

Popularnonaukowy opis badań prowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej

Przetwarzanie sygnałów, a w szczególności wykonywanie obliczeń numerycznych, w przytłaczającej większości przypadków odbywa się przy pomocy układów elektronicznych, które u swych fizycznych podstaw wykorzystują zjawiska transportu ładunków elektrycznych. Tempo rozwoju urządzeń elektronicznych, w tym mikroprocesorów, jest bezprecedensowe i opisywane przez tzw. prawo Moora, stwierdzające, że liczba tranzystorów w mikroprocesorze podwaja się co dwa lata. To empiryczne prawo nie może opisywać trwałej tendencji z powodu fundamentalnych ograniczeń. Tym samym dalsza miniaturyzacja elektronicznych układów scalonych nie jest możliwa. W naturalny sposób pojawia się pytanie, co dalej? Odpowiedzi na nie mogą dostarczyć badania w dziedzinie fizyki fazy skondensowanej.

Aby zakodować, przetwarzać i przesyłać informację w nanoskali można wykorzystać inne, poza ładunkiem elektrycznym, fundamentalne charakterystyki cząstek, na przykład własny moment pędu cząstki – spin. W materiałach ferromagnetycznych spiny i związane z nimi momenty magnetyczne oddziałują ze sobą kwantowo (poprzez tzw. oddziaływanie wymienne) lub klasycznie (dzięki dipolowemu sprzężeniu pomiędzy momentami magnetycznymi). Oddziałujące momenty magnetyczne wykonują oscylacyjny i koherentny ruch. Dzięki temu mogą przesyłać informację w postaci tzw. fali spinowej.

Przez kilka ostatnich dziesięcioleci, ukształtowała się nowa dziedzina badań i techniki – magnonika, zajmująca się badaniami nad falami spinowymi w nanostrukturach magnetycznych. Fale spinowe umożliwiają przesyłanie sygnałów o wysokiej częstotliwości w nanoskali. W magnonice wykorzystuje się nanostrukturalizację materiału magnetycznego do kontrolowania własności fal spinowych. Modyfikacja geometrii układu lub jego statycznej konfiguracji magnetycznej odbywa się w skali od kilkudziesięciu do kilkuset nanometrów, odpowiadającej długości fali spinowej. Tak zmodyfikowane materiały posiadają zupełnie nowe własności. Na szczególną uwagę zasługują układy magnetyczne o periodycznej strukturalizacji – tzw. kryształy magnoniczne, gdzie w pewnych zakresach częstotliwości (w tzw. przerwach częstotliwościowych) propagacja fal spinowych jest niemożliwa.

Badania nad falami spinowymi w nanostrukturach, w tym również nad kryształami magnonicznymi, rozwijają się intensywnie zarówno dzięki nowym technikom eksperymentalnym, jak również dzięki rosnącym mocom obliczeniowym komputerów, co z kolei pozwoliło na badania numeryczne bardziej złożonych układów. Umożliwiło to odkrycie wielu fascynujących efektów i nowych zjawisk dotyczących fal spinowych, otwierających drogę do licznych zastosowań w obszarze przetwarzania informacji. Pośród nich można wyróżnić typowe aplikacje takie jak tranzystor czy bramki logiczne. Jednakże, fale (w tym fale spinowe) mogą znaleźć zastosowanie w analogowym przeważaniu informacji zakodowanej w ich amplitudzie i fazie. Ogólna zaleta tego typu obliczeń jest taka, że wyniki pewnych operacji na sygnałach w formie falowej można otrzymywać w czasie rzeczywistym. Dobrym przykładem jest np. transformata Fouriera sygnału, czy rozwiązywanie niejednorodnych równań różniczkowych, gdzie część niejednorodna i rozwiązanie równania są traktowane odpowiednio jako sygnał wejściowy i wyjściowy. Fale spinowe charakteryzują się szeregiem unikalnych własności takich jak anizotropowa propagacja, łatwość osiągnięcia reżimu nieliniowego oraz możliwość sterowania za pomocą pola magnetycznego bądź przez oddziaływania z innymi rodzajami fal: falami elastycznymi i elektromagnetycznymi.

Prowadzone przeze mnie badania polegają na analizie dynamiki fal spinowych w jednowymiarowych kryształach magnonicznych zbudowanych z ferromagnetycznych pasków. Chcę sprawdzić wpływ nieporządku w ułożeniu pasków na widmo częstotliwościowe fal spinowych oraz ich lokalizację w strukturze. W szczególności zamierzamy pokazać, że wprowadzenie nieporządku może prowadzić to tzw. lokalizacji Andersona fal spinowych w układzie sprzężonych pasków ferromagnetycznych.