

Warszawa, 20 lipca 2017

Półpłynne łańcuchy wyciągane z morza mikrocząstek

Z cieczy zawierającej mikrocząstki można za pomocą elektrody wyciągać zaskakująco długie łańcuchy drobin. Co szczególnie ciekawe, ogniwa tych łańcuchów są ze sobą spojone przez otaczającą je cienką warstwę cieczy. Spektakularne zjawisko, odkryte przy udziale polskich naukowców i opisane w znanym czasopiśmie „Nature Communications”, może znaleźć liczne zastosowania.

Elektroda powoli odsuwa się od powierzchni cieczy. Za nią, jedna po drugiej, wyciągane są kolejne kuliste drobin, jeszcze przed chwilą rozmieszczone chaotycznie w koloidalnym roztworze. Nad cieczą samoczynnie formuje się długi, regularny łańcuszek mikrocząstek – zjawisko nigdy wcześniej nie obserwowane. Po raz pierwszy zauważyli je, zbadali i opisali naukowcy z Instytutu Chemii Fizycznej PAN, Wydziału Fizyki Uniwersytetu Adama Mickiewicza (UAM), Northwestern University w Evanston (Illinois, USA) oraz Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

„Zapewne każdy miał okazję widzieć u mamy czy babci naszyjniki z koralu nawleczonych na nić. Łańcuchy mikrocząstek, wytwarzane i badane przez nasz zespół, są do nich z wyglądu bardzo podobne, lecz mają znacznie mniejsze rozmiary. Najciekawsza jest jednak działająca tu fizyka. Za powstawanie tych regularnych struktur odpowiada zespół wcale nietrywialnych zjawisk, a rolę nici łączącej poszczególne drobin pełni... ciecz. Co więcej, nić w naszyjniku przechodzi przez środki koralików, podczas gdy nasza nić, czyli ciecz, mikrocząstki otacza”, mówi dr Filip Dutka (FUW).

„Samo odkrycie zjawiska – do czego doszło w trakcie doświadczeń prowadzonych w Instytucie Chemii Fizycznej PAN – było dość przypadkowe”, wspomina dr Zbigniew Rozynek, główny autor publikacji w czasopiśmie „Nature Communications”, obecnie pracujący na Wydziale Fizyki UAM. „Za pomocą elektrody pod napięciem kilkuset woltów badałem szklane mikrobańki pływające na powierzchni oleju. W pewnej chwili wyciągnąłem elektrodę z cieczy i ze zdziwieniem zauważyłem na jej końcu długi, bardzo regularny łańcuszek, który po obejrzeniu pod mikroskopem okazał się mieć grubość pojedynczej drobin”.

Odkryte zjawisko wizualnie przypomina jeden z najważniejszych procesów technologicznych współczesnej cywilizacji: opracowaną przez prof. Jana Czochralskiego metodę hodowli monokryształów, polegającą na wolnym wyciąganiu pręta z zarodkiem krystalizacji z roztopionego materiału. Metoda, pozwalająca wytwarzać wysokiej jakości półprzewodniki dla przemysłu elektronicznego, podobno także narodziła się przypadkiem. Prof. Czochralski w trakcie robienia notatek miał w roztargnieniu zanurzyć stalówkę swego pióra zamiast w kałamarzu, w stojącym obok tygielku ze stygnącą cyną. Gdy szarpnął ręką by wyciągnąć pióro, na końcu stalówki uformowała się nić, która po zbadaniu okazała się kryształem.

„Materiały produkowane metodą Czochralskiego to kryształy, czyli substancje o budowie regularnej w każdym z trzech wymiarów przestrzennych. My wytwarzamy nasze struktury nie z atomów czy cząsteczek, lecz z mikrodrobin ułożonych regularnie tylko w jednym wymiarze. Z pewną dozą umowności nasze łańcuchy można więc traktować jako kryształy, tyle że jednowymiarowe”, mówi dr Rozynek.

Jak zbudować koloidalny łańcuch? Wystarczy wziąć naczynie z nieprzewodzącą cieczą, dodać kuliste i przewodzące drobin, całość wymieszać. Gdy do tak przygotowanej zawiesiny zbliżymy elektrodę (np. w kształcie igły), jej koniec przyciągnie którąś kulkę. Ponieważ ta przewodzi prąd, staje się przedłużeniem elektrody. Przy odpowiednio dobranej wartości napięcia możliwe staje się wyciąganie z cieczy kulki za kulką, co skutkuje uformowaniem się łańcuszka drobin otoczonych warstewką cieczy. Między każdą parą „ogniw” ciecz tworzy mostek kapilarny, przyciągający sąsiednie drobin do siebie. Powstają wtedy stałe w czasie styki elektryczne. Dzięki nim prąd płynie przez cały łańcuch niemal równie wydajnie jak przez pojedynczą drobinę i w efekcie ostatnio dołączona kulka jest w stanie przyciągnąć kolejną z roztworu.

„W uformowanym łańcuchu mostki kapilarne, kształtem przypominające klepsydrę, znajdują się między wszystkimi kolejnymi kulkami. Po wyłączeniu napięcia ich rola staje się wręcz kluczowa: przyciągając kulki do siebie, odpowiadają za utrzymanie łańcucha w całości. A ponieważ mostki kapilarne to po prostu ciecz, uformowany łańcuch pozostaje konstrukcją bardzo giętką”, wyjaśnia dr Dutka.

Łańcuchy mikrocząstek powstają w wyniku złożonej gry oddziaływań o charakterze elektrycznym, grawitacyjnym i kapilarnym (a więc związanych z istnieniem napięcia powierzchniowego cieczy). W tym towarzystwie grawitacja pełni rolę czarnego charakteru: nożyczek przecinających zbyt ciężki łańcuch. Wiele wskazuje, że łańcuchy mogłyby się tworzyć także w stanie nieważkości, gdzie ich długość mogłaby być praktycznie dowolna.

„Po uformowaniu nasze konstrukcje z mikrodrobin zachowują się właśnie jak łańcuchy: są elastyczne i można je wyginać w różne kształty. Sporo zależy jednak od rodzaju użytych cieczy. W niektórych eksperymentach wyciągaliśmy łańcuchy z roztopionej parafiny. Chwilę po wyciągnięciu mostki zastygały i całość sztywniała. Możliwy jest też wariant pośredni. Jeśli weźmiemy np. mieszaninę żywicy z alkoholem, po odparowaniu alkoholu żywica zgęstnieje. Łańcuch straci wtedy sporo na elastyczności, jednak nie będzie całkowicie sztywny”, zauważa dr Rozynek.

Długość łańcuchów koloidalnych zależy od liczby i ciężaru mikrocząstek, co zazwyczaj ma ścisły związek z rozmiarami tych ostatnich. Polscy badacze, finansowani z grantów Narodowego Centrum Nauki i Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, przeprowadzili eksperymenty dla cząstek o średnicach od ok. 100 nanometrów do 200 mikrometrów. Łańcuchy wytworzone z mikronowych cząstek liczyły nawet kilka tysięcy elementów i osiągały długość rzędu kilkunastu centymetrów.

Choć odkrycie jest świeże, wydaje się, że atrakcyjne właściwości koloidalnych i ziarnistych łańcuchów zostaną szybko wykorzystane. Już teraz trwają prace nad użyciem zjawiska do produkcji cienkich, przewodzących struktur osadzanych na podłożach o różnej chropowatości i właściwościach. Struktury te mogłyby być elementami np. elastycznych układów elektronicznych. Potencjalnie łańcuchy można byłoby tworzyć także z żywych komórek, co otwierałoby drogę do ewentualnych zastosowań biotechnologicznych czy nawet medycznych.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Formation of printable granular and colloidal chains through capillary effects and dielectrophoresis”
Z. Rozynek, M. Han, F. Dutka, P. Garstecki, A. Józefczak, E. Luijten
Nature Communications 8:15255
DOI: 10.1038/ncomms15255

KONTAKT:

dr **Filip Dutka**
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel.: +48 22 5532908
email: fdutka@fuw.edu.pl

dr **Zbigniew Rozynek**
Wydział Fizyki Uniwersytetu Adama Mickiewicza
tel.: +48 61 8295134
email: zbiroz@amu.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW170720b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170720b_fot01.jpg
Łańcuch mikrocząstek wyciągnięty z cieczy za pomocą elektrody. (Źródło: IChF PAN)

FUW170720b_fot02s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170720b_fot02.jpg
Łańcuch koloidalny pod mikroskopem, powiększenie 617 razy. Wyraźnie widoczne mostki kapilarne między każdą parą mikrocząstek. Kolory sztuczne. (Źródło: UAM)

MATERIAŁY FILMOWE:

FUW170720c_mov01.avi
<https://www.youtube.com/watch?v=SJzvu-Z6lgl>
http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170720c_mov01.avi
Formowanie się łańcucha koloidalnego, zbliżenie powierzchni. (Źródło: UAM)

FUW170720c_mov02.avi
https://www.youtube.com/watch?v=M8_u-NQBzPQ
http://www.fuw.edu.pl/press/images/2017/FUW170720c_mov02.avi
Łańcuch koloidalny wyciągany z warstwy mikrocząstek pływających przy powierzchni cieczy. (Źródło: IChF PAN)