

Nierównowagowa termodynamika anomalii dyfuzji

Fundamentem współczesnej cywilizacji była, jest i będzie transformacja ciepła w użyteczną pracę. Udoskonalenie silnika cieplnego umożliwił rozwój termodynamiki, fenomenologicznej teorii opracowanej w celu opisu monstualnych maszyn parowych epoki wiktoriańskiej. Ojcowie termodynamiki sformułowali jej podstawowe prawa rozważając makroskopowe układy w stanie równowagi termodynamicznej. Jednakże komórka biologiczna jest układem mikroskopowym, którego wnętrze jest wiskoelastycznym, zatłoczonym, heterogenicznym i silnie fluktuującym środowiskiem. Stale wymienia ze swoim otoczeniem materię i energię utrzymując przy tym nierównowagowy stan stacjonarny nazywany homeostazą. Jednym z kluczowych problemów współczesnej fizyki jest przeniesienie naszego zrozumienia silników makroskopowych do mikroskopowego świata komórki biologicznej.

Materia w skali mikroskopowej jest w ciągłym ruchu chaotycznym nazywanym dyfuzją spowodowaną fluktuacjami termicznymi otoczenia. Chociaż dyfuzja nie jest ukierunkowana to w komórkach biologicznych może być efektywną metodą transportu, zwłaszcza na niewielkich odległościach. W ostatnich latach mamy do czynienia z intensywnym rozwojem technik eksperymentalnych takich jak mikroskopia, które umożliwiają badanie dynamiki pojedynczych cząstek w komórkach ze znakomitą rozdzielczością czasową i przestrzenną. Śledząc aktywność molekuł w komórkach biologicznych rutynowo obserwuje się, że ich dyfuzja ma charakter anomalny.

Innym mechanizmem ruchu wewnątrzkomórkowego jest tzw. aktywny transport ukierunkowany, który wymaga konsumpcji energii. Odpowiadają za niego niewielkie białka nazywane motorami molekularnymi (np. kinezyne), które poruszają się po wewnątrzkomórkowych autostradach zwanych mikrotubulami. Motory molekularne są izotermalnymi silnikami, które pracują z dala od równowagi termodynamicznej, a mimo to ich sprawność dalece przekracza efektywność jakiegokolwiek maszyny, którą jesteśmy w stanie zbudować.

Fascynująca sprawność motorów molekularnych jest źródłem inspiracji głównego celu naukowego projektu, którym jest zastosowanie najnowszych narzędzi nierównowagowej termodynamiki i fizyki statystycznej celem odkrycia powiązania pomiędzy termodynamiką motorów molekularnych, a anomaliami dyfuzji występującymi w komórkach takimi jak anomalna dyfuzja czy Brownska lecz nie-Gaussowska dyfuzja. W projekcie chcemy spróbować odpowiedzieć na zasadnicze pytanie, które stanowi jedną z najważniejszych zagadek współczesnej fizyki statystycznej: jakie są termodynamiczne konsekwencje anomalii dyfuzji? Czy ich występowanie może być korzystne dla funkcjonowania komórki biologicznej?