



Kraków, 10 czerwca 2026

Dyfuzja w ośrodku niejednorodnym – czyli jak preferencje wyborcze można opisać fizyką

Kropla barwnika wpuszczona do szklanki z wodą ulega zwykłej dyfuzji. Gdy jednak wprowadzimy ją na powierzchnię piany, barwnik rozptywa się inaczej – dyfuzja staje się anomalna. Przykładem może być wzorek na piance w filiżance cappuccino. Co ciekawe, z najnowszych badań wynika, że równania dyfuzji w środowisku niejednorodnym potrafią również opisywać zjawiska społeczne, na przykład wyniki wyborów bądź zachowania graczy giełdowych.

Ruch cząstek w złożonych ośrodkach – takich jak materiały porowate, żele czy piany – bardziej przypomina przypadkową wędrówkę przez nieregularny labirynt niż swobodny spacer w jednorodnej przestrzeni. Obecność lokalnych „pułapek” i jednocześnie wąskich przejść bądź rozgałęzień powoduje, że transport materii czy energii ulega istotnemu spowolnieniu lub przyspieszeniu. Tego typu odstępstwa od klasycznej dyfuzji określa się jako dyfuzję anomalną. Obserwuje się ją również w ośrodkach o strukturze niejednorodnej. Matematycznym opisem dyfuzji w takich układach zajęli się międzynarodowy zespół fizyków z Polski, Chorwacji, Macedonii i Węgier; stronę polską reprezentowali naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie.

O dyfuzji zazwyczaj mówimy wtedy, gdy pewne fizyczne byty (na przykład atomy, cząsteczki związków chemicznych, drobiny barwnika, ale też energia cieplna) wskutek przypadkowych interakcji z otoczeniem propagują się z obszaru o większej koncentracji do obszaru o koncentracji mniejszej. Modelowym przykładem zwykłej dyfuzji jest znany wszystkim przebieg rozptywania się kropli barwnika w szklance ze stojącą wodą.

„W najprostszych modelach przyjmuje się, że współczynnik dyfuzji – określający sposób propagowania się cząstki – jest taki sam w każdym punkcie przestrzeni. Mój zespół zajął się problemem dyfuzji w środowisku niejednorodnym, w którym współczynnik dyfuzji zmienia się w przestrzeni. Przykładem takiej sytuacji może być szklanka z mieszaniną cieczy o gęstości zmiennej w przestrzeni. Problem opisu dyfuzji w takim ośrodku sprowadza się do rozwiązania zmodyfikowanego równania dyfuzji”, wyjaśnia prof. dr hab. Katarzyna Górka (IFJ PAN), pierwsza autorka artykułu opublikowanego na łamach interdyscyplinarnego czasopisma „Chaos”.

Podobne zjawisko można dostrzec w przyrodzie w wielu miejscach, między innymi w sposobie przemieszczania się bakterii, w transporcie cząsteczek przez błony lipidowe komórek, w propagacji ciepła w materiałach niejednorodnych, w ruchach nośników ładunku w półprzewodnikach, a nawet w przekazywaniu informacji w tłumie ludzi, zachowaniach wyborców czy reakcjach rynków finansowych.

„Klasyczne równanie dyfuzji jest szeroko stosowane z uwagi na matematyczną łatwość, z jaką można wykorzystywać jego rozwiązania. Mimo dobrej zgodności z rzeczywistością, równanie to ma niefizyczną cechę: dyfundujące cząstki rozchodzą się natychmiastowo. W naszych badaniach zmodyfikowaliśmy podstawowe równania, tak aby otrzymać skończoną prędkość rozchodzenia się

częstek. Prowadzi to do równania hiperbolicznego, znanego jako równanie telegrafistów, a opisującego zjawiska zachodzące w liniach przesyłowych”, zaznacza prof. dr hab. Andrzej Horzela (IFJ PAN).

Rozwiązania otrzymane przez badaczy dla cząstek dyfundujących ze skończoną prędkością okazały się rozwiązaniami równania Cattaneo-Vernotte przypominającego równanie telegrafistów, ale spełniającego warunki fizyczne dostosowane do opisu dyfuzji. Analizowano je następnie dla przypadków, gdy współczynnik dyfuzji zmienia się w zależności od położenia (dla uproszczenia rachunków model był jednowymiarowy) i zaproponowano ich rozwiązania dla określonych modeli współczynnika dyfuzji.

Zespół naukowców zwrócił uwagę, że otrzymane równania, opisujące fizyczną dyfuzję anomalną w ośrodkach niejednorodnych, mają uderzająco podobną strukturę matematyczną do równania używanego przy modelowaniu zmian opinii publicznej. Analogia dotyczy tzw. modelu wyborcy z szumem, gdzie zakłada się, że wyborca na ogół przyjmuje za swoją opinię sąsiadów (czyli podąża za stadem), ale zdarzają się też wyborcy potrafiący spontanicznie zmienić zdanie (efekt ten pełni rolę szumu). Zaobserwowane podobieństwo pozwala przypuszczać, że mechanizmy dyfuzji anomalnej w niejednorodnych układach fizycznych oraz mechanizmy rozprzestrzeniania się opinii w strukturach społecznych przynajmniej w pewnych warunkach wydają się mieć podobną naturę.

Z przeprowadzonych analiz wynika ponadto, że charakter dyfuzji anomalnej w środowisku niejednorodnym mogą mieć również zachowania rynków finansowych wychodzących lub powracających do stanu równowagi w sytuacjach, gdy inwestorzy ukrywają swoje intencje.

Po stronie polskiej prace były finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki, Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej oraz Grantu Dyrektora IFJ PAN.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę 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 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMiB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W kategoryzacji MEiN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

prof. dr hab. **Katarzyna Górka**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628161
email: katarzyna.gorska@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„*Heterogeneous Cattaneo-Vernotte equation connection to the noisy voter model*”
K. Górka, A. Horzela, D. Jankov Maširević, T. Pietrzak, T. K. Pogány, T. Sandev
Chaos 36, 043108 (2026)
DOI: [10.1063/5.0325574](https://doi.org/10.1063/5.0325574)

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:

IFJ260610b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/06/10/IFJ260610b_fot01.jpg

Mleczny wzór na powierzchni spienionej kawy to smakowity przykład... dyfuzji anomalnej w ośrodku niejednorodnym. (Źródło: IFJ PAN)