



Warszawa, 4 maja 2017

## **Powstał „chit”, czyli pierwszy chemiczny bit**

*W klasycznej informatyce informację zapisuje się w bitach, w informatyce kwantowej – w bitach kwantowych, czyli kubitach. Eksperymenty w Instytucie Chemii Fizycznej PAN w Warszawie udowadniają, że do przechowywania informacji nadaje się nie tylko fizyka, ale również chemia. Rolę chemicznego bitu – „chitu” – może pełnić prosty układ trzech stykających się kropeł, w których zachodzą reakcje oscylacyjne.*

Komputer, smartfon, cyfrowy aparat fotograficzny – żadne z tych urządzeń nie mogłoby działać bez układów pamięci. W typowych pamięciach elektronicznych zera i jedynki są zapisywane, przechowywane i odczytywane za pomocą zjawisk fizycznych, takich jak przepływ prądu czy zmiana właściwości elektrycznych bądź magnetycznych nośnika. Dr inż. Konrad Giżyński oraz prof. dr hab. Jerzy Górecki z Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (IChF PAN) w Warszawie zademonstrowali działającą pamięć innego typu, zbudowaną w oparciu o zjawiska chemiczne. Pojedynczy bit jest tu przechowywany w trzech stykających się ze sobą kroplach, między którymi stabilnie, cyklicznie i w ściśle określony sposób propagują się fronty reakcji chemicznych.

Chemicznym fundamentem pamięci skonstruowanej przez badaczy z IChF PAN są zachodzące w odpowiednio przygotowanych roztworach reakcje Bielousowa-Żabotyńskiego. Przebieg tych reakcji ma charakter oscylacji: gdy jeden cykl się kończy, w roztworze odtwarzają się reagenty niezbędne do rozpoczęcia kolejnego cyklu. Nim reakcja ustanie, zwykle dochodzi do kilkudziesięciu-kilkuset oscylacji. Towarzyszą im regularne zmiany koloru roztworu, za które odpowiada ferrowina, katalizator reakcji. Drugim katalizatorem używanym przez warszawskich naukowców był ruten. Wprowadzenie rutenu miało kluczowe znaczenie, ponieważ powoduje on, że reakcja Bielousowa-Żabotyńskiego staje się światłoczuła tj. przy intensywnym oświetleniu roztworu światłem niebieskim przestaje on oscylować. Cecha ta pozwala kontrolować przebieg reakcji.

„Nasz pomysł na chemiczne zapisywanie informacji był prosty. Z wcześniejszych doświadczeń wiedzieliśmy, że gdy krople z reakcjami Bielousowa-Żabotyńskiego się stykają, fronty chemiczne mogą propagować z kropli do kropli. Postanowiliśmy więc poszukać jak najmniejszych układów kropeł, w których wzbudzenia mogłyby zachodzić na kilka sposobów, przy czym przynajmniej dwa byłyby trwałe. Jednej sekwencji wzbudzeń moglibyśmy wtedy przyporządkować wartość logiczną 0, drugiej 1, a do przełączania układu między nimi, a więc do wymuszania określonej zmiany stanu pamięci, używać światła”, wyjaśnia prof. Górecki.

Doświadczenia przeprowadzano w naczyniu wypełnionym cienką warstwą roztworu lipidów w oleju (dekanie). Do tak przygotowanego układu za pomocą pipety wprowadzano niewielkie ilości roztworu oscylującego. Krople nanoszono w określone miejsca, nad końcówki światłowodów doprowadzonych pod spód naczynia. Aby krople nie ześlizgiwały się znad światłowodów, każdą unieruchomiono za pomocą kilku pręcików wystających z dna naczynia.

Poszukiwania rozpoczęto od badań układów dwóch kropeł. Mogą w nich zachodzić cztery rodzaje (mody) oscylacji: kropla nr 1 pobudza kroplę nr 2, kropla nr 2 pobudza kroplę nr 1, obie krople wzbudzają się jednocześnie, obie wzbudzają się naprzemiennie (tj. gdy jedna jest wzbudzona, druga dopiero powraca do stanu, w którym będzie mogła się ponownie wzbudzić).

„W układach dwóch kropeł najczęściej jedna kropla wzbudzała drugą. Niestety, zawsze stabilny był tylko jeden mod tego rodzaju, a my potrzebowaliśmy dwóch”, mówi dr Giżyński i tłumaczy: „Obie krople powstają z tego samego roztworu, ale nigdy nie mają dokładnie tych samych rozmiarów. W efekcie w każdej kropli chemiczne oscylacje zachodzą w nieco innym tempie. W takich przypadkach kropla oscylująca wolniej zaczyna dopasowywać swój rytm do szybszej 'koleżanki'. Jeśli nawet udawało się wymusić światłem, żeby kropla oscylująca wolniej pobudzała kroplę oscylującą szybciej, układ i tak wracał do modu, w którym szybsza kropla wzbudza wolniejszą”.

Naukowcy z IChF PAN zajęli się więc trójkami stykających się kropeł, rozmieszczonych na planie trójkąta (każda kropla stykała się zatem z dwiema sąsiednimi). Fronty chemiczne mogą tu się propagować na wiele sposobów: krople mogą oscylować jednocześnie, w przeciwfazach, dwie krople mogą oscylować jednocześnie i wymuszać oscylacje w trzeciej itp. Badacze najbardziej ciekawili mody rotacyjne, gdy fronty chemiczne przechodziły z kropli do kropli w sekwencji 1-2-3 lub w odwrotnym kierunku (czyli 3-2-1).

Kropla, w której zachodzi reakcja Bielousowa-Żabotyńskiego, wzbudza się szybko, lecz znacznie dłużej powraca do stanu początkowego i dopiero gdy go osiągnie można ją wzbudzić ponownie. Gdyby więc w modzie 1-2-3 wzbudzenie doszło do kropli nr 3 zbyt szybko, nie przedostałoby się do kropli nr 1 by zainicjować nowy cykl, ta bowiem nie zdążyłaby „odpocząć”. W rezultacie mod rotacyjny by zanikł. Badacze z IChF PAN skoncentrowali się na modach rotacyjnych zdolnych do wielokrotnego powtórzenia cyklu wzbudzeń. Miały one dodatkową zaletę: krążące między kroplami fronty chemiczne przypominają falę spiralną, a fale tego typu cechują się zwiększoną stabilnością.

Eksperymenty wykazały, że oba badane mody rotacyjne są trwałe i jeśli układ wejdzie w jeden z nich, pozostaje w nim aż do ustania reakcji Bielousowa-Żabotyńskiego. Potwierdzono też, że właściwie dobierając czas i długość oświetlenia odpowiednich kropeł można zmieniać kierunek rotacji wzbudzeń. Układ trzech kropeł, wielokrotnie obieganych przez fronty chemiczne, był więc zdolny do trwałego przechowywania jednego z dwóch stanów logicznych.

„Tak naprawdę nasz chemiczny bit ma nieco większe możliwości niż bit klasyczny. Mody rotacyjne, których używaliśmy do zapisu stanów 0 i 1, miały najkrótsze czasy oscylacji, równe odpowiednio 18,7 s i 19,5 s. Jeśli więc układ oscylował jakkolwiek wolniej, można było mówić o dodatkowym, trzecim stanie logicznym”, komentuje dr Giżyński i zauważa, że ów trzeci stan mógłby być stosowany nie do przechowywania informacji, a na przykład do weryfikowania poprawności zapisu.

Badania nad pamięcią zbudowaną z oscylujących kropeł, sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki, miały charakter podstawowy i służyły wyłącznie zademonstrowaniu, że trwałe przechowywanie informacji za pomocą reakcji chemicznych jest możliwe. W nowo powstałej pamięci reakcje odpowiadały jedynie za utrzymanie informacji, podczas gdy jej zapis i odczyt nadal wymagały metod fizycznych. Nim zostanie skonstruowana w pełni chemiczna pamięć, która mogłaby się stać częścią przyszłego chemicznego komputera, najprawdopodobniej upłynie jeszcze wiele lat.

Informacja prasowa zrealizowana ze środków europejskiego grantu ERA Chairs w ramach programu Horizon 2020.

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 dziewięciu 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.

#### **KONTAKT:**

dr inż. **Konrad Giżyński**  
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie  
tel.: +48 22 3433191  
email: [kgizynski@ichf.edu.pl](mailto:kgizynski@ichf.edu.pl)

prof. dr hab. **Jerzy Górecki**  
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie  
tel.: +48 22 3433420  
email: [jgorecki@ichf.edu.pl](mailto:jgorecki@ichf.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

1. „Chemical memory with states coded in light controlled oscillations of interacting Belousov–Zhabotinsky droplets”  
K. Giżyński, J. Górecki  
Physical Chemistry Chemical Physics, 2017, 19, 6519–6531  
DOI: 10.1039/c6cp07492h

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

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

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

<http://www.ichfdlafirm.pl/>  
Oferta Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk skierowana do przedsiębiorców i przemysłu.

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

**ICHf170504b\_fot01s.jpg** HR: [http://ichf.edu.pl/press/2017/05/ICHf170504b\\_fot01.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2017/05/ICHf170504b_fot01.jpg)  
Prosty układ trzech kropeł, między którymi krążą fronty chemiczne, może pełnić rolę chemicznego bitu, wykazali badacze z Instytutu Chemii Fizycznej PAN w Warszawie. (Źródło: IChF PAN, Grzegorz Krzyżewski)

**ICHf170504b\_fot02s.jpg** HR: [http://ichf.edu.pl/press/2017/05/ICHf170504b\\_fot02.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2017/05/ICHf170504b_fot02.jpg)  
Kierunek rotacji frontów chemicznych propagujących się między trzema stykającymi się kroplami pozwala zapisać informację. Zmiana kierunku rotacji następuje za pomocą światła (żółta biała). (Źródło: IChF PAN, Grzegorz Krzyżewski, MAYER BILLIARDS – bilard.com.pl)