



Warszawa, 15 stycznia 2014

## Dwuprotonowy bit sterowany jednym atomem miedzi

*Zaledwie jeden obcy atom w pobliżu cząsteczki może zmienić konfigurację przestrzenną jej atomów. W spektakularnym eksperymencie międzynarodowy zespół naukowców trwale zmienił położenie jąder atomów wodoru w cząsteczce porficenu, dosuwając do niej i odsuwając pojedynczy atom miedzi.*

Subatomowy bit, utworzony przez dwa protony tunelujące wewnątrz cząsteczki jednego z prostych związków organicznych, można przełączać dosuwając do niej lub odsuwając pojedynczy atom miedzi. Spektakularny eksperyment przeprowadził zespół naukowców z Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft (FHI) w Berlinie, University of Liverpool (UL) oraz Instytutu Chemii Fizycznej PAN (IChF PAN) w Warszawie. Doświadczenie opisano w publikacji zamieszczonej w jednym z najbardziej prestiżowych czasopism chemicznych: „Nature Chemistry”.

W swoich badaniach naukowcy wykorzystali specyficzne cechy cząsteczek porficenu. Porficen ( $C_{20}H_{14}N_4$ ) jest pochodną porfiry. Związki należące do tej grupy występują naturalnie w przyrodzie. Wykryto je m.in. w ludzkiej krwi, gdzie uczestniczą w reakcjach związanych z transportem tlenu. Ich cząsteczki mają postać płaskich pierścieni węglowych z atomami wodoru na zewnątrz i czterema atomami azotu wewnątrz, rozmieszczonymi w narożach czworoboku.

W centrum porficenu, w pustej przestrzeni otoczonej atomami azotu, znajdują się dwa protony (czyli jądra atomu wodoru), które mogą się przemieszczać między azotami. Ciekawy jest tu fakt, że oba protony zmieniają położenie zawsze razem. Prowadzone od kilkunastu lat badania zespołu prof. dr. hab. Jacka Waluka (IChF PAN) sugerują, że ruch protonów nie jest zwykłym przesunięciem w przestrzeni. Protony zmieniają położenie dzięki kwantowemu efektowi tunelowania: korzystając z zasady nieoznaczoności znikają w jednym miejscu i pojawiają się w drugim.

W berlińskim laboratorium FHI cząsteczki porficenu, dostarczone przez zespół prof. Waluka, zostały osadzone pojedynczo na powierzchni doskonałego kryształu miedzi. Zadanie nie było proste i wymagało opracowania odpowiednich technik – bez nich cząsteczki porficenu wykazywały tendencję do grupowania się (agregowania).

W kolejnym kroku przystąpiono do badań w warunkach wysokiej próżni i bardzo niskiej temperatury (5 K, czyli pięć stopni powyżej zera bezwzględnego). Pojedynczą cząsteczkę porficenu, leżącą na podłożu z miedzi, obserwowano za pomocą skaningowego mikroskopu

tunelowego. Przyrząd umożliwiał rejestrowanie zmian gęstości elektronowej cząsteczki, a więc pozwalał na detekcję zmian jej kształtu. Dzięki otrzymanym obrazom można było stwierdzić, w którym miejscu cząsteczki aktualnie znajdują się oba protony. Tym samym badacze byli w stanie obserwować ruch atomów wewnątrz cząsteczki w trakcie reakcji chemicznej.

„Z dużym zaskoczeniem stwierdziliśmy, że po osadzeniu na podłożu z miedzi jony wodoru w cząsteczce porfircenu ułożyły się w konfigurację, która dotychczas nigdy nie była obserwowana, mimo że związek ten jest badany od wielu, wielu lat. Zamiast w przeciwległych narożach czworoboku utworzonego przez atomy azotu, oba protony zajęły miejsca obok siebie. Zupełnie niespodziewanie wykryliśmy nowy tautomer porfircenu!”, komentuje prof. Waluk.

Za pomocą igły skaningowego mikroskopu tunelowego podczas kolejnych prób dosuwano do cząsteczki porfircenu pojedynczy atom miedzi, z różnych stron. Okazało się, że w zależności od położenia atomu miedzi, oba protony w porfircenie, przemieszczające się między atomami azotu, znajdowały się raz po jednej, a raz po drugiej stronie cząsteczki. Cząsteczka porfircenu działała więc jak dwustanowy przełącznik, sterowany za pomocą zaledwie jednego atomu miedzi. Do wywołania przejścia między stanami wystarczała zmiana położenia atomu miedzi o mniej niż dziesięciomiliardową część metra.

Badania zrealizowane przez zespół z FHI, UL i IChF PAN dowodzą, że najbliższe otoczenie cząsteczki może mieć istotny wpływ na jej własności fizyko-chemiczne. Otrzymane wyniki wskazują, że w pewnych sytuacjach otoczenie cząsteczek powinno być kontrolowane z precyzją sięgającą pojedynczych atomów. Jednocześnie zaobserwowana wrażliwość na zmiany w otoczeniu otwiera drogę do opracowania metod regulowania procesów zachodzących w pojedynczych cząsteczkach chemicznych.

„Wydaje się prawdopodobne, że zarejestrowana przez nas wrażliwość cząsteczki na jej najbliższe otoczenie jest zjawiskiem powszechnym w przyrodzie. Zjawisko to będzie można wykorzystać na przykład przy konstruowaniu nanomaszyn przetwarzających informację na poziomie pojedynczej cząsteczki”, podsumowuje prof. Waluk.

Materiał prasowy przygotowany dzięki grantowi NOBLESSE w ramach działania „Potencjał badawczy” 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej.

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (<http://www.ichf.edu.pl/>) został powołany w 1955 roku jako jeden z pierwszych instytutów chemicznych PAN. Profil naukowy Instytutu jest silnie powiązany z najnowszymi światowymi kierunkami rozwoju chemii fizycznej i fizyki chemicznej. Badania naukowe są prowadzone w 9 zakładach naukowych. Działający w ramach Instytutu Zakład Doświadczalny CHEMIPAN wdraża, produkuje i komercjalizuje specjalistyczne związki chemiczne do zastosowań m.in. w rolnictwie i farmacji. Instytut publikuje około 200 oryginalnych prac badawczych rocznie.

#### **KONTAKTY:**

prof. dr hab. **Jacek Waluk**  
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk  
tel. +48 22 3433332  
email: [jwaluk@ichf.edu.pl](mailto:jwaluk@ichf.edu.pl)

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<http://www.fhi-berlin.mpg.de/>  
Strona Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft.

<http://www.liv.ac.uk/>  
Strona University of Liverpool.

<http://www.ichf.edu.pl/>  
Strona Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk.

<http://www.ichf.edu.pl/press/>  
Serwis prasowy Instytutu Chemii Fizycznej PAN.

## **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

**ICHF140115b\_fot01s.jpg**

**HR:** [http://ichf.edu.pl/press/2014/01/ICHF140115b\\_fot01.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2014/01/ICHF140115b_fot01.jpg)

Do budowy subatomowego bitu użyto porficenu, związku od lat badanego w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Na zdjęciu doktorant Sylwester Gawinkowski przygotowuje próbkę porficenu do badań. (Źródło: IChF PAN, Grzegorz Krzyżewski)

**ICHF140115b\_fot02s.jpg**

**HR:** [http://ichf.edu.pl/press/2014/01/ICHF140115b\\_fot02.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2014/01/ICHF140115b_fot02.jpg)

Dwa protony (czerwony) w cząsteczce porficenu osadzonej na powierzchni idealnego kryształu miedzi (brązowy) zmieniają położenie przy atomach azotu (niebieski) w zależności od położenia pojedynczego atomu miedzi (żółty). (Źródło: L. Grill / University of Graz)