

Dynamiczne funkcje korelacji modeli całkownych: w równowadze i poza nią

OPIS POPULARNONAUKOWY

Świat jest złożony. Gdy próbujemy przewidzieć wyniki rynków finansowych lub wyniki wyborów, gdy próbujemy zrozumieć strukturę koloni mrówek, układu odpornościowego człowieka czy mechanizmy regulacji ekspresji genów, napotykamy skomplikowaną sieć połączeń, zależności i oddziaływań które prowadzą do złożonych zjawisk. Pojedyncza cząstka wody nie jest wilgotna, miliardy cząsteczek wody nabywają tą cechę. Pojedyncza mrówka nie jest zbyt inteligentnym insektem, kolonia mrówek tworzy społeczność zaskakująco efektywną w poszukiwaniu i zdobywaniu pożywienia. Złożoność często pojawia się gdy duża liczba obiektów, nawet względnie prostych, jest ze sobą powiązana siecią zależności. Na przykład, inwestorzy na rynkach finansowych próbują po prostu zmaksymalizować swoje przychody, rynek dostarcza im wiedzy o decyzjach innych graczy. Te dwa składniki wystarczają by mogło zaistnieć tak nieprzewidywalne zjawisko jak krach giełdowy.

Zjawiska złożone są trudne do zrozumienia, stanowią one wyzwanie dla naszego sposobu myślenia i dla matematyki, którą próbujemy wykorzystać do ich opisu. Fizyka jest dziedziną wiedzy, która może nam w tym pomóc. Współczesna fizyka często staje przed wyzwaniem zrozumienia układów z silnym oddziaływaniem pomiędzy cząsteczkami i często obserwujemy w takich układach zjawiska które są trudne do przewidzenia. Poczynając od materii kwarkowej do układów silnie skorelowanych elektronów i wysokotemperaturowych nadprzewodników, mamy do czynienia z fascynującymi nowymi zjawiskami takimi jak nadciekłość, nadprzewodnictwo, rozdzielanie spinu i ładunku, czy ułamkowy ładunek w kwantowym efekcie Halla. Są to przykłady zjawisk emergentnych, które nie istnieją na poziomie pojedynczej cząstki. Dodatkowo, dzięki niezwykłemu rozwojowi metod eksperymentalnych, możemy badać układy złożone z precyzją i powtarzalnością trudną do osiągnięcia w innych dziedzinach. Pozwala to badać nowe koncepcje, szukać ich ograniczeń oraz wskazówek jak je ulepszyć. Zazwyczaj układy złożone cechują się umiejętnością dostosowania się do wciąż zmieniających się warunków, na przykład nasz układ odpornościowy reaguje na nową mutację wirusa grypy. Natomiast w fizyce, zasady gry, czyli prawa fizyki są niezmiennie. Pozwala nam to badać układy złożone w trochę prostszej formie, pozbawionej pierwiastka adaptacji, ale wciąż z pozostałymi aspektami układów złożonych, takimi jak wiodąca rola oddziaływań czy zjawiska emergentne.

Modele całkowne są szczególnymi modelami fizycznymi. Opisują one układy oddziałujących cząstek, które są na tyle skomplikowane, że przejawiają cechy układów złożonych, a równocześnie na tyle proste, że mogą być badane ściśle matematycznie. Z ich pomocą możemy więc prześledzić dokładnie jak powstaje złożoność. Najlepszym sposobem na zrozumienie układów, w których cząstki są ze sobą silnie skorelowane, jest wykorzystanie tak zwanych funkcji korelacji. Celem tego projektu badawczego jest opracowanie nowej metody obliczania dynamicznych funkcji korelacji w modelach całkownych. Pozwoli to w nowy sposób spojrzeć na układy złożone występujące w fizyce i lepiej zrozumieć jak makroskopowe cechy (takie jak wilgotność wody) wynikają z mikroskopowych (czyli na przykład cech pojedynczych cząsteczek wody). Dzięki rozwojowi technik eksperymentalnych dynamiczne funkcje korelacji w modelach całkownych możemy zmierzyć, na przykład w specjalnie przygotowanych układach tak zwanych zimnych atomów. Sprawia to, że wyniki tego projektu badawczego są testowalne eksperymentalnie. Modele całkowne posiadają jeszcze jedną ciekawą cechę. Zazwyczaj metody fizyki kwantowej sprawdzają się najlepiej w sytuacji w której układ znajduje się w stanie równowagi termodynamicznej z otoczeniem. W przypadku modeli całkownych możemy bez problemu rozważać ogólniejsze sytuacje. Pozwala to na zbadanie egzotycznych stanów materii kwantowej i zrozumienie ich złożoności. Celem tego projektu jest więc również zbadanie świata silnie skorelowanych układów kwantowych poza równowagą termodynamiczną.