

Spinowo-orbitalna fizyka w grafenie na skutek efektu bliskości w heterostrukturach van der Waalsa bazujących na izolatorach topologicznych z asymetryczną inwersją i półmetalach Weyla typu II

W ostatnim czasie prowadzone są zarówno teoretyczne, jak i eksperymentalne badania dotyczące niezwykłych własności materiałów topologicznych. W szczególności znaczną uwagę poświęcono takim materiałom jak izolatory topologiczne, topologiczne izolatory Andersona i Kondo, krystaliczne izolatory topologiczne, półmetale Diraca, izolatory Cherna czy półmetale Weyla. W celu opisu tych materiałów używa się zaawansowanych koncepcji teoretycznych takich jak trywialne i nietrywialne fazy topologiczne, stożki Diraca i Weyla, liczba Cherna, węzły Weyla, chiralność, koneksja czy krzywizna Berry'ego. Oprócz wyżej wymienionych materiałów niesłabnącym zainteresowaniem ciągle cieszy się grafen będący pierwszym odkrytym materiałem dwuwymiarowym posiadającym bardzo dużą mobilność nośników ładunku wśród innych materiałów. Niestety grafen posiada ekstremalnie niskie sprzężenie spin-orbita, które wraz z nieobecnością przerwy energetycznej stanowi istotne ograniczenie dla zastosowań tego materiału w niektórych układach spintronicznych. Ostatnie badania teoretyczne doprowadziły do koncepcji budowy układów heterostrukuralnych, w których na skutek efektu bliskości pomiędzy grafenem i dichalkogenkami metali przejściowych o własnościach półprzewodnikowych można uzyskać pożądane własności mające zastosowanie w spintronice. W naszym projekcie skupiamy się na unikatowych materiałach, które mogą stanowić część składową heterostruktur prowadząc do zaindukowania znacznego sprzężenia spin-orbita z jednoczesną dużą wartością drogi swobodnej dla nośników spinu. W szczególności do badań wybrano nowy rodzaj izolatora topologicznego z asymetryczną inwersją, która może być obserwowana w układzie typu BiTeCl. Materiał ten posiada nieekwiwalentne stany na przeciwstawnych sobie powierzchniach krystalicznych wykazujące typ n- i p- przewodnictwa elektrycznego. BiTeCl wydaje się szczególnie interesujący z punktu widzenia tworzenia heterostruktur. Kolejnym materiałem, który zostanie poddany badaniom w układach heterostruktur jest $1T'-\text{MoTe}_2$, który wykazuje przejście fazowe ($1T' \rightarrow T_d$)- MoTe_2 z trywialnej fazy topologicznej do fazy nietrywialnej w okolicach temperatury 260 K. Poniżej tej temperatury materiał ten staje się półmetalem Weyla typu II. W trakcie realizacji projektu zamierzamy udzielić odpowiedzi na pytanie czy heterostruktury grafen/BiTeCl oraz grafen/($1T' \rightarrow T_d$)- MoTe_2 pozwalają na transport ładunku i spinu z jednoczesnym zaindukowaniem sprzężenia spin-orbita w grafenie. Interesujące wydaje się również zbadanie wpływu efektu bliskości na topologię struktury pasmowej w pobliżu stożków Diraca w grafenie. Nowością podejmowanych badań będzie próba ustalenia struktury fononowej BiTeCl, ($1T' \rightarrow T_d$)- MoTe_2 oraz odpowiednich układów heterostrukuralnych za pomocą spektroskopii Ramana i spektroskopii Ramana wzmocnionej igłą skaningowego mikroskopu tunelowego w warunkach UHV dla zmiennych temperatur. W trakcie realizacji projektu prowadzone będą również prace teoretyczne z wykorzystaniem teorii funkcjonału gęstości w celu lepszego zrozumienia uzyskanych wyników eksperymentalnych. Prace teoretyczne będą też wspomagane topologicznymi metodami mechaniki kwantowej między innymi w celu zbadania transferu chiralnych elektronów z włączeniem anomalnego prądu aksjalnego w półmetalach Weyla. Podejmowane zagadnienia leżą w głównym nurcie badań współczesnej fizyki fazy skondensowanej i są w zgodzie z badaniami nakreślonych przez Unię Europejską w ramach Okrętów Flagowych dotyczących między innymi spintroniki.