

Zjawiska termoelektryczne w materiałach topologicznych

Trójwymiarowe semimetale topologiczne stanowią nową klasę materiałów kwantowych charakteryzujących się obecnością nietrywialnych stanów objętościowych i powierzchniowych. W strukturze elektronowej tych związków dochodzi do przecinania się pasm w bezprzerwowych punktach, których sąsiedztwo jest obsadzone relatywistycznymi kwazicząstkami. W rezultacie obserwujemy w takich materiałach kalejdoskop niezwykłych właściwości elektronowych, zwykle badanych za pomocą pomiarów transportu ładunkowego. Otrzymane w ten sposób dane niezaprzeczalnie niosą wiele informacji i są stosunkowo łatwe do otrzymania, jednak dogłębsza analiza często wymaga dodatkowej eksperymentalnej ewidencji. Takową oferują badania transportu termoelektrycznego, które, jak sugeruje formuła Motta – Jonesa, są wysoce czułym narzędziem do badania właściwości elektronowych semimetali topologicznych. W niniejszej rozprawie skupiłem się na trzech rodzajach efektów kwantowych obserwowanych w zjawiskach transportowych. Są to mianowicie oscylacje kwantowe (QO), anomalny efekt Halla (AHE) i anomalny efekt Nernsta (ANE) oraz anomalia chiralna.

Podstawowe właściwości fermionów w semimetalach topologicznych można badać za pomocą pomiarów oscylacji kwantowych. W pracy przedstawiono szczegółową analizę QO w TaAs_2 , gdzie zaobserwowaliśmy nietypową ewolucję temperaturową (T) amplitud częstotliwości fundamentalnej β i jej drugiej harmonicznej 2β . Otóż w oscylacyjnym sygnale Nernsta pierwsza z nich zanika całkowicie przy $T \approx 25$ K, podczas gdy częstotliwość 2β jest nadal obserwowana. Przypisujemy to zachowanie efektowi spin - zero indukowanemu zmianą temperatury, a będącemu skutkiem ewolucji czynnika Landégo (g). Ta z kolei może odzwierciedlać zmiany sprzężenia spin - orbita, co w przypadku TaAs_2 powinno wiązać się z przededefiniowaniem topologii układu elektronowego.

Ważną cechą fermionów Weyla jest towarzysząca im niezerowa krzywizna Berry'ego (BC), która działa jak efektywne pole magnetyczne prowadząc do pojawienia się niezwiązanych z rozproszaniem AHE i ANE. W fazie ferromagnetycznej semimetalu Weyla CeAlSi wykryliśmy zmianę znaku anomalnego przewodnictwa Halla (AHC) z dodatniego na ujemny, zachodzącą na skutek zmiany orientacji pola magnetycznego (B) z trudnej do łatwej

osi magnetyzacji. Zmiana znaku AHC została powiązana z rekonstrukcją struktury elektronowej (i wynikającej z niej BC), która jest konsekwencją reorientacji spinów. Gdy B było skierowane wzdłuż trudnej osi, stwierdzono także pojawianie się anomального przewodnictwa Nernsta (ANC). Co istotne AHC i ANC pozostały mierzalne również w fazie paramagnetycznej CeAlSi, a ich zależności temperaturowe można zamodelować zakładając obecność punktów Weyla w pobliżu poziomu Fermiego.

Ewidencja wskazująca na pojawianie się anomalii chiralnej w układzie Weyla oparta wyłącznie na pomiarach transportu ładunkowego, tj. obserwacji ujemnego magnetooporu podłużnego (NLMR), była czasami kwestionowana ze względu na możliwy wkład od tzw. efektu current – jetting. W naszej pracy pokazujemy, że pompowanie chiralnych fermionów między stożkami Weyla w topologicznym semimetalu Diraca α -Sn można zaobserwować przy użyciu połączonych badań transportu elektrycznego i termoelektrycznego. Oczekuje się przy tym, że te ostatnie powinny być odporne na artefakty eksperymentalne. Wyniki wskazujące na pojawianie się anomalii chiralnej zostały wykryte w obu pomiarach. W niskich temperaturach oraz gdy pole magnetyczne było równoległe do przyłożonego pola elektrycznego (E) albo gradientu temperatury (∇T) zaobserwowano NLMR albo ujemne nachylenie polowej zależności siły termoelektrycznej. Co więcej, kątowne zależności oporności elektrycznej i siły termoelektrycznej potwierdzają szybką degradację anomального prądu chiralnego, gdy pole magnetyczne było oddalone od kierunku przyłożonego E albo ∇T . Wykazaliśmy również, że w wysokiej temperaturze międzydolinowy czas rozpraszania maleje, a w konsekwencji α -Sn w tym zakresie nie znajduje się już w granicy chiralnej.

Md. Shalim Alam

Podpis