

W dużym uproszczeniu komórkę biologiczną w naszym ciele można porównać do wielkiej aglomeracji miejskiej. Aby mogła sprawnie funkcjonować musi posiadać odpowiednią infrastrukturę: sieć dróg, komunikację miejską, zaopatrzenie w wodę i energię, służby porządkowe etc. Przykładowo, analogiem sieci dróg są tzw. mikrotubule, po których poruszają się motory molekularne. Odpowiadają one za transport substancji wewnątrz komórek z jednego miejsca do drugiego. Jego poprawne działanie stanowi fundament ich normalnego funkcjonowania i rozwoju. Niektóre wirusy, w tym HIV, wykorzystują go żeby dotrzeć z powierzchni komórek do ich centrum i tam dokonać zakażenia. Transport materiałów wewnątrz komórek jest również odpowiedzialny za regulowanie połączeń nerwowych w naszym organizmie. Zanik tej czynności prowadzi do wielu schorzeń objawiających się problemami z pamięcią, włączając w to chorobę Alzheimera. Motory molekularne pełnią także szereg innych bardzo istotnych funkcji, w tym umożliwiają komórkom ich podział. Ten proces ma kluczowe znaczenie w medycynie chorób nowotworowych. Komórki nowotworowe rozmnażają się poprzez podział w zawrotnym tempie. Bez funkcjonowania motorów molekularnych proces ich pomnażania mógłby zostać zahamowany. Na podstawie powyższych przykładów widać dlaczego zrozumienie transportu wewnątrzkomórkowego ma fundamentalne znaczenie.

Typowe rozmiary komórki naszego organizmu wahają się w granicach kilku mikrometrów, a więc mniej więcej sto razy mniej niż wynosi grubość ludzkiego włosa. Z tego powodu nie można naiwnie przenieść naszej codziennej intuicji i zrozumienia otaczającej nas rzeczywistości wprost do mikroświata komórki. Zamiast sił i gradientów pierwszorzędą rolę odgrywają w niej tarcie oraz fluktuacje, tzn. losowe zaburzenia. Dodatkowo tych ostatnich nie można tam w żaden sposób wyeliminować, a w świecie codziennym mają one niewielki wpływ na kształt otaczającej nas rzeczywistości. Mówiąc ogólnie i w uproszczeniu, istnieją dwa mechanizmy transportu wewnątrzkomórkowego: dyfuzja oraz transport ukierunkowany. Ten pierwszy polega na samorzutnym rozprzestrzenianiu się motoru w losowo wybranym kierunku, w taki sposób, że w sensie średnim jego położenie nie ulega zmianie. Jest jedną z konsekwencji immanentnie istniejących fluktuacji, chaotycznych zderzeń motoru z cząsteczkami podobnych rozmiarów otaczającego go środowiska wewnątrzkomórkowego. Kiedy tempo dyfuzyjnego rozprzestrzeniania się motoru mierzone za pomocą średniokwadratowego przemieszczenia jest proporcjonalne do czasu wówczas mówimy o normalnej dyfuzji. Jeżeli ten proces zachodzi wolniej (szybciej) to taki przypadek określa się mianem anomalnej dyfuzji, a konkretnie subdyfuzji (superdyfuzji). Ukierunkowany transport motoru wymaga konsumpcji energii najczęściej dostarczanej do niego w wyniku reakcji chemicznych zachodzących w komórce. Wówczas średnie położenie motoru zmienia się w czasie. Poprzez anomalny transport ukierunkowany rozumiemy zjawisko ujemnej ruchliwości polegające na poruszaniu się motoru w kierunku przeciwnym do przyłożonej do niego siły.

W celu głębszego zrozumienia funkcjonowania motorów molekularnych w projekcie chcemy badać mechanizmy powstawania i kontroli procesów ich anomalnej dyfuzji, anomalnego transportu oraz współistnienie tych ostatnich dwóch. Motory molekularne będziemy modelować w sposób uproszczony umożliwiający uchwycenie istoty obserwowanych zjawisk transportu, tzn. jako klasyczną cząstkę w kontakcie z otoczeniem w ustalonej temperaturze i poruszającą się pod działaniem sił zewnętrznych w jednowymiarowej strukturze periodycznej. Celem określenia mechanizmów powstawania anomalnych procesów transportu wewnątrzkomórkowego oraz metod ich kontroli będziemy analizowali charakterystyki cząstki takie jak między innymi średnia prędkość, współczynnik dyfuzji czy efektywność transportu wyrażona jako jego termodynamiczna sprawność. Powyższe własności będą interesować nas nie tylko po długim czasie ewolucji układu (w stanie stacjonarnym), ale również w jej trakcie. Będziemy badać pełną dynamikę i związane z nią efekty przejściowe. Tą ostatnią sformułujemy w języku równania Newtona z losową siłą modelującą wpływ fluktuacji otoczenia na cząstkę, czyli za pomocą tzw. równania Langevina. Otrzymane w sposób teoretyczny rezultaty będą podlegały doświadczalnej weryfikacji w syntetycznych układach fizycznych takich jak złącza Josephsona i ich układy (SQUID – nadprzewodzący interferometr kwantowy) oraz zimne atomy w sieciach optycznych.

Zaplanowane w projekcie badania pozwolą zmierzyć się z szeregiem fundamentalnych problemów z zakresu termodynamiki małych układów i nierównowagowej fizyki statystycznej. Co więcej, z pewnością przyczynią się do głębszego zrozumienia mechanizmów transportu w mikroskali, w tym również wewnątrzkomórkowego, który pełni decydującą rolę w funkcjonowaniu żywych organizmów.