

Ognista Fala

Marek Ples

Według możliwej do sformułowania w miarę nieskomplikowanej definicji, płomień jest złożonym układem fizyko-chemicznym, który stanowi wynik reakcji pirolizy i utleniania, emitując przy tym światło. Jest to proces, który zachodzi w warunkach odpowiedniej temperatury oraz w obecności tlenu lub innego utleniacza. Warto zaznaczyć, że płomień jest obszarem, gdzie spalanie odbywa się w fazie lotnej, co oznacza, że zarówno paliwo, jak i utleniacz znajdują się w stanie gazowym.

Wewnątrz płomienia można wyróżnić różnorodne strefy, z których każda charakteryzuje się innymi właściwościami fizykochemicznymi oraz procesami zachodzącymi w jej obrębie. Istnieje wiele czynników wpływających na wygląd płomienia, między innymi rodzaj spalanej substancji oraz ilość i dostępność utleniacza. Warto podkreślić, że to właśnie te czynniki determinują intensywność emitowanego ciepła oraz rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, głównie w postaci podczerwieni i światła widzialnego.

Chemicy i fizycy od wieków badają strukturę i właściwości płomienia, co pozwoliło na zgłębienie jego złożonej natury. Dzięki temu zdobyliśmy głębsze zrozumienie procesów zachodzących w płomieniu oraz możliwość wykorzystania go w różnych dziedzinach nauki i technologii, np. w przemyśle, w badaniach laboratoryjnych czy też w energetyce. Nie możemy jednak stwierdzić, że wiemy już w tym temacie wszystko, a badania wciąż trwają, więc w miarę rozwoju naukowych metod badawczych odkrywamy coraz to nowe aspekty płomienia, co prowadzi do stałego poszerzania naszej wiedzy na jego temat. Zrozumienie mechanizmów spalania i procesów zachodzących w płomieniu ma kluczowe znaczenie nie tylko dla chemii i fizyki, ale także dla inżynierii, ekologii oraz bezpieczeństwa przemysłowego i cywilnego.

Warto również wspomnieć, że płomień nie tylko stanowi obiekt badań naukowych, ale często jest też źródłem inspiracji dla artystów i twórców, którzy próbują uchwycić jego dynamiczne i fascynujące formy w swoich dziełach. Dzięki temu płomień staje się nie tylko przedmiotem naukowych dociekań, lecz także inspiracją dla kreatywności ludzkiej [1].

Dobierając odpowiednie warunki można uzyskać zaskakujący wygląd i zachowanie się płomienia. Pewnym urozmaiceniem opisywanego doświadczenia jest fakt towarzyszącego mu – zaskakującego w tych okolicznościach – efektu akustycznego.

Wykonanie

By przeprowadzić doświadczenie potrzebujemy dużego naczynia szklanego o wąskiej szyjce. Po eksperymentach

jakie przeprowadziłem okazało się, że najodpowiedniejsza do tego celu jest widoczna duża szklana butla (Fot. 1). Jej pojemność wynosi 10 dm³. Można też zastosować duże butle na wodę mineralną wykonane z tworzywa sztucznego, trzeba jednak zachować dużą ostrożność, ze względu na możliwą palność tego typu materiałów.

Jako paliwo wykorzystamy 99% alkohol izopropylowy C₃H₇OH. Używa się go np. do czyszczenia elementów optycznych i jego zdobycie nie stanowi problemu.

Trzeba pamiętać, że izopropanol może być szkodliwy. Należy unikać wdychania par tej lotnej cieczy. Przy zanieczyszczeniu innymi substancjami, albo w razie nieprawidłowego prowadzenia doświadczenia może dojść do eksplozji i rozerwania szklanego naczynia. Należy stosować odpowiednie środki ochrony osobistej!

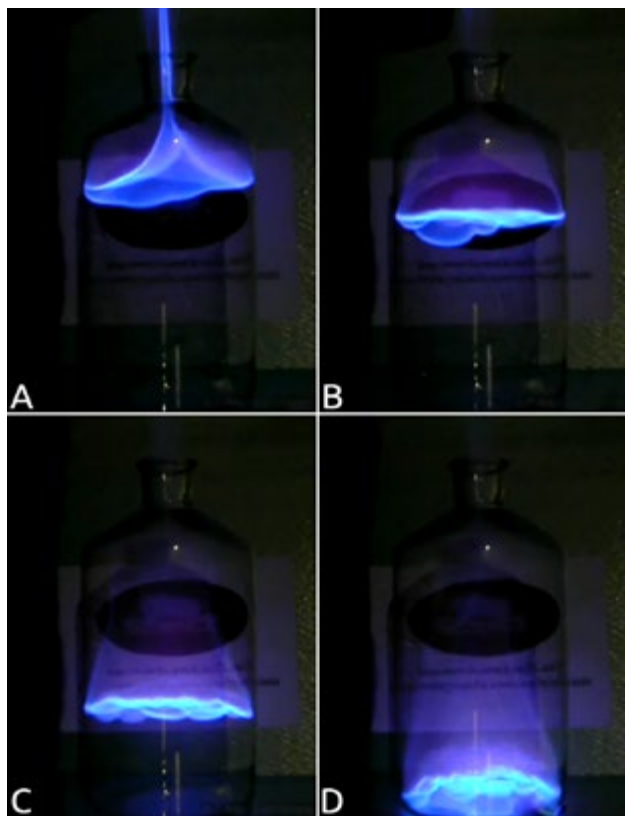
Przygotowanie doświadczenia jest proste: do naczynia trzeba wprowadzić kilka mililitrów izopropanolu, nakryć i pozostawić do odparowania. Ciecz jest stosunkowo lotna, więc powinno to zająć kilka, najwyżej kilkanaście minut. Doświadczenie warto jest prowadzić w stosunkowo niskiej temperaturze, około 15°C. Wtedy utlenianie alkoholu zachodzi spokojniej i łatwiej zaobserwować opisywany efekt.

Po odparowaniu alkoholu wystarczy przyłożyć płomień do otwartej szyjki naczynia.

Po dokonaniu zapłonu (Fot. 2A) możemy zaobserwować interesujące zjawisko: powstaje płaski, kolisty płomień podążający stosunkowo powoli w dół (Fot. 2B-C). Jednocześnie można usłyszeć dźwięk o dosyć niskiej



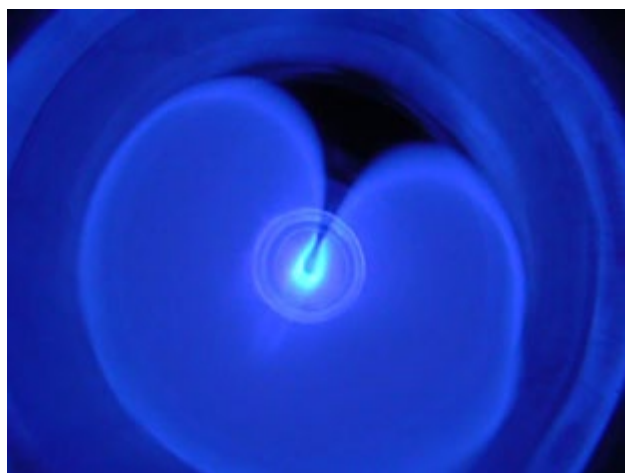
Fot. 1 – Szklane naczynie



Fot. 2 – Uzyskany efekt; A, B, C, D – kolejne fazy

częstotliwości. Płomień gaśnie dopiero po dotarciu do dna naczynia (Fot. 2D).

Front płomienia wygląda też pięknie w widoku od dołu (Fot. 3).



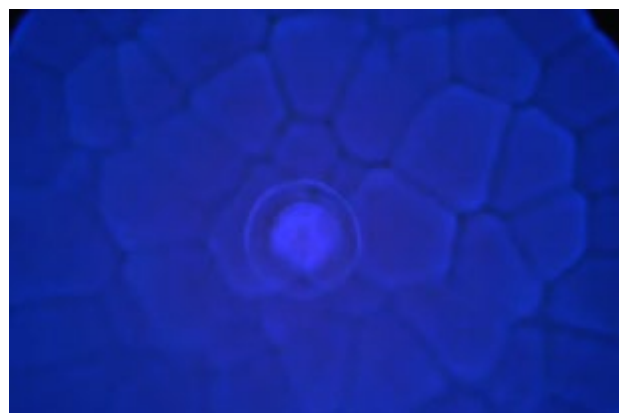
Fot. 3 – Widok od dołu

Wyjaśnienie

Wyjaśnienie obserwowanego zjawiska jest stosunkowo nieskomplikowane. Izopropanol jest lotnym, łatwopalnym alkoholem. Jego pary są cięższe od powietrza, zbierają się więc przy dnie wypierając powietrze wraz z zawartym w nim tlenem.

Do utleniania potrzebne są oba składniki: paliwo i tlen. Razem występują jedynie na styku warstwy par alkoholu i powietrza. Jest to powodem płaskiej formy płomienia. W czasie spalania paliwo jest zużywane, co objawia się zmniejszeniem objętości alkoholu w fazie gazowej. Dlatego obserwujemy wędrowkę kolistego płomienia w dół.

Co szczególnie interesujące, w obrębie płomienia można zauważyć powstanie dosyć regularnego układu komórek konwekcyjnych, co jest szczególnie dobrze widoczne w niektórych fazach doświadczenia w widoku od dołu (Fot.4). Jest to swoisty przykład samoorganizacji, którego efekt przypomina zjawiska opisane po raz pierwszy przez Bénarda [2] [3]. Wspomniany uczynek badał procesy konwekcyjne w cieczach.



Fot.4 – Samoorganizacja w płomieniu

W czasie spalania dochodzi do uwolnienia pewnych ilości gazów: dwutlenku węgla CO_2 i pary wodnej H_2O . Uchodzą one z dużą prędkością przez wąską szyjkę butelki, co powoduje powstanie drgań będących źródłem dźwięku. Po ustaniu spalania powstaje drugi dźwięk – jest on jednak dużo krótszy i cichszy. Powodem tego jest zmniejszenie się objętości ochładzających się gazów pozostałych w naczyniu, a dźwięk jest wtedy spowodowany powietrzem zasysanym do wnętrza naczynia. W każdym razie opisany układ możemy potraktować jako swoisty przykład rezonatora Helmholtza [4].

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] Ples M., *Niepalne fajerwerki z Kraju Kwitnącej Wiśni*, Chemia w Szkole, 1 (2022), Agencja AS Józef Szewczyk, str. 46-50
- [2] Bénard H., *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide*, Revue Générale des Sciences, 1900, 11, str. 1261-1271, 1309-1328
- [3] Getling A. V., *Rayleigh-Bénard Convection: Structures and Dynamics*, World Scientific, 1998
- [4] Patton L., *Hermann von Helmholtz*, w: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, CSLI, Uniwersytet Stanforda, 2014