

*Rozprawa doktorska*

Dynamika wzbudzenia  
w układzie kwantowym  
z silnym nieporządkiem  
i sprzężeniami dalekiego zasięgu

Karol Kawa

Wrocław, 4 kwietnia 2022 r.

## Streszczenie

W niniejszej rozprawie badam kwantowy model sieciowy z diagonalnym nieporządkiem oraz sprzężeniami malejącymi potęgowo z odległością,  $\propto 1/r^\mu$ . W ramach wstępu przedstawiam najważniejsze własności modelu znane z literatury, wśród których wyróżnia się możliwość występowania stanów zdelokalizowanych, nawet w układach niskowymiarowych, co stoi w sprzeczności z rezultatami hipotezy skalowania jednym parametrem. W moich badaniach skupiam się jedynie na przypadku, w którym nieporządek, zadany przez odchylenie standardowe rozkładu diagonalnych energii, jest duży w porównaniu z maksymalnym sprzężeniem pomiędzy węzłami.

Badam ewolucję cząstki umieszczonej początkowo w środku sieci. Znajduję asymptotyczne, szczałkowe obsadzenie centralnego węzła, które w reżimie silnego nieporządku oraz dla  $\mu > d$  jest tylko nieznacznie mniejsze od jedności, natomiast dla  $\mu = d$  możliwy jest realny transport, co zostało wykazane przez P.W. Andersona dla układu trójwymiarowego. W tym ostatnim przypadku znajduję średni czas połowicznego zaniku obsadzenia centralnego węzła.

Gdy nieporządek jest duży, istotne są tylko bezpośrednie przeskoki z centralnego węzła na inne węzły. Zaniehbując przejścia wyższych rzędów, możliwe jest analityczne rozwiązanie równania Schrödingera na amplitudy prawdopodobieństwa obsadzenia węzła przez cząstkę w konkretnej chwili czasu. Dynamika obsadzeń na dowolnym węźle przebiega jakościowo w taki sam sposób, tj. w trzech następujących po sobie fazach. Najpierw obsadzenie rośnie z kwadratem czasu, co jest fundamentalną własnością układów kwantowych ze sprzężeniami dalekiego zasięgu, którą wyprowadza się również z rachunku zaburzeń. Następnie w odpowiedniej chwili czasu, tym wcześniejszej im silniejszy jest nieporządek, następuje zmiana trendu wzrostu na liniowy w czasie. Ostatecznie, poziom obsadzenia się wysyca.

Trójfazowa dynamika wzbudzenia znajduje odzwierciedlenie w zachowaniu się średniego przemieszczenia kwadratowego. Dyfuzja cząstki kwantowej odbywa się zatem również w trzech fazach, które w terminach teorii transportu określa się jako dyfuzję balistyczną (pierwsza faza ruchu), dyfuzję standardową (druga faza ruchu), saturację (końcowa faza ruchu). Przy pomocy symulacji numerycznych, obliczam średnie przemieszczenie kwadratowe dla modelu ze sprzężeniem odwrotnie proporcjonalnym do odległości pomiędzy węzłami ( $\mu = 1$ ). Znajduję wartości parametrów dynamicznych, prędkość balistyczną pierwszej fazy ruchu, współczynnik dyfuzji drugiej fazy ruchu oraz poziom saturacji jako funkcje siły nieporządku oraz rozmiaru układu. Rozwiązanie analityczne dostępne w modelu centralnego atomu pozwala na znalezienie dokładnych formuł określających zależność parametrów dynamicznych od siły nieporządku oraz od wielkości układu dla dowolnego  $\mu$ .

Asymptotyczne obsadzenie węzłów rozkłada się potęgowo wzdłuż liniowego wymiaru układu, co oznacza gruboogonowy rozkład obsadzeń. Można zatem mówić o potęgowej lokalizacji cząstki na sieci.

Następnie badam dynamikę korelacji rozchodzących się w układzie określonych przez dwupunktową funkcję korelacji. Podczas dyfuzji (kwazi)cząstki przez układ, gdy cząstka dociera do określonego węzła, pomiędzy nim a węzłem centralnym narasta korelacja. Funkcja korelacji w obrazie jednocząstkowym okazuje się być proporcjonalna do obsadzenia węzła, z czego wynika jej potrójna dynamika wzrostu na węźle. Analityczne wyprowadzenia pozwalają na ilościowe i jakościowe określenie dynamiki korelacji. Na koniec znajduję również czas potrzebny do osiągnięcia zadanej wartości korelacji w funkcji numeru węzła, który jest miarą szybkości propagacji korelacji. Ze względu na trójfazową ewolucję funkcji korelacji, propagacja zmienia swoją zależność czasową. W szczególnym przypadku  $\mu = 1$  propagacja rozpoczyna się jako ruch balistyczny, a następnie, od chwili czasu wyznaczającej przejście między fazami, zmienia się w standardową dyfuzję. Gdy  $\mu > 1$ , propagacja w pierwszej części jest zawsze sub-balistyczna, natomiast w drugiej sub-dyfuzyjna.

Na koniec badam teoretycznie dyfuzję ekscytynu w realistycznym układzie samorosnących kropek kwantowych na dwuwymiarowej kołowej mesie. Z początkowo wzbudzonej optycznie kropki zachodzi transport na pozostałe sztuczne atomy. Kwantowa dyfuzja odbywa się poprzez sprzężenia dalekiego zasięgu będące potęgowymi funkcjami odległości, podobnie jak w badanym przeze mnie wcześniej modelu. Odległości pomiędzy kropkami są na tyle duże, że ich funkcje falowe się nie przekrywają. Dodatkowo rozmiar układu może znacząco przekraczać długość emitowanej fali elektromagnetycznej tak, że przybliżenie dipolowe nie jest słuszne. Zakładam przy tym skończony czas życia ekscytynu. Ponownie, dyfuzja przebiega w trzech następujących po sobie fazach: transport balistyczny, dyfuzja standardowa oraz wysycenie. Korzystając z wyników otrzymanych wcześniej, znajduję parametry dynamiczne ewolucji. Badam również jaki wpływ na dynamikę ma skończony czas życia ekscytynu.