

# Od złamanej całkowalności do termalizacji w kwantowej fizyce wielu ciał

OPIS POPULARNONAUKOWY

Pojęcie temperatury jest znane każdemu z nas. Za tym potocznie brzmiącym terminem kryje się zdumiewająca idea. Układy złożone, takie jak otaczające nas powietrze w zimowy dzień czy płyta grzejna piekarnika, składają się z niewiarygodnie dużej liczby cząstek uwikłanych w skomplikowany ruch lub wibracje. Choć układy te są bardzo skomplikowane, to w większości zastosowań mogą być scharakteryzowane za pomocą kilku parametrów, takich jak temperatura lub ciśnienie. Koncepcją stojącą za tą ogromną redukcją złożoności jest równowaga termodynamiczna i proces do niej prowadzący, mianowicie termalizacja.

Wszechobecności idei równowagi termicznej należy przeciwstawić skomplikowaną dynamikę każdej cząstki układu. Rzeczywiście, z mikroskopowego punktu widzenia teorii kwantowej, ruchem cząstek rządzą równania ruchu, a przyszły stan układu jest w pełni określony przez informację o stanie początkowym. Aby nastąpiła termalizacja, ta początkowa informacja musi zostać w jakiś sposób utracona, tak aby faktycznie system można było opisać zaledwie kilkoma parametrami. Standardowe rozumienie termalizacji opiera się na dwóch założeniach. Pierwsze to ergodyczność. Mianowicie układ ergodyczny to taki, który konsekwentnie bada wszystkie swoje możliwe stany zgodne z zasadą zachowania energii. Podczas gdy dla klasycznych układów rządzących się Newtonowskim prawem ruchu ergodyczność jest wystarczająca do termalizacji, dla rzeczywistej dynamiki kwantowej to nie wystarcza i potrzebujemy silniejszego pojęcia termalizacji przez stany własne. Hipoteza ta mówi, że dla każdej rozsądnej wielkości, którą możemy zmierzyć, jej wartość, z dokładnością do niewielkich fluktuacji, jest określona przez energię stanu. Ponieważ energia jest związana z temperaturą, faktycznie gwarantuje to, że kiedy system termalizuje, jego właściwości zależą od temperatury, a nie od dokładnych informacji mikroskopowych.

To konceptualne rozumienie termalizacji w kwantowych układach wielociałowych jest trudne do uzasadnienia ilościowego. W praktyce chcielibyśmy móc wziąć konkretny model i odpowiedzieć na pytanie, czy termalizacja zachodzi, a jeśli nie, to co stoi na jej przeszkodzie. Jeśli natomiast układ termalizuje, to jak ten proces przebiega w czasie. Są to podstawowe pytania dotyczące dynamiki nierównowagowej, które jednocześnie są bardzo trudne do rozwiązania dla oddziałujących kwantowych układów wielociałowych. W takich systemach bardzo trudno jest przeprowadzić obliczenia lub symulacje numeryczne, które pozwoliłyby odpowiedzieć na takie pytania. Na szczęście istnieje klasa modeli, w których sytuacja jest nieco prostsza.

W tym projekcie chciałbym badać kwantowe modele całkowalne. Są to bardzo szczególne teorie oddziałujących cząstek. Są one szczególne, ponieważ oprócz energii istnieją inne podobne wielkości, które są zachowane w czasie. Ułatwia to śledzenie dynamiki w takich modelach. Z drugiej strony obecność zachowanych wielkości oznacza, że standardowa hipoteza termalizacji przez stany własne już nie działa. Rzeczywiście, mierzalne wielkości w takich teoriach zależą nie tylko od energii stanu, ale także od wartości innych zachowanych wielkości. Powoduje to, że kwantowe modele całkowalne nie termalizują do standardowej równowagi termodynamicznej. Zamiast tego często termalizują do uogólnionej równowagi, która jest określona nie tylko przez temperaturę, ale także przez uogólnione temperatury związane z innymi zachowanymi wielkościami.

Podczas gdy modele czysto całkowalne nie ulegają termalizacji, gdy ich dynamika zostanie nieco zaburzona, otwiera się taka możliwość. Celem tego projektu jest zbadanie właśnie takich sytuacji. Badania takich modeli mają wielką zaletę, ponieważ pozwalają skorzystać z matematycznego opisu modeli całkowalnych, który pozwala nam zapisać równania ewolucji uogólnionych temperatur w czasie. Z tego punktu widzenia kwestie termalizacji i związanych z nią skal czasowych można wywnioskować z tych równań. Słabo zaburzone modele całkowalne są również ważne z praktycznego, eksperymentalnego punktu widzenia. W większości sytuacji, w których pojawiają się kwantowe modele całkowalne, takich jak ultrazimne gazy atomowe lub magnetyzm pewnych stopów, występują oddziaływania łamiące całkowalność. Metody opracowane w ramach tego projektu dostarczą ilościowych przewidywań dotyczących termalizacji w takich sytuacjach.