

Chemiluminescencja luminolu w rozpuszczalniku organicznym

Marek Ples

Chemiczna latarka

Chemiluminescencja to fascynujące zjawisko, w którym pewne substancje emitują światło w wyniku reakcji chemicznych. W przeciwieństwie do fluorescencji i fosforescencji, gdzie światło jest emitowane w wyniku absorpcji energii z zewnętrznego źródła (np. po oświetleniu światłem nadfioletowym), chemiluminescencja zachodzi bezpośrednio w wyniku reakcji chemicznych. Ten proces może mieć różnorodne mechanizmy, ale zazwyczaj obejmuje utlenianie związku chemicznego.

Zjawisko chemiluminescencji polega na tym, że niektóre związki chemiczne, zwane luminoforami (lub ściślej, chemiluminoforami), mogą emitować światło, gdy przechodzą z wyższego poziomu energetycznego na niższy. Proces ten często zachodzi w środowisku alkalicznym oraz w obecności utleniaczy. Wytwarzanie światła wiąże się z reorganizacją elektronów w cząsteczce, co prowadzi do emisji energii promienistej do środowiska.

Chemiluminescencja występuje naturalnie w wielu organizmach. Przykładem są tutaj choćby świetliki, czyli chrząszcze, do których należą m.in. gatunki występujące w Polsce: świetlik świętojański *Lampyrus noctiluca*, iskrzyk *Phausis splendidula* i świeciuch *Phosphaenus hemipterus* [1]. Te owady są znane ze swojej zdolności do emitowania światła w ciemności. Używają chemiluminescencji głównie do przyciągania partnerów. Ich zdolność do świecenia wynika z reakcji utleniania lucyferyny przy udziale enzymu lucyferazy. Innym przykładem mogą tu być także niektóre bakterie, szczególnie morskie, takie jak *Aliivibrio fischeri* (dawniej *Vibrio fischeri*), emitujące niebieskie światło, co jest związane z ciekawym zjawiskiem *quorum sensing*, które objawia się tym, że do silnej bioluminescencji dochodzi nie w przypadku pojedynczych bakterii, lecz dopiero kiedy gromadzą się one w większe skupiska – można więc powiedzieć, że bakterie w pewien sposób „rozpoznają się” wzajemnie [2].

Chemiluminescencja znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach techniki i nauki:

- Kryminalistyka – luminol jest powszechnie używany w badaniach kryminalistycznych do wykrywania krwi. Podczas utleniania katalizowanego hemoglobina, luminol emituje niebieskie światło, co umożliwia zlokalizowanie śladów krwi, nawet jeśli są one niewidoczne gołym okiem.
- Badania medyczne – chemiluminescencja jest wykorzystywana w testach diagnostycznych, takich jak te-

sty immunologiczne, gdzie emisja światła wskazuje na obecność określonych biomarkerów w próbce.

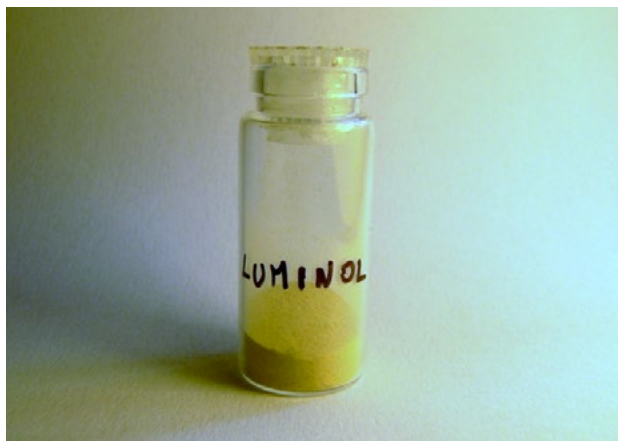
- Edukacja – w chemii edukacyjnej chemiluminescencja jest wykorzystywana do przeprowadzania pokazów naukowych, które ilustrują zasady reakcji chemicznych oraz zjawisk przemian energetycznych.

Jedną z najczęściej wykorzystywanych w edukacji substancji o właściwościach chemiluminescencyjnych jest wspomniany już powyżej luminol. Najczęściej reakcje z jego wykorzystaniem przeprowadza się w środowisku wodnym, niemniej jednak proces chemiluminescencji zachodzi dużo wydajniej w rozpuszczalnikach innych niż woda, o czym Czytelnik będzie mógł się przekonać przeprowadzając odpowiednie doświadczenie.

Potrzebne substancje

Do przeprowadzenia doświadczenia potrzebne są:

- Dimetylosulfotlenek C_2H_6OS (DMSO), bezbarwna ciecz o specyficznym mdłym zapachu, mogącym kojarzyć się z zapachem ryb. Ma zastosowanie w laboratoriach chemicznych oraz w medycynie, gdzie stosowany jest jako środek wspomagający penetrację innych substancji przez skórę. DMSO jest również znany z wysokiej zdolności do rozpuszczania substancji chemicznych, co czyni go idealnym rozpuszczalnikiem w wielu przypadkach.
- Wodorotlenek potasu KOH, silna zasada, która pełni rolę aktywatora reakcji chemiluminescencyjnej.
- Luminol $C_8H_7N_3O_2$, żółte krystaliczne ciało stałe (Fot. 1), które w reakcji z utleniaczami emituje charakterystyczne niebieskie (w wodzie) lub niebiesko-zielone (w innych rozpuszczalnikach) światło.

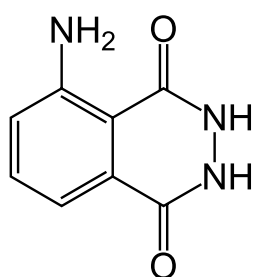


Fot. 1 – Luminol

Pamiętajmy, że w doświadczeniu wykorzystuje się wodorotlenek potasu, który jest silnie żrący. Luminol może być alergenem i jest podejrzewany o właściwości rakotwórcze. Należy unikać kontaktu z oczami i skórą, a także stosować odpowiednie środki ochrony osobistej.

Wodorotlenek potasu można zastąpić wodorotlenkiem sodu (NaOH), a dimetylosulfotlenek (DMSO) – dimetyloformamidem (DMF), choć efekt może być słabszy. Ważne jest, aby wszystkie substancje oraz naczynie były całkowicie suche, ponieważ nawet ślad wilgoci może uniemożliwić uzyskanie oczekiwanego efektu.

Luminol, czyli 3-aminohydryd kwasu ftalowego (Rys. 1) jest stosunkowo drogim odczynnikiem, ale do reakcji potrzeba go bardzo mało, co sprawia, że nawet pół



Rys.1 – Wzór strukturalny luminolu

grama wystarczy na wiele prób. Każdy kto ma w sobie nieco samozaparcia, może jednak dokonać tej syntezy samodzielnie. W jednym z poprzednich numerów Chemii w Szkole opisałem opracowaną przeze mnie kompleksową syntezę tej pożądanej substancji, w której materiałem wyjściowym były... odpady w postaci jednorazowych rękawiczek laboratoryjnych [3].

Doświadczenie

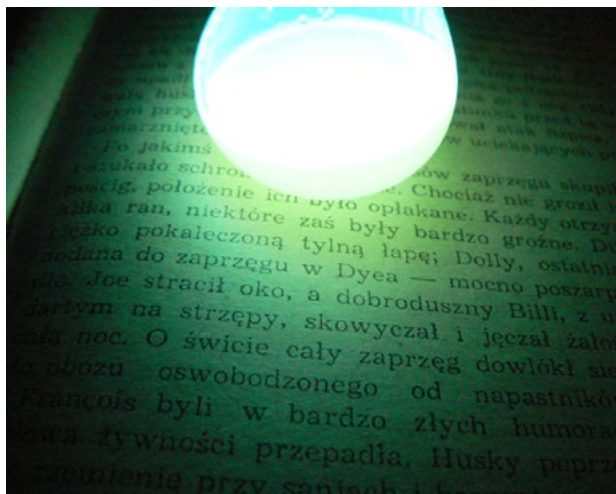
W kolbie umieszczamy 25 cm³ dimetylosulfotlenku (DMSO), 0,5 g wodorotlenku potasu (KOH) oraz niewielką ilość luminolu. Mieszkankę intensywnie wytrząsamy, a po kilkudziesięciu sekundach zaczyna ona emitować jasne światło (Fot. 2).

Barwa emitowanego światła jest niebiesko-zielona, a czas świecenia może wynosić nawet kilka godzin. Jasność światła pozwala na czytanie druku (Fot. 3).

Przyznam, że kiedy przeprowadza się tę reakcję w niewielkiej kolbce (szczególnie miarowej), to uzyskany efekt



Fot. 2 - Chemiluminescencja



Fot. 3 – Chemiczna latarka

może się łatwo skojarzyć z flakonikiem podarowanym przez Galadriellę Frodowi, a mającym zawierać światło gwiazdy Eärendila [4].

Wyjaśnienie

Świecenie roztworu wynika z utleniania luminolu w środowisku alkalicznym. Jeśli reakcję prowadzi się w środowisku zawierającym wodę, to działa ona jako inhibitor reakcji, dlatego potrzebny jest silny utleniacz, np. H₂O₂ lub KMnO₄ oraz odpowiednie katalizatory. Wydajność kwantowa chemiluminescencji w wodzie wynosi 0,001, co oznacza, że tylko jedna na tysiąc cząsteczek luminolu emituje światło, reszta energii rozprasza się jako ciepło. W rozpuszczalnikach organicznych, takich jak DMSO, wydajność tej reakcji jest znacznie wyższa, a dodatkowo może zachodzić nawet pod wpływem tlenu atmosferycznego, bez konieczności stosowania katalizatorów.

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

Wszystkie fotografie i rysunki zostały wykonane przez autora

Literatura:

- [1] [1] Ples M., *Iskrzyk - żywa latarnia*, Biologia w Szkole, 4 (2021), Forum Media Polska Sp. z o.o., str. 52-56
- [2] [2] Neelson K. H., Hastings J. W., *Bacterial bioluminescence: its control and ecological significance*, Microbiological Reviews, Vol. 43, No. 4, 1979, str. 496-518
- [3] [3] Ples M., *Pomocna dłoń chemii w rękawiczce - synteza luminolu z odpadów*, Chemia w Szkole, 5 (2023), Agencja AS Józef Szewczyk, str. 32-41
- [4] [4] Tolkien J.R.R., *Władca pierścieni - Dwie Wieże*, przeł. Maria Skibniewska, Muza SA, Warszawa, 2001