

[Akceptuję](#)

W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej [Polityce Prywatności](#)

[Portal](#) [Informacje](#) [Katalog firm](#) [Praca](#) [Szkolenia](#) [Wydarzenia](#) [Porównania międzylaboratoryjne](#)
[Kontakt](#)



[Laboratoria](#)
[.net](#)
[Innowacje](#)
[Nauka](#)
[Technologie](#)

[Logowanie](#) [Rejestracja](#) [pl](#)

Newsletter

zapisz się



[Strona główna](#) > [Start](#)

Sceny z życia cząsteczek chemicznych

Czy zastanawialiście się nad tym, co dzieje się w waszym organizmie, gdy oddychacie, jecie, poruszacie się? W każdej sekundzie miliardy cząsteczek uczestniczą w reakcjach chemicznych, łącząc się z innymi, rozpadając, zmieniając swoją strukturę i kształt. Nasze życie możliwe jest dzięki niezliczonym reakcjom, w których uczestniczą cząsteczki związków organicznych. Ale chęć zrozumienia molekularnych podstaw życia to tylko jeden z powodów, dla których dążymy do poznania mechanizmów rządzących reakcjami chemicznymi. Istnieje wiele innych, bardziej praktycznych przyczyn, jak choćby ta, że dokładna znajomość przebiegu pewnych reakcji umożliwiłaby wydajniejszą syntezę leków, tworzyw sztucznych i wielu innych związków, które ułatwiają nasze życie. Niezależnie od motywów, którymi można się kierować badając procesy chemiczne, ich poznawanie jest fascynującym zajęciem.

By zrozumieć tę fascynację, pobudźmy naszą wyobraźnię i przenieśmy się na chwilę do mikroświata, by ujrzeć taką oto scenę: w przestrzeni unoszą się dwie cząsteczki chemiczne składające się z kilkudziesięciu atomów, głównie węgla i wodoru, tworzących skomplikowany kształt przestrzenny. Każda z nich otoczona jest delikatną mgiełką – to elektrony z atomów zebrały się w chmury elektronowe, dzięki którym istnieją wiązania chemiczne. Cząsteczki zbliżają się do siebie, ich chmury elektronowe przenikają się i nagle coś zaczyna się dziać. Nieruchome dotychczas atomy

przemieszczają się, zmienia się struktura każdej cząsteczki, po chwili wydaje nam się, że tworzą one jedną bryłę o niewyraźnym kształcie. Wreszcie kłębowisko znów rozdziela się na dwa obiekty, lecz nie są to już te same cząsteczki, które obserwowaliśmy na początku. Drgania tworzących je atomów wciąż jeszcze zdradzają, że przed chwilą uczestniczyły w reakcji chemicznej. Jednak po pewnym czasie uspokoją się, przekazując do otoczenia nadmiar energii, zdobyty podczas reakcji i zgromadzony w oscylacjach szkieletu cząsteczki.

WZBUDZANIE CZĄSTECZEK

Niestety, nie ujrzymy takiego spektaklu na własne oczy, a strata to wielka, bo widowisko na długo zapadłoby w pamięć. Za to możemy, posługując się pośrednimi metodami, odtworzyć wszystkie jego sceny. Zanim opiszemy, jak w laboratoriach bada się przebieg reakcji chemicznych, spróbujmy uświadomić sobie czas, w jakim one zachodzą. A jest to czas niezmiernie krótki, bo mierzymy go w femtosekundach. Trudno ogarnąć myślą taką jednostkę wiedząc, że jedna femtosekunda to 10^{-15} sekundy. Z pewnością bardziej przemawia do wyobraźni fakt, że jedna femtosekunda ma się do jednej sekundy tak, jak 8 minut do wieku całego Wszechświata! Nie jest łatwo badać tak krótkie procesy. Niewiele narzędzi badawczych jest dostatecznie szybkich. Nie istnieją zegary odmierzające tak krótkie czasy, nie poradzi sobie z pomiarem femtosekund żadna elektronika. Istnieje jednak coś, co jest dostatecznie szybkie, by podglądać cząsteczki w ich ultraszybkim życiu. Światło! A mówiąc poprawniej - bardzo krótkie impulsy światła laserowego, zwane impulsami ultrakrótkimi. Do niedawna ich wytwarzanie i badanie samo w sobie było celem. Obecnie, gdy poznano je już dość dobrze, zostały zaprzęgnięte do pracy i są podstawowym narzędziem w nowej dziedzinie badań - femtochemii.

Podstawowa idea femtochemii jest bardzo prosta: badaną reakcję chemiczną musimy rozpocząć w dobrze określonym momencie, by po pewnym czasie wykonać „zdjęcie” cząsteczek w niej uczestniczących. Przeprowadzając wiele doświadczeń, w których zmieniamy opóźnienie pomiędzy „sygnałem startu” a momentem wykonania „zdjęcia”, możemy odtworzyć przebieg całej reakcji. Nietrudno domyślić się, że ultrakrótkie impulsy światła są tutaj zarówno „starterem” (tzw. impuls pompujący), jak i „migawką fotograficzną” (impuls próbkujący).

W dalszym ciągu skupimy się na badaniu wybranej klasy reakcji chemicznych: procesów zachodzących w cząsteczkach po wzbudzeniu ich światłem. Choć w reakcjach takich uczestniczy tylko jedna cząsteczka, to nie muszą być one uboższe niż te z udziałem większej liczby cząsteczek. Cząsteczki organiczne nie raz już zaskoczyły nas różnorodnością zjawisk, które mogą w nich wystąpić po pobudzeniu światłem. W doświadczeniu tego typu część fotonów tworzących impuls pompujący zostaje pochłonięta przez próbkę zawierającą badane cząsteczki. W wyniku pochłonięcia fotonów cząsteczki ulegają wzbudzeniu do wyższego stanu energetycznego i mogą podlegać najróżniejszym przemianom: mogą się wyginać w różne strony, fragmenty cząsteczki mogą zbliżać się lub oddalać, niektóre atomy mogą zmienić swoje położenie w cząsteczce, chmura elektronowa może zmienić swój kształt. Zmiany te obserwujemy dzięki temu, że wpływają one na sposób oddziaływania cząsteczek z drugim impulsem, próbkującym. Wzbudzona cząsteczka, gdy zostanie oświetlona światłem, może zachować się dwojako: pochłonąć kolejny foton, tym samym zwiększając stopień wzbudzenia, albo wyemitować foton identyczny jak ten, który na nią padł, pozbywając się wzbudzenia i wracając do stanu podstawowego. Prawdopodobieństwo zajścia tych procesów zależy od własności cząsteczki i barwy światła (a mówiąc językiem fizyki - od długości fali lub energii fotonów). Mierzac zmianę liczby fotonów o różnych energiach w impulsie próbkującym, wywołaną oddziaływaniem ze wzbudzonymi cząsteczkami, badamy pośrednio zachodzące w nich przemiany.

SZYBKOŚĆ DRGAŃ

Jakie zjawiska obserwujemy? Spójrzmy na rysunek 1, przedstawiający cząsteczkę związku oznaczanego skrótem BBQH. W stanie podstawowym atomy wodoru, otoczone kółeczkami, związane są z atomami tlenu (rys. 1a). W rezultacie doświadczeń stacjonarnych stwierdzono, że po zaabsorbowaniu fotonu jeden z atomów wodoru zostaje oderwany od atomu tlenu i związany z atomem azotu (rys. 1b). Eksperymenty te nie pozwoliły jednak stwierdzić, w jakim czasie atom wodoru zostaje przeniesiony ani jakie zmiany w cząsteczce temu procesowi towarzyszą. Natomiast w wyniku pomiarów femtosekundowych okazało się, że istotna zmiana impulsu próbującego zachodzi wtedy, gdy jest on opóźniony względem impulsu pompującego o ok. 110 fs. Ponadto widoczne są cykliczne zmiany tego impulsu zachodzące z okresem ok. 280 fs. Połączenie tych rezultatów z obliczeniami teoretycznymi, z których wynika, że drganie zginające cząsteczkę BBHQ w płaszczyźnie ma okres również bliski 280 fs, pozwoliło zaproponować następujący mechanizm przeniesienia atomu wodoru: pochłonięcie fotonu przez cząsteczkę wprawia ją w ruch drgający, w którym dwie części cząsteczki zbliżają się do siebie (rys. 1c). Po ok. 110 fs, czyli po czasie krótszym niż połowa okresu drgań, gdy atomy wodoru i azotu są blisko siebie, następuje oderwanie atomu wodoru od tlenu i przyłączenie go do azotu. Następnie fragmenty cząsteczki oddalają się od siebie, a cząsteczka wykonuje jeszcze kilkanaście drgań o coraz mniejszej amplitudzie. Mimo pełnej symetrii cząsteczki, tylko jeden atom wodoru zostaje przeniesiony!

Nie zawsze mamy do czynienia z tak jasną sytuacją, jak w cząsteczce BBHQ, gdzie wzbudzenie optyczne wywołuje tylko jeden typ drgań, znajdujących odzwierciedlenie w zmianach impulsu próbującego.

Na rysunku 2a widzimy cząsteczkę oznaczaną HNAN, w której również może zachodzić przeniesienie atomu wodoru od tlenu do azotu. Podobnie jak w BBHQ powinny temu towarzyszyć drgania cząsteczki, jednak w doświadczeniach przeprowadzonych w naszym laboratorium nie widzimy okresowych zmian w impulsie próbującym, spowodowanych przez te drgania. Może to oznaczać, że są one zbyt szybkie, by nasza aparatura je zarejestrowała, lub że nie wpływają na oddziaływanie cząsteczek ze światłem, bądź też, że nie ma ich wcale. Niezależnie od przyczyny jesteśmy w tym wypadku pozbawieni ważnej informacji, widzimy za to inne zmiany, świadczące o występowaniu w tej cząsteczce co najmniej czterech różnych procesów, których charakterystyczne czasy są krótsze niż 20 pikosekund (pikosekunda to 1000 femtosekund). Jest ich zdecydowanie zbyt wiele, by je od razu rozszyfrować, zwłaszcza że zmiany wywołane różnymi procesami nakładają się na siebie. Uciekliśmy się więc do pewnej sztuczki, polegającej na przeprowadzeniu badań cząsteczki bardzo podobnej do HNAN, ale takiej, w której atom wodoru już w stanie podstawowym jest połączony z azotem (rys. 2b). Zatem w tej cząsteczce - zwanej HNAQ - nie zachodzi najbardziej nas interesujący proces przeniesienia atomu wodoru. Sztuczka, jak się wydaje, przyniosła efekt: w cząsteczce HNAQ widzimy tylko trzy różne procesy, nie widzimy zaś najszybszego, który w cząsteczce HNAN zachodził w czasie krótszym niż 100 fs. To porównanie pozwoliło nam z dużym prawdopodobieństwem utożsamić najszybszy proces widziany w HNAN z przeniesieniem atomu wodoru oraz stwierdzić, że po nim występują w cząsteczce kolejne zmiany, znacznie wolniejsze, choć wciąż bardzo szybkie.

NA WŁASNE OCZY?

Badania zjawisk zachodzących w opisanych wyżej cząsteczkach mają potencjalnie duże znaczenie w biologii, bo wewnątrzcząsteczkowe wiązania z atomem wodoru, które ulegają w nich zrywaniu i tworzeniu pod wpływem światła, mają zasadnicze znaczenie w strukturze DNA.

Na zakończenie przyjrzyjmy się jeszcze bliżej układowi, w którym wykonuje się opisane doświadczenia, bo wykorzystywane są w nim zjawiska nie mniej interesujące niż te badane za jego pomocą. Jest to konsekwencja bardzo krótkiego czasu trwania impulsów laserowych. Choć niesiona

przez nie energia jest niewielka, mniejsza niż energia wyzwolona podczas upadku monety jednogroszowej z wysokości 10 cm, to – ze względu na to, że energia impulsu wyzwolona jest w niezwykle krótkim czasie kilkudziesięciu femtosekund – chwilowa moc impulsu osiąga gigawaty. To tyle, ile moc elektrowni atomowej! Światło o takiej mocy oddziałuje z materią inaczej niż światło, do którego jesteśmy przyzwyczajeni – po przejściu przez przezroczysty i bezbarwny ośrodek jego barwa (długość fali) może się zmienić. Wykorzystuje się ten efekt do przekształcenia impulsów wytwarzanych przez laser – czerwonych – w impulsy pompujące o dwukrotnie mniejszej długości fali, niezbędnej do wzbudzenia cząsteczek – niebieskie.

Jeszcze bardziej widowiskowy jest proces, w którym powstają impulsy próbkujące. Ponieważ wzbudzone cząsteczki mogą wprowadzać zmiany w impulsie próbkującym na różnych długościach fal, ważne jest, by impuls ten zawierał jak najwięcej różnych długości fal. Przy tak wielkich mocach, z jakimi mamy tu do czynienia, spełnienie tego warunku jest bardzo proste – wystarczy czerwone impulsy światła laserowego skierować na szklaną płytkę, a powstaną w niej impulsy światła białego, zawierające wszystkie długości fal z zakresu widzialnego.

Femtochemia jest więc wspaniałym przykładem tego, że badania podstawowe w jednej dziedzinie – optyce – mogą okazać się bezcenne z punktu widzenia zastosowań w zupełnie innej dziedzinie – chemii.

Badanie ultraszybkich reakcji chemicznych jest bardzo prężną nauką. Choć Nagroda Nobla została już przyznana – Ahmedowi Zewailowi w roku 1994 za prace w dziedzinie femtochemii prowadzone w latach 80. XX wieku – to wciąż opracowywane są nowe techniki doświadczalne, pozwalające badać coraz bardziej skomplikowane i coraz szybsze procesy. Miejmy nadzieję, że kiedyś osiągną one taki poziom, że o dowolnej reakcji chemicznej będziemy mogli mówić tak, jakbyśmy jej przebieg widzieli na własne oczy.

Rysunek 1



Rysunek 2



Piotr Fita, FA

Mgr Piotr Fita jest doktorantem na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<https://laboratoria.net/home/10838.html>

Informacje dnia: [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne](#) [AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne](#) [AGH uruchomiła laboratorium UE](#)

[Katowice i Śląski Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#) [Gwałtowne przerwanie gry komputerowej w złości to ważny sygnał](#) [Uniwersytet Wrocławski, PAP i Fundacja PAP podpisały umowę 10 polskich zespołów w zawodach Shell Eco-marathon Poland 2026](#) [Prawie 1,2 mld ludzi na świecie cierpi na zaburzenia psychiczne](#) [AGH uruchomiła laboratorium UE Katowice i Śląski](#) [Uniwersytet Medyczny uruchamiają nowe kierunki](#)

Partnerzy