

Magnetyczne izolatory topologiczne.

Fazy topologiczne tworzą nowe kategorie faz z uporządkowaniem kwantowym, które wychodzą poza dobrze znaną teorię Landaua (teorię łamania symetrii) opisującą przejścia klasycznych faz związanych z różnymi stanami materii czy porządkiem magnetycznym. Pierwszą fazą topologiczną, odkrytą w roku 1980, był stan kwantowego efektu Halla związany z dwuwymiarowym gazem elektronowym w wysokich polach magnetycznych, którego topologiczna natura manifestowała się serią skwantowanych plateau w przewodnictwie hallowskim związanych z niezmiennikiem topologicznym – liczbą Cherna. Wraz z odkryciem kwantowego efektu Halla stało się jasne, że materiały które posiadają przerwę energetyczną w objętości (w tym przypadku pomiędzy poziomami Landaua), mogą posiadać bezprzerwowe stany krawędziowe dostarczające odpornych na rozpraszanie kanałów przewodnictwa. Następną fazą topologiczną – stan ułamkowego kwantowego efektu Halla, odkryta w 1982 r., przyniosła nową fizykę związaną z ułamkowo naładowanymi kwazicząstkami wykazującymi anyonową statystykę. Wszystko to razem zmotywowało badania nad poszukiwaniem nowych faz topologicznych. Minęło jednak ponad dwadzieścia lat zanim izolatory topologiczne, kolejna faza kwantowa, weszły na scenę. Izolatory topologiczne zostały najpierw przewidziane teoretycznie w materiałach z silnymi oddziaływaniami spinowo-orbitalnymi, takimi które prowadzą do odwrócenia przerwy energetycznej. Izolator topologiczny posiada przerwę energetyczną w objętości i, w odróżnieniu od zwykłych izolatorów, posiada również bezprzerwowe stany na swojej powierzchni, które są chronione symetrią względem odwrócenia czasu. Te stany powierzchniowe posiadają liniową zależność dyspersyjną charakterystyczną dla relatywistycznych fermionów Diraca. W 2009 r. zidentyfikowano tzw. drugą generację izolatorów topologicznych, teoretycznie oraz eksperymentalnie. Do tej grupy zaliczają się Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 i Sb_2Te_3 . Domieszkowanie izolatorów topologicznych jonami metali przejściowych to kolejne ciekawe pole badań. Oczekuje się, że domieszki magnetyczne łamiąc symetrię względem odwrócenia czasu modyfikują topologiczne stany powierzchniowe, powodując w szczególności otwieranie się przerwy energetycznej w punkcie Diraca i modyfikując teksturę spinową. Zostało również pokazane teoretycznie, że stany elektronowe Diraca pośredniczą w oddziaływaniach RKKY pomiędzy zlokalizowanymi momentami magnetycznymi, co może prowadzić do powstawania długozasięgowego porządku magnetycznego. Anomalny kwantowy efekt Halla został niedawno zaobserwowany po raz pierwszy, w ferromagnetycznym $(\text{BiSb})_2\text{Te}_3$, dopełniając trio kwantowych efektów Halla (1980 r. – kwantowy efekt Halla, 2007 r. – spinowy kwantowy efekt Halla, 2013 r. – anomalny kwantowy efekt Halla). Magnetycznie domieszkowane izolatory topologiczne z ferromagnetycznym uporządkowaniem są ważne dla teoretycznego zrozumienia tworzenia się różnych faz topologicznych, ale również dla realizacji proponowanych urządzeń wykorzystujących magnetyczne złącza z izolatorami topologicznymi, złącza magneto-elektryczne, do wykorzystania w wielofunkcyjnych tranzystorach topologicznych. Kluczem do wykorzystania izolatorów topologicznych jest niskie przewodnictwo przez stany objętościowe, tak aby móc wyeksponować transport elektryczny przez powierzchnię. Dwuskładnikowe izolatory topologiczne wykazują wysokie przewodnictwo w objętości z powodu występowania defektów sieci krystalicznej. Ich koncentrację można do pewnego stopnia zredukować przez zastosowanie właściwych warunków wzrostu. Trójskładnikowe izolatory topologiczne $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ (albo BTS) oferują już dużo lepsze parametry elektryczne, jako że tworzenie defektów sieci krystalicznej jest naturalnie stłumione dzięki ich strukturze. Idąc dalej, czteroskładnikowe izolatory topologiczne z antymonem, $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ (albo BSTS), zostały niedawno zaproponowane żeby zoptymalizować własności izolacyjne w objętości, z wartościami $x = 0.5$ i $y = 1.3$ dającymi najniższą koncentrację nośników w objętości.

W projekcie planujemy badać czteroskładnikowe izolatory topologiczne domieszkowane jonami metali przejściowych. Celem projektu jest opracowanie metody otrzymywania izolatorów topologicznych z porządkiem ferromagnetycznym, charakteryzujących się najwyższą możliwą opornością w objętości kryształu i dobrymi właściwościami strukturalnymi, bez obecności wytrąceń obcych faz, oraz scharakteryzowanie zjawisk fizycznych leżących u podstaw porządkowania magnetycznego w izolatorach topologicznych. Skupimy się w pierwszej kolejności na naturze obserwowanych właściwości magnetycznych. Będziemy dążyć do ustalenia, jak domieszki magnetyczne wbudowują się w strukturę izolatora topologicznego, w jakich warunkach mogą tworzyć fazę ferromagnetyczną, będziemy się starali odróżnić wkład objętościowy i powierzchniowy do magnetyzacji i określić jaki jest mechanizm porządkowania magnetycznego. Gdy dobrej jakości ferromagnetyczne próbki zostaną uzyskane, będą one przedmiotem badań jak domieszkowanie magnetyczne (łamiące symetrię względem odwrócenia czasu) wpływa na topologiczne stany powierzchniowe (chronione tą symetrią) i transport elektryczny.