

POPULARNONAUKOWY OPIS BADAŃ PROWADZONYCH W RAMACH ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Przemiany fazowe to fascynujące zjawiska polegające na przejściach układu z jednego reżimu lub stanu do innego o odmiennych właściwościach. Stany te, nazywane fazami, odpowiadają różnym formom organizacji wewnętrznej systemu i zazwyczaj oddzielone są ostrą granicą, której przekroczenie skutkuje makroskopową zmianą w zachowaniu układu. Topnienie lodu, parowanie wody, krystalizacja, utrata spontanicznego namagnesowania ogrzewanego żelaza, czy też całkowity zanik oporu elektrycznego oziębianej rtęci – to tylko garstka przykładów przemian fazowych, które to powszechnie występują w otaczającej nas rzeczywistości. Zjawiska te spotykane są jednak nie tylko w fizyce i chemii ale także można je zaobserwować w układach biologicznych, ekonomicznych, a nawet społecznych. To sprawia, że współczesna teoria przemian fazowych jest obecnie dziedziną wysoce interdyscyplinarną i stosuje się ją do analizy szerokiej gamy układów złożonych. Niestety, nie jest to teoria w pełni kompletna, szczególnie jeśli pomyślimy o procesach i zjawiskach nierównowagowych, a to one paradoksalnie dominują w otaczającym nas świecie. Wystarczy bowiem przepływ pewnej makroskopowej wielkości, takiej jak energia czy masa, aby układ znalazł się poza równowagą. Mimo swojej wyjątkowej powszechności, zjawiska nierównowagowe są słabo poznane i wykraczają daleko poza dobrze już ugruntowaną termodynamikę klasyczną, która to bazuje na idei równowagi. Taka sytuacja sprawia, że obecnie nasza wiedza na temat układów fizycznych opiera się na koncepcji, która to często nie jest spełniona w rzeczywistości. Dlatego też, badania prowadzone w ramach mojej rozprawy doktorskiej mają przybliżyć nas do lepszego zrozumienia zjawisk nierównowagowych i zgłębić różnice między równowagowymi a nierównowagowymi przemianami fazowymi.

Mimo tak ogromnej różnorodności przejść fazowych, zgodnie z obecną klasyfikacją opierającą się na zachowaniu parametru porządku, istnieją tylko dwa rodzaje przemian – ciągłe zwane często krytycznymi i nieciągłe. Szczególnie intrygujące są te pierwsze ze względu na wyłaniające się w punkcie krytycznym prawa potęgowe, a co za tym idzie zjawiska niezmiennicze względem skali. Wtedy to, według teorii równowagowej, charakter przemiany zależy przede wszystkim od wymiarowości przestrzeni i parametru porządku. Wszystkie inne cechy układu, takie jak jego mikroskopowa struktura, stają się w pewnym sensie nieistotne. Tą zdumiewającą własnością zjawisk krytycznych nazywamy uniwersalnością i to ona pozwala nam podzielić wszystkie przemiany fazowe na kilka klas tak, że w pobliżu punktu krytycznego modele w obrębie jednej grupy przejawiają to samo zachowanie makroskopowe mimo możliwych drastycznych różnic w swej budowie na poziomie mikroskopowym. Niestety, nierównowagowe przemiany fazowe są znacznie trudniejsze do sklasyfikowania i mogą posiadać dodatkowe stopnie swobody. Tu od razu nasuwa się pytanie jakie detale modeli nierównowagowych wpływają na ich uniwersalne właściwości i charakter przemian fazowych oraz jak bardzo uzasadnione jest stosowanie technik i metod równowagowych do systemów znajdujących się poza równowagą. W ramach prowadzonych badań postaram się przybliżyć nas do odpowiedzi na powyższe pytania.

Fundamentalną rolę w ościągnięciu tak ambitnego celu i zrozumieniu zjawisk nierównowagowych mogą odgrywać przystępne modele matematyczne, których prostota pozwala na uzyskanie analitycznych wyników. Podobne znaczenie miały one w przypadku rozwoju fizyki równowagowej, wystarczy tylko wspomnieć o jednym z najważniejszych i najczęściej rozważanych modeli fizyki statystycznej – modelu Isinga. Jest to model rozwiązywalny ściśle w dwóch wymiarach, który już niemal od wieku inspiruje badaczy i zdążył dostarczyć wielu informacji na temat równowagowych przemian fazowych. Dlatego też, w ramach pracy doktorskiej skupiam się na analizie dwóch prostych, nierównowagowych modeli spinowych typu Isinga, które wykazują bogate zachowanie związane z przemianami fazowymi i nie były jak dotąd analizowane pod względem zjawisk krytycznych. Dodatkowo do rozważanych systemów wprowadzane są dwa typy nieporządku odzwierciedlające różne skale czasowe i szybkości zmian układu, a które imitują fluktuacje i niejednorodności występujące w prawdziwym środowisku. Zrozumienie jak dany typ nieporządku wpływa na klasy uniwersalności i przemiany fazowe oraz ilościowe oszacowanie tego wpływu to kolejne zadanie stawiane w ramach mojej pracy doktorskiej. Ze względu na interdyscyplinarny charakter badań, wyniki powinny przyczynić się nie tylko do rozwoju nierównowagowej teorii przemian fazowych ale również mogą okazać się szczególnie wartościowe w socjologii i ekonomii obliczeniowej przy modelowaniu agentowym dynamiki opinii czy też procesów decyzyjnych konsumentów.