

NOWA PLATFORMA DO BADANIA ZJAWISK FALOWYCH – REKONFIGUROWALNE WŁAŚCIWOŚCI TOPOLOGICZNE I SFURSTROWANE STANY PODSTAWOWE W MAGNONICE

Magnetyczne momenty wykonują ruch obrotowy wokół kierunku równowagi jeśli tylko wytrąci je się z położenia równowagi, podobnie jak wiruje bączek wytrącony z równowagi. W materiałach ferromagnetycznych istnieją silne oddziaływania między momentami magnetycznymi zlokalizowanymi na węzłach sieci atomowej, dlatego też lokalne zaburzenia magnetyzacji mogą koherentnie rozchodzić się w postaci fal, zwanych **FALAMI SPINOWYMI**, podobnie do fal mających inną naturę, jak fale elektronowe czy elektromagnetyczne. Typowe częstotliwości fal spinowych zawierają się w zakresie od kilku do kilkuset GHz z odpowiadającymi im długościami fal od setek do kilkudziesięciu nanometrów. To sprawia, że fale spinowe idealnie pasują do przenoszenia i przetwarzania informacji w zminiaturyzowanych urządzeniach. Dział nauki i technologii zajmujący się badaniem fal spinowych i ich praktycznym wykorzystaniem nosi nazwę **MAGNONIKI**. Główną zaletą magnoniki, w porównaniu z elektroniką i fotoniką, są: łatwość wprowadzenia efektów nieliniowych, anizotropia i programowalne właściwości związane z różnymi konfiguracjami magnetyzacji, złamanie symetrii wzajemności powiązane z materiałami magnetycznymi, oraz niskie koszty energetyczne przetwarzania sygnału. Oczekuje się, że urządzenia magnoniczne mogą wypełnić lukę między silnie zminiaturyzowaną mikroelektroniką i ultraszybką fotoniką, właśnie poprzez wytwarzanie efektywnych energetycznie, zminiaturyzowanych i szybkich układów logicznych wykorzystujących fale spinowe.

Relacja dyspersji jest jedną z podstawowych charakterystyk opisujących fale. Przedstawia ona podstawowy związek pomiędzy częstotliwością i długością fali, z której można uzyskać informacje o właściwościach niezbędnych do ich opisu, jak prędkości grupowa czy fazowa. Szczególnie interesująca jest relacja dyspersji dla materiałów periodycznych z okresem porównywalnym do długości fali – **KRYSTAŁÓW MAGNONICZNYCH**, czyli materiałów podobnych do kryształów półprzewodnikowych dla fal elektronowych. Ich relację dyspersyjną tworzą pasma rozdzielone przerwami pasmowymi, które wyznaczają zakresy częstotliwości wzbronionych dla fal biegnących. Szczególnie interesujące z punktu widzenia fizyki, ale również potencjalnych zastosowań, są pasma które umożliwiają rozchodzenie się fal tylko w jednym kierunku. Dla takich fal rozpraszanie wsteczne jest wzbronione, co powinno przekładać się na wysoką transmisję nawet wzdłuż krętych ścieżek. Pasma posiadające taką właściwość noszą nazwę pasm topologicznie chronionych. Za odkrycie topologicznych przejść fazowych i topologicznych właściwości materii została przyznana w 2019 roku Nagroda Nobla w fizyce, a fale topologicznie chronione są aktualnym przedmiotem badań w wielu gałęziach fizyki. Niemniej, w magnonice tylko kilka teoretycznych przewidywań występowania topologicznie chronionych fal spinowych jak dotąd zostało zaprezentowanych.

Głównym celem tego projektu badawczego jest zaprojektowanie kryształu magnonicznego opartego na układach wielowarstwowych z regularną siecią otworów, umożliwiającego stabilizację magnetyzacji w różnych konfiguracjach z stojącymi jak i topologicznie chronionymi biegnącymi falami spinowymi. Tym samym zamierzamy zademonstrować kryształ który stanie się uniwersalną platformą do badania wielu nowych efektów falowych. By to wykazać zrealizujemy z jego wykorzystaniem trzy idee o przełomowym dla magnoniki charakterze. *Po pierwsze, wykorzystamy kryształ magnoniczny do wzbudzenia bardzo krótkich biegnących fal spinowych przy pomocy pola mikrofalowego. Po drugie, pokazemy możliwość projektowania ścieżek po dowolnej drodze do jednokierunkowej transmisji fal spinowych, poprzez odpowiednie ułożenie magnetyzacji wokół otworów. Po trzecie, zaproponujemy nowy typ, tzw. sztucznego lodu spinowego, posiadającego zdegenerowany stan podstawowy i pozwalającego na transmisję fal spinowych.*

W ramach projektu będziemy badać dynamikę fal spinowych w wielowarstwach z prostopadłą anizotropią magnetyczną indukowaną na granicy między warstwami $\text{Co}(\text{CoFeB})/\text{Pt}(\text{Au},\text{NiO})$, które przy odpowiednich warunkach i asymetrycznym ułożeniu mogą umożliwić kontrolę skrętności magnetyzacji. Anizotropia utrzymuje magnetyzację stabilną nawet bez zewnętrznego pola magnetycznego, a wiązki skupionych jonów wykorzystywane do tworzenia otworów będą użyte do redukcji anizotropii przy krawędzi otworów, gdzie pole rozmagnesowujące wymusi ułożenie magnetyzacji w płaszczyźnie warstwy, oferując pożądane w projekcie właściwości.

Badania w projekcie rozszerzą istotnie wiedzę o dynamice fal spinowych w materiałach ferromagnetycznych z nietrywialną konfiguracją magnetyzacji. Konfiguracja magnetyzacji w okolicy strukturalizowanych otworów może być zmieniana i programowana już po procesie fabrykacji. Proponowane badania zwiększą możliwości wprowadzenia urządzeń magnonicznych do obecnych technologii przetwarzania informacji, prowadzenia obliczeń i transmisji sygnałów w wysokiej częstotliwości przy jednoczesnej ich miniaturyzacji do nanoskali.