

Niebiesko-pomarańczowa reakcja odwracalna

Kolorowa chemia

Marek Ples

Heraklit z Efezu, grecki myśliciel żyjący na przełomie V i VI wieku przed naszą erą, stwierdził, że cechą właściwą wszystkiemu co nas otacza jest zmiana. Wyraził to w swojej słynnej maksymie *πάντα ῥεῖ* (*panta rhei*, z gr. „wszystko płynie”). Heraklit głosił, że najważniejszą cechą bytu jest ciągle stawanie się i przemijanie. Wszystko co istnieje się zmienia – nie ginie bezpowrotnie i nie powstaje z niczego [1]. Fascynujące jest, że w ten poetycki sposób filozof przeczuł to, do czego nauka doszła w wiele wieków później, a mianowicie zasadę zachowania energii, a także jej równoważność z materią.

Znakomicie w myśl Heraklita wpisuje się chemia – jest to przecież nauka zajmująca się opisem właściwości substancji, a także ich przemian zachodzących pod wpływem zróżnicowanych czynników. W murach szkoły, na etapie zaznajamiania z tajnikami tej dziedziny do młodych umysłów najbardziej przemawiają te aspekty, które można zwizualizować za pomocą prostych, ale efektownych doświadczeń. Dlatego prezentowany dzisiaj eksperyment pozwala uzmysłowić sobie w naoczny sposób, jak zaskakujące mogą być przemiany chemiczne. W tym wypadku przejawiają się one odwracalnymi i kontrastowymi zmianami koloru cieczy.

Doświadczenie

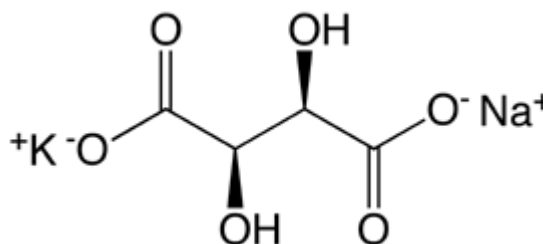
W celu przeprowadzenia doświadczenia potrzebujemy zgromadzić substancje z poniższej, na szczęście niezbyt długiej listy:

- tetrahydrat winianu potasu sodu $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,
- pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,
- nadtlenuk wodoru 3% H_2O_2 .

Winian potasu sodu jest organicznym związkiem chemicznym, solą podwójną dikarboksylogowego kwasu winowego $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ oraz dwóch metali alkalicznych: potasu K i sodu Na (Rys. 1).

W handlu najczęściej występuje w postaci czterowodnej jako ciało krystaliczne o barwie białej (Fot. 1).

Związek ten ma szerokie zastosowanie w przemyśle i nauce. Jest wykorzystywany między innymi jako czynnik kompleksujący kationy miedzi Cu^{2+} w reakcjach na wykrywanie właściwości redukujących aldoz za pomocą odczynnika Fehlinga lub innych [2].



Rys. 1 – Jony tworzące winian potasu sodu



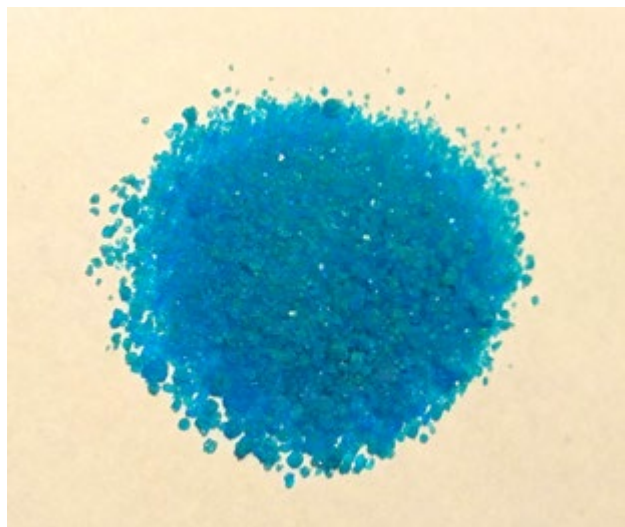
Fot. 1 – Kryształy winianu potasu sodu

Winian potasu sodu jest stosowany od dawna w lecznictwie jako środek przeczyszczający, gdzie jest nazywany inaczej solą Seignette’a lub solą z Rochelle. Jako dodatek E337 znalazł zastosowanie w przemyśle spożywczym – pełni rolę przeciwutleniacza i regulatora kwasowości.

Nadtlenek wodoru H_2O_2 o stężeniu 3% to woda utleniona, do nabycia w każdej aptece. Pamiętajmy jednak, że w większych stężeniach substancja ta jest silnie żrąca i z łatwością niszczy nasze tkanki powodując zmiany martwicze i trudno gojące się oparzenia.

Jako źródło potrzebnych w układzie reakcyjnym dwudodatnich jonów miedzi Cu^{2+} użyjemy siarczanu(VI) miedzi(II) w postaci pentahydratu $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Jest to ciało krystaliczne o pięknej niebieskiej barwie (Fot. 2).

Do ciekawostek należy zaliczyć fakt, że substancja ta była znana alchemikom jako witról miedzi (łac. *Vitriol coeruleum*). Pamiętajmy, że związek ten jest solą metalu



Fot. 2 – Siarczan(VI) miedzi(II)

ciężkiego i jako taki ma toksyczne działanie na nasz organizm – wykazuje też dosyć silne właściwości grzybobójcze.

By móc przeprowadzić doświadczenie musimy przygotować następujące roztwory:

A – 8,5 g $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ w 30 cm^3 wody,

B – 20 cm^3 H_2O_2 3%,

C – 1,25 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ w 5 cm^3 wody (**do doświadczenia bierzemy $0,5 \text{ cm}^3$ tego roztworu**) [3].

We wszystkich przypadkach musimy wykorzystać wodę destylowaną. Roztwory są trwałe, można je dosyć długo przechowywać w ciemności i najlepiej w obniżonej temperaturze, np. w lodówce.

Sposób wykonania

Roztwór A i B trzeba zmieszać razem – powstała w ten sposób ciecz jest w dalszym ciągu całkowicie bezbarwna i przejrzysta (Fot. 3).



Fot. 3 – Próbką mieszaniny roztworów A i B

Mieszaninę następnie umieszczamy w kolbie o pojemności przynajmniej 100 cm^3 i ostrożnie ogrzewamy mierząc jej temperaturę. Przydatna jest wtedy płyta grzewcza wyposażona w mieszadło magnetyczne, ale to ostatnie nie jest bezwzględnie konieczne (Fot. 4).



Fot. 4 – Bezbarwny roztwór

Kiedy temperatura roztworu osiągnie 50°C , należy dodać roztwór C w objętości $0,5 \text{ cm}^3$. Ciecz przyjmuje wtedy głęboki, niebieski kolor – dużo bardziej intensywny niż barwa dodawanego roztworu (Fot. 5). Pozostaje jednak w dalszym ciągu przejrzysta.



Fot. 5 – Błękitny roztwór

Kontynuując obserwacje możemy zauważyć, że po chwili roztwór zaczyna się silnie pieniać, a jego temperatura wzrasta samorzutnie do prawie 90°C . W pewnym momencie ciecz przyjmuje piękną pomarańczowo-żółtą barwę (Fot. 6). Staje się wtedy także nieprzejrzysta. Zmiana jest bardzo gwałtowna – zachodzi dosłownie w mgnieniu oka.

Przejście barwne jest bardzo kontrastowe i widowiskowe. Często można usłyszeć wtedy mniej lub bardziej wyraźny okrzyk zdziwienia widzów.



Fot. 6 – Pomarańczowa zawiesina

Dodatek nowej porcji roztworu B powoduje powrót do postaci klarownej o niebieskiej barwie. Wystarczy jednak poczekać chwilę, by ciecz stała się na powrót pomarańczowa. Przejścia barwne można w ten sposób powtarzać wielokrotnie, pod warunkiem zachowania odpowiednio wysokiej temperatury cieczy.

Chciałbym jeszcze raz podkreślić, że ważne jest, aby prowadzić reakcję w naczyniu o odpowiednio dużej objętości. Powodem jest wydzielanie się w czasie procesu dużych ilości gazu i pienienie się cieczy – może dochodzić wtedy do rozprysku, a nawet wylania się części mieszaniny reakcyjnej z naczynia, jak to widać na Fot. 7.

Wyjaśnienie

Przedstawiona reakcja jest ciekawym przykładem procesu redoks. W jej trakcie skompleksowane przez reszty winianowe $C_4H_4O_6^{2-}$ jony miedzi Cu^{2+} zostają zredukowane z drugiego stopnia utlenienia na pierwszy. W opisanych warunkach powstaje wtedy zawiesina nierozpuszczalnego tlenku miedzi(I) zwanego inaczej kuprytem Cu_2O – tego samego, który obserwujemy w razie uzyskania pozytywnego wyniku wspomnianej wcześniej reakcji Fehlinga [4]. Tlenek ten w postaci litej ma barwę ciemnoczerwoną lub nawet brązową, ale jako drobnokrystaliczna zawiesina w wodzie jest jasnopomarańczowy [5]. Z układu reakcyjnego wydostaje się mieszanina gazów, w większości składająca się z tlenem O_2 uzyskanego na drodze rozkładu nadtlenu. Ważnym szczegółem jest jednak fakt, że wraz z tlenem powstają tutaj niewielkie ilości dwutlenku węgla CO_2 , najwyraźniej w wyniku utleniania winianu. Z obserwacji wynika, że w każdym cyklu zmiany barwy jedynie około 2-3% winianu ulega utlenieniu, dzięki czemu proces może być powtarzany kilkakrotnie dzięki dodatkowi nowych porcji nadtlenu wodoru i zachowaniu odpowiedniej temperatury. Można także zauważyć stopniowy wzrost pH środowiska reakcji od wartości bliskiej 5 na początku, do około 9 po kilku cyklach. Moment zmiany barwy (redukcja miedzi) jest związany z wyczerpaniem się w środowisku reakcji utleniacza, czyli nadtlenu wodoru. Kolejny dodatek tej substancji powoduje ponowne przeniesienie miedzi na drugi stopień utlenienia, a więc wyklarowanie roztworu i jego zmianę barwy na niebieską, co zapoczątkowuje kolejny cykl zmian koloru [6].



Fot. 7 – Efekt zastosowania zbyt małego naczynia lub zbyt dużej objętości roztworów

mgr Marek Ples

www.weirdscience.eu

marek.ples@o2.pl

Katedra Biomechatroniki

Wydział Inżynierii Biomedycznej

Politechnika Śląska

Literatura:

- [1] Leszczyński D., *Filozofowie i ich filozofie. Opowieści dla niewtajemniczonych*, Atlas, Wrocław, 2002, str. 19 – 21
- [2] Ples M., *Kto pomieszał cukry? Mała analiza*, Biologia w Szkole, 1 (2018), Forum Media Polska Sp. z o.o., str. 58 – 63
- [3] Roesky H.W., Möckel K., *Niezwykły świat chemii*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa, 2001, str. 63 - 64
- [4] Ples M., *Reakcja Fehlinga*, w serwisie: <https://weirdscience.eu>, dostępne online: <https://weirdscience.eu/Pr%C3%B3b%C3%9C%20Fehlinga.html> [dostęp: 12.01.2020]
- [5] Bielański A., *Chemia ogólna i nieorganiczna*, PWN, Warszawa, 1981, str. 632
- [6] Sherman M. C., Weil D., A reversible blue-and-gold reaction, *Journal of Chemical Education*, 1991, 68(12), str. 1037