

Popularnonaukowe streszczenie projektu *Nierównowagowe przejścia fazowe, synchronizacja i chaos w modelach termodynamicznie spójnych*

Przejścia fazowe to nagłe jakościowe zmiany zachowania układu fizycznego, które następują, gdy określony parametr (np. temperatura albo ciśnienie) przekracza pewną wartość progową. Przykładem z życia codziennego jest topnienie lodu i jego przemiana w wodę, gdy temperatura przekracza 0°C. Przejścia fazowe odgrywają istotną rolę w przyrodzie i znalazły wiele zastosowań. Z tego powodu poświęcono im liczne badania. W szczególności teoria fizyki statystycznej dostarczyła wyjaśnienia mechanizmu przejść fazowych. Pokazała ona, że przejścia fazowe są wynikiem oddziaływania wielu składników układu, np. atomów lub cząsteczek.

Dotychczasowe badania poświęcone były głównie przejściom fazowym zachodzącym w stanie równowagi termodynamicznej, to znaczy w sytuacji, gdy stan układu nie zmienia się w czasie i nie występują systematyczne przepływy prądów (np. prądu ciepła). W takim przypadku przejścia fazowe są określone wyłącznie przez parametry termodynamiczne, takie jak temperatura. Sytuacja komplikuje się, gdy układ jest odchylony od stanu równowagi termodynamicznej. Ma to miejsce, np. gdy układ oddziałuje z dwoma ośrodkami o różnej temperaturze, co prowadzi do przepływu ciepła z cieplejszego do chłodniejszego ośrodka. W takim przypadku przejścia fazowe są określone nie tylko przez temperatury ośrodków, ale również przez szczegóły dynamiki układu. Z jednej strony czyni to opis nierównowagowych przejść fazowych znacznie trudniejszym. Z drugiej strony pozwala to na obserwowanie nowych zjawisk fizycznych, które nie zachodzą w stanie równowagi termodynamicznej. Przykładowo w układzie mogą zachodzić oscylacje, nawet gdy jego parametry nie zmieniają się w czasie. Takie zjawiska odgrywają istotną rolę w regulacji rytmów biologicznych w organizmach żywych.

Niniejszy projekt zastosuje nowoczesne metody fizyki statystycznej do opisu przejść fazowych zachodzących poza stanem równowagi termodynamicznej. W szczególności będzie wykorzystywał teorię dużych odchyłeń (ang. *large deviation theory*), która opisuje prawdopodobieństwa rzadkich fluktuacji, tzn. odchyłeń od średniego zachowania. Takie fluktuacje odgrywają istotną rolę w nierównowagowych przejściach fazowych. Opis przejść fazowych będzie termodynamicznie spójny, tzn. modele teoretyczne użyte do ich opisu będą zgodne z prawami termodynamiki. Nie zawsze jest tak w przypadku modeli obecnie używanych w literaturze.

Pierwsza część projektu będzie związana z **synchronizacją**, czyli procesem, w którym różne oscylatory uzgadniają swoje częstotliwości i fazy. Przeanalizowany będzie sposób, w jaki przejścia fazowe między fazami o różnych stopniach synchronizacji przejawiają się w zmianach wielkości termodynamicznych. Poszukiwane będą również metody optymalizacji termodynamicznego kosztu synchronizacji poprzez zmianę szczegółów dynamiki układu, ale bez zmiany jego parametrów termodynamicznych. Druga część projektu uogólni metody teorii dużych odchyłeń do opisu **nierównowagowych przejść fazowych w układach kwantowych**. Takie przejścia fazowe są interesujące między innymi z uwagi na perspektywę zastosowań do precyzyjnych pomiarów. Opracowane metody będą użyte do opisu prawdopodobieństw rzadkich zdarzeń, które odgrywają kluczową rolę w przejściach fazowych, ale nie mogą być łatwo opisywane z użyciem obecnie dostępnych metod. Trzecia część projektu poświęcona będzie **związkom pomiędzy termodynamiką a chaosem**. Termin „chaos” odnosi się do sytuacji, gdy układ wykazuje bardzo złożoną dynamikę, silnie zależną od warunków początkowych. Zbadany zostanie wpływ fluktuacji na dynamikę układów chaotycznych i sposób przejawiania się chaosu w termodynamicznym zachowaniu układu. Jest to istotne dla zrozumienia układów wykazujących wzajemną zależność fluktuacji i chaosu, takich jak reakcje chemiczne czy układy kwantowe oddziałujące z otoczeniem.