

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Tytuł projektu: Właściwości transportowe magnetycznych izolatorów topologicznych

Jednostka naukowa: Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej, Politechnika Rzeszowska

Projekt dotyczy nowych materiałów, które od niedawna wzbudzają duże zainteresowanie w środowisku fizyków. Okazało się, że na powierzchni pewnej klasy izolatorów (nazywanych obecnie izolatorami topologicznymi) istnieje dwuwymiarowy gaz elektronowy, który przenosi ładunek elektryczny i moment pędu (spin). Struktura elektronowa gazu elektronów powierzchniowych opisana dwuwymiarowym modelem cząstek relatywistycznych o zerowej masie, w którym cała powierzchnia Fermiego redukuje się do jednego punktu (tzw. punktu Diraca). Zwykle domieszki i defekty powierzchni nie mogą zniszczyć tych właściwości, natomiast domieszki magnetyczne albo w jakiś sposób wprowadzone namagnesowanie mogą istotnie zmienić strukturę elektronową. Pojawia się wówczas przerwa energetyczna i niezerowa masa efektywna elektronów powierzchniowych, w wyniku czego zmieniają się zupełnie właściwości fizyczne tych materiałów.

Projekt skoncentrowany jest na rozwinięciu teorii, która opisuje właściwości transportowe magnetycznych izolatorów topologicznych. Dla układów o pewnej geometrii i dla stanów elektronowych bliskich do stanu dielektryka, nierównowagowy przepływ ładunku i spinu w niskich temperaturach ma charakter kwantowy. Pojawia się wówczas kwantyzacja współczynników kinetycznych i ponadto istnieje możliwość przepływu prądów ładunkowych i spinowych bez dyssypacji energii. Przykładem jest kwantowy anomalny efekt Halla, który został niedawno zaobserwowany w magnetycznych izolatorach topologicznym BiSbTe z domieszkami Cr. Zainteresowanie tym efektem jest duże, co wynika częściowo z tego, że może on być zastosowany w metrologii jako nowy wzorzec rezystancji. Najważniejszym zadaniem, które wymaga rozwiązania w celu praktycznego zastosowania tego efektu jest podniesienie temperatury krytycznej. To z kolei wymaga dodatkowych badań zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych.

W projekcie realizowane będą zadania, które obejmują rozwinięcie teorii oddziaływania magnetycznego między domieszkami magnetycznymi na powierzchni jak i wewnątrz (w objętości) izolatora topologicznego, modelowanie uporządkowania momentów magnetycznych, oraz rozwinięcie teorii transportu kwantowego. Przeprowadzone będą również obliczenia numeryczne dotyczące anomalous efektu Halla, efektu Seebecka i Nernsta, spinowego prądu, spinowego momentu siły, oraz polaryzacji magnetycznej indukowanej polem elektrycznym, gradientem temperatury i nierównowagowym strumieniem fononów i magnonów. Istotnym elementem będzie opis kwantyzacji współczynników kinetycznych przez prądy brzegowe i wyjaśnieniem możliwości manipulowania prądami brzegowymi nie tylko na granicy kryształu, ale również na magnetycznych ściankach domenowych i na granicach domen. Jednym z zadań projektu jest wyjaśnienie struktury wzbudzeń topologicznych w układzie magnetycznym oraz możliwości ich kontrolowania, przede wszystkim skyrmionów a także monopoli indukowanych elektrycznie. Głównym rezultatem prac prowadzonych w ramach projektu będzie poszerzenie wiedzy na temat nowych zjawisk w transporcie kwantowym i optymalizacja parametrów materiałowych. Materiały, które będą rozpatrywane w pierwszej kolejności to izolatory topologiczne Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 , BiSb, oraz krystaliczne izolatory topologiczne PbSnTe.