



Kraków, 23 sierpnia 2018

Geneza kształtu: Nie ma magii w synchronizacji na odległość

W niektórych układach fizycznych nawet dość odległe od siebie elementy potrafią synchronizować swoje akcje. Zjawisko na pierwszy rzut oka wygląda dość tajemniczo. Na przykładzie sieci prostych elektronicznych oscylatorów połączonych w pierścień naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie wykazali jednak, że w rzeczywistości synchronizację na odległość można – przynajmniej w pewnych przypadkach – bardzo dobrze wytłumaczyć.

Do najbardziej fascynujących procesów fizycznych, chemicznych czy biologicznych z dużym prawdopodobieństwem należą te, w których „coś” powstaje z „niczego”. Dlaczego w pozornie jednorodnej warstwie cieczy nagle pojawiają się rozchodzące się koncentryczne kręgi, jak w przypadku reakcji Biełousowa-Żabotyńskiego? Dlaczego stułbia może mieć wiele ramion, zawsze rozmieszczonych tak regularnie? Co powoduje, że w sieci kilkunastu połączonych w pierścień prostych oscylatorów elektronicznych niektóre odległe elementy nagle zaczynają działać w tym samym rytmie? U podstaw podobnych procesów leżą uniwersalne, lecz wciąż słabo poznane mechanizmy synchronizacji aktywności elementów składowych układu. Niuanse jednego z takich mechanizmów zostały właśnie wyjaśnione przez naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie we współpracy z fizykami z włoskich uniwersytetów w Palermo i Katanii.

Synchronizacja prowadząca do wyłonienia się kształtów (czyli odmiany morfogenezy) może się przejawiać w układach o różnej naturze, a za jej występowanie mogą być odpowiedzialne różne mechanizmy. Metaforycznie zjawisko można zobrazować za pomocą tego, co się dzieje w dość jednorodnym gronie początkowo nieznanym sobie uczestników dużego przyjęcia. W krótkim czasie uformują się tu dobrze widoczne grupki zainteresowań, w ramach których ludzie będą spędzali większość czasu na rozmowach między sobą. Tego typu zjawisko, będące rezultatem specyficznych cech pewnych elementów bądź powstające wskutek przypadkowych zdarzeń, jest określane mianem synchronizacji grupowej lub klastrowej. Występuje ono w wielu układach fizycznych, a przykładem może być choćby synchronizacja neuronów w ludzkim mózgu.

„W naszych najnowszych badaniach zajmowaliśmy się nieco podobnym rodzajem synchronizacji: synchronizacją na odległość. Mówimy o niej wtedy, gdy swoje akcje synchronizują elementy lub grupy elementów, które nie znajdują się w bezpośrednim kontakcie ze sobą. Co ciekawe, synchronizacja na odległość zachodzi w taki sposób, że nie wpływa na zachowanie elementów pośredniczących w przekazie informacji. Przypomina to sytuację, gdy dwóch ludzi wymienia

między sobą informacje za pośrednictwem kuriera, przy czym kurier nie tylko nie potrafi odczytać treści komunikatów, ale nierzadko jest wręcz całkowicie nieświadomy istnienia ukrytego przekazu”, tłumaczy dr hab. Ludovico Minati (IFJ PAN), główny autor publikacji w znanym czasopiśmie naukowym „Chaos”.

Synchronizację na odległość obserwuje się między neuronami w odległych od siebie obszarach mózgu, między zjawiskami pogodowymi zachodzącymi nad różnymi kontynentami, a nawet między elementami obwodów elektronicznych. W 2015 roku dr Minati, wówczas na University of Trento, opisał taką synchronizację w sieciach zbudowanych z zaledwie kilkunastu prostych oscylatorów elektronicznych połączonych szeregowo w pierścień. Zauważono wtedy, że poszczególne oscylatory próbowały się synchronizować nie tylko z najbliższymi sąsiadami w pierścieniu, ale także z niektórymi bardziej odległymi, a jednocześnie pozostawały w mniejszym stopniu zdesynchronizowane z pozostałymi.

„Obserwowaliśmy ten efekt z prawdziwym zafascynowaniem, ponieważ pojawił się w urządzeniu znacznie mniejszym niż mózg, a nade wszystko radykalnie od niego prostszym. Zjawisko zostało dokładnie opisane, nie byliśmy jednak w stanie w pełni zrozumieć jego natury. Zadowolające wyjaśnienie przedstawiliśmy dopiero w naszej najnowszej publikacji”, mówi dr Minati.

Naukowcy z IFJ PAN badali pierścienie oscylatorów eksperymentalnie oraz za pomocą symulacji komputerowych. Przełomowe okazało się spostrzeżenie, że informacja musi się propagować w pierścieniach nie za pomocą jednej, lecz aż trzech częstotliwości (pod tym względem zjawisko przypomina stosowaną w radiotechnice modulację amplitud). Każdy oscylator nie tylko generował własny sygnał o chaotycznej naturze, ale także reagował na sygnały pochodzące z pobliskich oscylatorów, a przenoszone w pozostałych dwóch pasmach. W zależności od swojej fazy w danym oscylatorze, sygnały te wzmacniały się lub osłabiały w sposób przypominający interferencję. Badacze obserwowali wtedy wzorce przypominające doskonale znane z optyki prążki dyfrakcyjne. Między oscylatorami, w których dochodziło do interferencyjnego wzmocnienia lub wygaszenia, pojawiały się efekty typowe dla synchronizacji na odległość.

W celu lepszego zrozumienia natury obserwowanej synchronizacji, krakowscy fizycy poddawali pierścienie oscylatorów dodatkowym testom. Badano wrażliwość synchronizacji na szum o dużej intensywności wprowadzany w różne miejsca układów, symulowano różną liczbę oscylatorów w pierścieniu oraz efekty pojawiające się przy jego otwarciu. Analiza wyników pozwoliła ustalić, że w badanych pierścieniach oscylatorów synchronizacja na odległość jest nie tyle cechą charakterystyczną dla całego układu, ile wynikiem lokalnych oddziaływań poszczególnych oscylatorów z ich otoczeniem. Przy okazji sprawdzono także, czy synchronizacja na odległość mogłaby służyć do przenoszenia sygnału wprowadzanego do układu z zewnątrz. Wynik był jednak negatywny.

„Zrozumienie mechanizmów związanych z występowaniem złożonych współzależności między elementami w układach o różnej naturze jest wielkim wyzwaniem w naukach o zjawiskach nieliniowych. My dobrze poznaliśmy tylko pewną klasę mechanizmów odpowiedzialnych za niektóre rodzaje synchronizacji na odległość. Pełniejsza wiedza o podobnych procesach miałaby ogromne znaczenie teoretyczne i praktyczne. Kto wie, może potrafilibyśmy przewidywać na przykład kolektywne zachowania różnych sieci społecznych czy nawet rynków finansowych?”, podsumowuje prof. dr hab. Stanisław Drożdż (IFJ PAN, Politechnika Krakowska).

Osoby zainteresowane prowadzeniem własnych badań nad synchronizującymi się oscylatorami elektronicznymi mogą z poniższego adresu pobrać materiały uzupełniające, w tym schematy układów eksperymentalnych: <ftp://ftp.aip.org/epaps/chaos/E-CHAOEH-27-012707>.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 500 artykułach publikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego

Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr hab. **Ludovico Minati**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628241
email: ludovico.minati@ifj.edu.pl

prof. dr hab. **Stanisław Drożdż**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel: +48 12 6628220
email: stanislaw.drozdz@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Apparent remote synchronization of amplitudes: A demodulation and interference effect”
L. Minati, L. Faes, M. Frasca, P. Oświęcimka, S. Drożdż
Chaos 28, 063124 (2018)
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5026980>
2. „Remote synchronization of amplitudes across an experimental ring of non-linear oscillators”
L. Minati
Chaos 25, 123107 (2015)
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4936791>

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ180823b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2018/08/23/IFJ180823b_fot01.jpg

Synchronizacja na odległość w sieci prostych oscylatorów elektronicznych połączonych w pierścień. Za efekt jest odpowiedzialna periodyczna fluktuacja składowej o niskiej częstotliwości, prowadząca do wzorców przypominających prążki dyfrakcyjne. Fluktuacje poszczególnych oscylatorów przedstawiono za pomocą kolorów. (Źródło: IFJ PAN)