



Kraków, 4 sierpnia 2022

W poszukiwaniu uniwersalnych praw dyfuzji z resetowaniem

Sposób, w jaki zwierzęta penetrują okolicę szukając pożywienia, wykazuje podobieństwa do ruchów drobin cieczy w kapilarach roślin czy cząsteczek gazu w pobliżu absorbującej je ściany. Wymienione zjawiska – i wiele innych w przyrodzie – można traktować jako procesy nazywane dyfuzją anomalną z resetowaniem. Z najnowszych badań wynika, że mają one właściwości o bardzo uniwersalnym charakterze.

Ludzkość poznaje świat od swoich najwcześniejszych chwil. Mimo tysiącleci chaotycznej eksploracji i stuleci coraz bardziej systematycznych badań, ubarwianych kolejnymi rewolucjami naukowymi, nadal nie w pełni zdajemy sobie sprawę z niuansów ogólnych praw opisujących nawet dość rozpowszechnione w przyrodzie zjawiska. Często wręcz nie zdajemy sobie sprawy, że w przebiegu pozornie różnych procesów występują regularności o bardzo uniwersalnym charakterze. W najnowszym artykule, opublikowanym na łamach czasopisma „Physical Review E”, międzynarodowy zespół naukowców z udziałem dr hab. Katarzyny Górskiej z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie opisał zachowanie układów, w których dochodzi do dyfuzji anomalnej z resetowaniem.

Dyfuzja jest zjawiskiem powszechnym. Jej mianem określamy chaotyczny ruch drobin kurzu w powietrzu czy propagowanie się cząsteczek jednego płynu w drugim, na przykład atramentu w wodzie. Stochastyczne ruchy drobin są wynikiem jej nieustających zderzeń z wieloma mniejszymi obiektami z jej otoczenia, takimi jak atomy czy cząsteczki. Gdy ruchy drobin są całkowicie przypadkowe, mówimy o ruchach Browna lub o dyfuzji normalnej. Jeśli jednak przypadkowość ruchów jest zaburzona (na przykład drobina co pewien czas przemieszcza się na dłuższym dystansie bez zakłóceń), mamy do czynienia z dyfuzją anomalną.

„Za groźnie brzmiącą 'dyfuzją anomalną z resetowaniem' kryją się zjawiska dobrze znane każdemu z nas”, zapewnia dr Górka i podaje przykład: „Gdy głodne zwierzę za pierwszym razem wychodzi ze swojej kryjówki i penetruje okolicę, porusza się po otoczeniu dość przypadkowo i zwykle nie odnosi sukcesu, wraca więc do kryjówki. W kolejnym dniu podejmuje kolejną próbę, działa podobnie, tyle że tym razem dysponuje już wiedzą zebraną we wcześniejszej próbie. Mamy więc do czynienia z jednej strony z dyfuzją, polegającą na mniej lub bardziej przypadkowych ruchach w otoczeniu, a z drugiej – z resetowaniem, czyli z powracaniem bohatera do punktu wyjścia”.

Jako przykłady procesów o charakterze dyfuzji anomalnej z resetowaniem można wymienić ruchy cząstek gazów i płynów absorbowanych przez ścianki naczynia czy wędrówki autonomicznych robotów czyszczących podłogi, kończące się powrotem do ładowarki. Zjawiska tego typu modeluje się za pomocą równań różniczkowo-całkowych, na ogół zakładając, że proces resetowania, czyli powrót śledzonej drobinie bądź urządzenia do punktu wyjścia, odbywa się natychmiast (a zatem nie jest opisany żadną ciągłą funkcją). Tyle że w rzeczywistym świecie powrót zawsze zajmuje nieco czasu. Założenie jest więc niefizyczne, niemniej znacząco upraszcza rachunki.

Niezły odpowiednik dyfuzji anomalnej z praktycznie natychmiastowym resetowaniem możemy znaleźć w... wywiadzie wojskowym. Zwiadowca opuszcza bazę i udaje się ku wskazanemu celowi.

Przez odsłonięte tereny przemieszcza się szybciej, za to gdy czuje się bezpiecznie, penetruje teren w swojej najbliższej okolicy i choć jego ruchy są dość przypadkowe, w dostatecznie długim przedziale czasu porusza się w ustalonym kierunku.

„Użyty przez nas mechanizm resetowania polega na tym, że każdy zwiadowca w końcu ginie, a baza natychmiast wypuszcza kolejnego. Co ważne, cały układ ma pewną pamięć, czyli zwiadowca pamięta wszystkie dotychczasowe kroki”, tak dr Górską tłumaczy istotę zastosowanego w artykule procesu resetowania.

Modele teoretyczne opisujące dyfuzję anomalną z resetowaniem zawierają część odpowiadającą za symulowanie stochastycznych ruchów w trakcie przemieszczania się cząstki oraz część realizującą protokół resetowania. Protokół ten opisuje żywotność cząstki i sposób jej powrotu do punktu wyjściowego. Trzyosobowy zespół naukowców, w którym oprócz dr Górskiej znajdowali się dr R. K. Singh z Bar-Ilan University w Izraelu i dr Trifce Sandev z Macedonian Academy of Sciences and Arts, analizował długoterminowe skutki subtelnej gry między zaburzeniami procesu odpowiedzialnego za ruchy cząstek a zaburzeniami mechanizmu resetowania. Badaczom udało się zaobserwować ciekawą zależność. Okazuje się, że układy z dyfuzją anomalną z resetowaniem mogą osiągnąć stan równowagi tylko wtedy, gdy występujące w nich fluktuacje w dostatecznie długim przedziale czasowym pozostaną niezmiennie.

„Wspomniany warunek można spełnić dwojako: albo poprzez redukcję stochastycznych ruchów cząstek, co jednak prowadzi do zwiększenia fluktuacji protokołu resetowania, albo odwrotnie, redukując fluktuacje protokołu resetowania, co z kolei zwiększy przypadkowość ruchów cząstek. Mamy tu więc subtelny grę między fluktuacjami w dwóch procesach”, mówi dr Górską.

Statystyczne zależności, przedstawione w prezentowanej publikacji, już teraz można próbować użyć do optymalizowania przebiegu procesów dyfuzyjnych w zastosowaniach przemysłowych bądź biologicznych oraz do udoskonalania strategii poszukiwań, na przykład przez domowe autonomiczne roboty sprzątające.

W przyszłych modelach badacze, po stronie polskiej finansowani ze środków Narodowego Centrum Nauki, zamierzają się skoncentrować m.in. na analizie wpływu dróg powrotnych dyfundujących cząstek, a więc na uwzględnieniu fizycznego charakteru procesu resetowania.

Institut 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 MNIŚW Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

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

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„General approach to stochastic resetting”
R. K. Singh, K. Górską, T. Sandev
Physical Review E 105, 064133 (2022)
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.105.064133>

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:

IFJ220804b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2022/08/04/IFJ220804b_fot01.jpg

Dyfuzja z resetowaniem jest zjawiskiem dość powszechnym, jednak dopiero teraz podano uniwersalne warunki, jakie muszą być spełnione dla osiągnięcia jej stanów równowagi. (Źródło: IFJ PAN)