijela spektra bijele svjetlosti.



Slika 6 – Shematski prikaz: A) oktaedarskog razmještaja liganada vode u $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ionu i B) razdjeljenosti $3d^9$ orbitale bakrova(II) iona pod utjecajem ligandnog polja

Zbog toga što jedan dio bijele svjetlosti biva apsorbiran prolaskom kroz otopinu kompleksnog iona, promatraču je vidljiv samo preostali dio spektra. Razlika u nivoima među razdjeljivim d orbitalama to je veća što je ligandno polje jače. Tako su primjerice, u slučaju veoma jakih ligandnih polja, razdvajanja d orbitala tolika da elektroni za $d-d$ prijelaz moraju apsorbirati fotone velikog sadržaja energije, primjerice one koji odgovaraju ljubičasto-plavom dijelu spektra. Kao rezultat, takve otopine su žućkastih nijansi. Kod slabih ligandnih polja apsorbiraju se fotoni s nižim sadržajem energije, primjerice oni koji odgovaraju žuto-zelenom dijelu spektra, pa su otopine takvih kompleksa ljubičastih nijansi.⁶

U slučaju kompleksa $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ imamo oktaedarsko ligandno polje koje djeluje na centralni metalni ion (slika 6A) i razdvaja njegovu vanjsku d orbitalu na dvije razine. Uz to, centralni metalni ion ima jedno slobodno mjesto u d orbitali višeg nivoa te može doći do apsorpcije dijela vidljivog spektra uz $d-d$ prijelaz elektrona (slika 6B).

Kod $[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_2]^+$ kompleksa ligandno polje je relativno slabo, no i bez ulaska u raspravu dovodi li to polje do razdvajanja d orbitala, jasno je da otopina $[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_2]^+$ iona ne može biti obojena jer Ag^+ ion ima potpuno popunjenu vanjsku d orbitalu čime nije moguće odvijanje $d-d$ prijelaza elektrona.

Naposljetku, vezano uz pokus izrada srebrenog drvca, mogu se obraditi i druge nastavne teme. Primjerice, mogu se tematski obraditi elementi 11. skupine periodnog sustava elemenata, kojoj uz bakar i srebro pripada još i zlato te spomenuti njihovi najznačajniji spojevi.

Izvori

- P1: Standard Reduction Potentials by Element, u: LibreTexts Chemistry, dostupno na: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Reference/Reference_Tables/Electrochemistry_Tables/P1%3A_Standard_Reduction_Potentials_by_Element (pristupljeno 4. siječnja 2024.).
- M. Sikirica, Zbirka kemijskih pokusa za osnovnu i srednju školu, priručnik za nastavnike i učenike, Školska knjiga, Zagreb, 2011.
- M. Mazalin-Zlonoga, A. Petreski, Zbirka riješenih primjera i zadataka iz anorganske kemije, Profil, Zagreb, 2005.
- J. Clark, Coordinate (Dative Covalent) Bonding, LibreTexts Chemistry, dostupno na: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Chemical_Bonding/Fundamentals_of_Chemical_Bonding/Coordinate_\(Dative_Covalent\)_Bonding](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Chemical_Bonding/Fundamentals_of_Chemical_Bonding/Coordinate_(Dative_Covalent)_Bonding) (pristupljeno 4. siječnja 2024.).
- E. Vitz, J. W. Moore, J. Shorb, X. Prat-Resina, T. Wendorff, A. Hahn, 5.17: Electron Configurations and the Periodic Table, u: LibreTexts Chemistry, dostupno na: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/ChemPRIME_\(Moore_et_al.\)/05%3A_The_Electronic_Structure_of_Atoms/5.17%3A_Electron_Configurations_and_the_Periodic_Table](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/ChemPRIME_(Moore_et_al.)/05%3A_The_Electronic_Structure_of_Atoms/5.17%3A_Electron_Configurations_and_the_Periodic_Table) (pristupljeno 2. siječnja 2024.).
- 24.7: Color and the Colors of Complexes, u: LibreTexts Chemistry, dostupno na: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_General_Chemistry_\(Petrucci_et_al.\)/24%3A_Complex_Ions_and_Coordination_Compounds/24.07%3A_Color_and_the_Colors_of_Complexes](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_General_Chemistry_(Petrucci_et_al.)/24%3A_Complex_Ions_and_Coordination_Compounds/24.07%3A_Color_and_the_Colors_of_Complexes) (pristupljeno 2. siječnja 2024.).