

Lód jako rozpałka

fajerwerki zapalane lodem

Marek Ples

Pomysł wzniesienia ognia przy użyciu lodu może wydawać się sprzeczny z intuicją i zdrowym rozsądkiem. Woda jednoznacznie kojarzy się z gaszeniem płomienia, chłodzeniem, tłumieniem reakcji egzotermicznych. Trudno o materiał, który w potocznym wyobrażeniu pełniłby bardziej jednoznacznie przeciwstawne funkcje wobec procesu spalania. Lód, jako zestalone H_2O , w zwykłych warunkach pozbawiony jest cech łatwopalności, a jego właściwości fizyczne, takie jak wysoka pojemność cieplna i znaczna entalpia topnienia czynią go raczej środkiem gaśniczym niż rozpałką. Wszystko to sprawia, że lód wydaje się niezdolny do wzbudzenia jakiegokolwiek reakcji zapalnej.

Warto zauważyć, że woda jako związek chemiczny cechuje się niezwykle wieloma właściwościami, które wynikają z jej struktury molekularnej i silnych wiązań wodorowych. Jest to ciecz o wyjątkowo wysokim punkcie wrzenia i topnienia jak na związek o tak małej masie cząsteczkowej. Jej gęstość osiąga maksimum w temperaturze $4^{\circ}C$, co ma istotne konsekwencje dla procesów biologicznych i interakcji środowiskowych. Po zestaleniu, woda zwiększa swoją objętość, co powoduje zmniejszenie gęstości lodu względem cieczy. Co więcej, jako uniwersalny rozpuszczalnik, woda w stanie ciekłym ułatwia szereg reakcji chemicznych.

Warto zauważyć, że nauka niejednokrotnie podważa nasze codzienne wyobrażenia, ukazując zaskakujące konsekwencje subtelnych właściwości fizycznych i chemicznych. W niniejszym artykule chcę przedstawić doświadczenie, w którym lód – pozornie bierna substancja – od-

grywa kluczową rolę w inicjowaniu gwałtownego zapłonu mieszaniny reakcyjnej. Nie chodzi jednak o zwykłe zjawisko cieplne, ale o precyzyjnie zaprojektowane doświadczenie, w którym lód pełni funkcję katalizatora.

Przedstawiony poniżej eksperyment, będący modyfikacją klasycznych pokazów z pogranicza chemii i fizyki, ma nie tylko walory dydaktyczne, ale również inspiruje do krytycznego myślenia o pozornie oczywistych zjawiskach. W warunkach laboratoryjnych, gdzie kontroluje się wszystkie istotne parametry okazuje się, że nawet kostka lodu może stać się inicjatorem zapłonu.

Czego potrzebujemy?

Aby przeprowadzić doświadczenie musimy zgromadzić materiały takie jak:

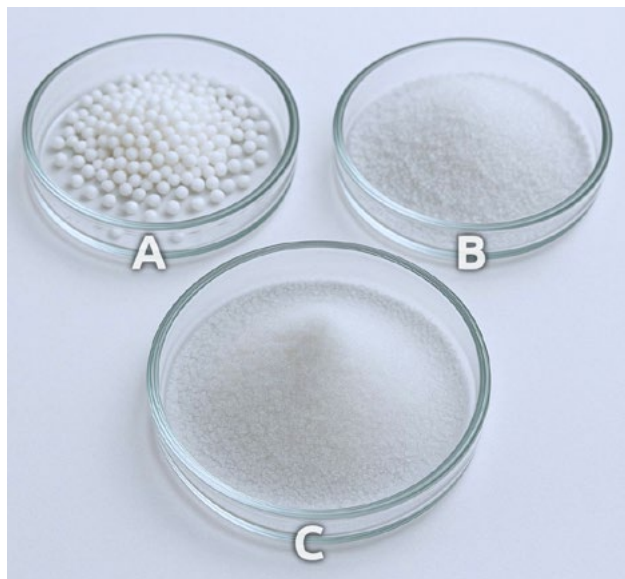
- cynk Zn (proszek),
- azotan(V) amonu NH_4NO_3
- chlorek amonu NH_4Cl
- azotan(V) baru $Ba(NO_3)_2$

Cynk jest metalem zaliczanym do grupy metali przejściowych, o liczbie atomowej 30. W warunkach normalnych wykazuje dobrą przewodność elektryczną i cieplną, choć nie dorównuje pod tym względem miedzi czy srebru. Jest metalem stosunkowo reaktywnym – zwłaszcza w obecności kwasów, z którymi reaguje, wydzielając wodor. W roztworach wodnych cynk ulega utlenieniu do kationu Zn^{2+} , co czyni go popularnym składnikiem ogniów galwanicznych i reakcji redoks. Jego wysoka reaktywność powoduje, że z łatwością może uczestniczyć w gwałtownych reakcjach egzotermicznych, szczególnie w obecności silnych utleniaczy. Chociaż cynk w postaci litej ma barwę srebrzystobiałą, to w potrzebnej nam w doświadczeniu formie proszku jest ciemnoszary (Fot. 1).

Azotan(V) amonu ma silne właściwości higroskopijne i pozostawiony w wilgotnym powietrzu po pewnym czasie wręcz rozpuszcza się w pochłoniętej wodzie. Kryształ zbudowany z kationów amonowych i anionów azotanowych(V) stanowi niezwykle cenny nawóz sztuczny, ponieważ zawiera przyswajalny azot w obu swoich jonach. W warunkach odpowiednio wysokiej temperatury, a zwłaszcza pod zwiększonym ciśnieniem, może ulec rozkładowi (czasem wręcz wybuchowemu), prowadząc do gwałtownego wydzielania gazowych produktów: głównie azotu, jego tlenków i wody. Te cechy sprawiają, że azotan amonu znajduje zastosowanie zarówno w rolnictwie, jak i w przemyśle chemicznym, a nawet w produkcji materiałów wybuchowych [1]. Jest doskonałym utleniaczem.



Fot. 1 – Metaliczny cynk w formie proszku



Fot. 2 – Substancje użyte w doświadczeniu; A – azotan(V) amonu, B – chlorek amonu, C – azotan(V) baru

Także azotan(V) baru jest silnym utleniaczem. Ze względu na te swoje właściwości, związek ten znajduje zastosowanie w pirotechnice, gdzie dodatkowo odpowiada m.in. za barwienie płomienia na zielono.

Chlorek amonu to sól powstająca w wyniku reakcji amoniaku NH_3 z kwasem solnym $\text{HCl}_{(\text{aq})}$. W podwyższonej temperaturze sublimuje – przechodzi bezpośrednio ze stanu stałego w gazowy, co może być obserwowane jako powstawanie białego „dymu” podczas ogrzewania. Ze względu na swoją zdolność do wywiązywania amoniaku i chlorowodoru w reakcji termicznego rozkładu, może służyć jako źródło tych lotnych reagentów w doświadczeniach chemicznych. Choć sam nie jest substancją łatwopalną ani silnie reaktywną, jego obecność może wpływać na przebieg reakcji.

Poza cynkiem, wszystkie pozostałe wykorzystane w doświadczeniu substancje mają postać białych ciał krystalicznych (Fot. 2).

Musimy pamiętać o ostrożności, ponieważ szczególnie azotan baru wykazuje właściwości toksyczne, a wpływ pozostałych substancji na organizm także może być niekorzystny. Dodatkowo trzeba uważać, aby **nigdy** nie ucierać ani nie ubijać mieszanin reduktorów (proszek cynkowy) z utleniaczami (azotan(V) amonu, azotan(V) baru), ponieważ może to prowadzić do niekontrolowanego zapłonu, czy nawet eksplozji [2]. Konieczne jest stosowanie odpowiednich środków ochrony osobistej, a doświadczenie powinno być prowadzone pod dygestorium lub za przezrystą osłoną, szczególnie w przypadku obecności widzów.

Przygotowanie mieszaniny

Ważne jest to, że wszystkie substancje, jakich użyjemy muszą być bardzo dokładnie wysuszone – obecność wilgoci jest całkowicie wykluczona.

Wszystkie substancje (poza oczywiście cynkiem) uciery najpierw **osobno** na drobny proszek. Jeśli stosujemy do tego jeden moździerz, to musi on zostać dokładnie wyczyszczony, a najlepiej umyty po każdej substancji. Tych ostrzeżeń nie wolno zlekceważyć, ponieważ mogłoby się to skończyć groźną eksplozją.

Następnie, na arkuszu papieru odważamy 4 g pyłu cynkowego, 0,4 g azotanu(V) baru, 1 g chlorku amonu oraz 4 g azotanu(V) amonu [3]. Substancje mieszamy dokładnie poprzez przesypywanie z arkusza na arkusz lub poprzez przesiewanie sitem – nigdy przez ucieranie. Nie radzę powiększać znacznie skali doświadczenia. Mieszaniny nie wolno przygotowywać na zapas i należy ją zużyć bezpośrednio po zmieszaniu.

Przygotowaną mieszaninę usypujemy na ognioodpornej podstawie (azbestowej) w niewielki kopczyk, a całość ustawiamy na większej odpornej na wysoką temperaturę podstawie (Fot. 3).

W celu zainicjowania reakcji na wierzchu kopczyka umieszczamy kostkę lodu (Fot. 4).



Fot. 3 – Gotowa mieszanina



Fot. 4 – Umieszczanie lodu w mieszaninie reakcyjnej



Fot. 5 – Etapy reakcji: A – początek, efekty akustyczne i powstawanie oparów, B – zapłon, C – finał

Od tego momentu dalszy przebieg doświadczenia należy obserwować z bezpiecznej odległości, a jeszcze lepiej zza przezroczystej osłony, np. z pleksiglasu.

Widoczny efekt reakcji rozpoczyna się zwykle już po kilku-kilkunastu sekundach i objawia się efektami akustycznymi (szumem lub syczeniem) oraz powstawaniem obłoku oparów (Fot. 5A).

W niedługim czasie od zaobserwowania pierwszych objawów reakcji dochodzi do gwałtownego zapłonu (Fot. 5B) i cała mieszanina spala się, emitując dużą ilość białego dymu i syjąc iskrami (Fot. 5C).

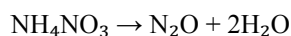
W razie braku lodu, reakcję oczywiście można zainicjować także kroplą wody.

Efekt doświadczenia jest bardzo widowiskowy i oddziałuje na wyobraźnię. Zastanówmy się jednak, jakie mechanizmy nim kierują.

Wyjaśnienie

Rozkład azotanu(V) amonu jest katalizowany przez jony chlorkowe dostarczane przez chlorek amonu, a także przez wodę – wystarczą nawet jej mikroskopijne ilości powstałe w ciągu paru sekund na powierzchni topniejącego

lodu. Reakcja jest autokatalityczna, ponieważ w jej trakcie powstaje także woda:



W miarę postępu reakcji wzrost temperatury prawdopodobnie powoduje stopienie azotanu(V) amonu (temperatura topnienia ok. 170°C), co umożliwia reakcję z cynkiem i jego utlenianie [4]. Azotan(V) baru dodatkowo przyspiesza reakcję, powodując też zabarwienie płomienia na delikatnie zielony kolor.

Mgr Marek Ples

Katedra Biomechatroniki
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska
marek.ples@o2.pl
www.weirdscience.eu

Wszystkie fotografie zostały wykonane przez autora

Literatura:

- [1] Cook M. A., *The Science of Industrial Explosives*, IRECO Chemicals, 1974
- [2] Martel B., Cassidy K., *Chemical Risk Analysis: A Practical Handbook*, Butterworth-Heinemann, 2004, str. 362
- [3] Roesky H. W., Möckel K., *Niezwykły świat chemii*, Wydawnictwo Adamantan, 2001, str. 29-30
- [4] Zapp K. H., *Ammonium Compounds*, w: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, 2012

Pierwiastki ziem rzadkich z baterii

Naukowcy z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie opracowali nową metodę odzyskiwania pierwiastków ziem rzadkich z baterii niklowo-wodorkowych, tzw. paluszków. Pierwiastki wykorzystywane m.in. do produkcji samochodów elektrycznych i laptopów są kluczowe dla rozwoju nowoczesnego przemysłu.

Kierownik Katedry Chemii Nieorganicznej UMCS prof. Dorota Kołodziejka powiedziała PAP, że jej zespół pozyskuje pierwiastki z akumulatorów niklowo-wodorkowych, czyli popularnych baterii R3 i R6. Tzw. paluszki są sklasyfikowane jako materiał niebezpieczny i podlegają zbiórce. Po zdjęciu obudowy naukowcy wydobywają z wnętrza akumulatorów tzw. masę czarną, w której znajdują się cenne pierwiastki.

„Na bazie wieloletnich badań doszliśmy do wniosku, że m.in. kwas iminodiburszynowy (IDHA) będzie tym ekonomicznym czynnikiem, który pozwoli wydobyć z baterii cenne pierwiastki z grupy

lantanowców, takie jak lantan, cer czy neodym, ale też inne pierwiastki, m.in. nikiel, kobalt, cynk” – wyjaśniła prof. Kołodziejka.

Obecnie przy wydzielaniu pierwiastków ziem rzadkich powszechnie stosowane są typowe kwasy i ekstrahenty, czyli ciekłe rozpuszczalniki. W grupie kwasów najczęściej wykorzystuje się kwasy azotowy, siarkowy i chlorowodorowy. Prof. Kołodziejka wyjaśniła, że tego typu kwaśne odpady są trudne do zagospodarowania i przyczyniają się do degradacji środowiska. Dlatego naukowcy z UMCS oparli swoją metodę na bezpiecznych dla człowieka nowych czynnikach biodegradowalnych.

Jak dodała chemiczka, osobnym problemem jest rozdzielenie wydzielonych pierwiastków. Naukowcy wykorzystują do tego sorbenty i materiały hybrydowe. Zespół prof. Kołodziejki projektuje je samodzielnie w oparciu o chitozan, alginiany i biowęgl oraz inne materiały, które można pozyskać niskim kosztem. PAP – Nauka w Polsce