STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Transport ładunku i spinu w układach niskowymiarowych

Autor: mgr inż. Sylwia Kudła

Dziedzina: nauki ścisłe i przyrodnicze

Dyscyplina: nauki fizyczne

Promotor: prof. dr hab. inż. Vitalii Dugaev

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej zbadano transport ładunku i spinu w niskowymiarowych układach elektronowych, w których oddziaływanie spin–orbita oraz oddziaływanie wymienne wykazują niejednorodność przestrzenną. Szczególną uwagę poświęcono wpływowi rozkładu przestrzennego tych oddziaływań na propagację elektronów, procesy rozpraszania oraz relaksację transportową. Analiza obejmuje wyniki przedstawione w czterech publikacjach wieloautorskich dotyczących dwuwymiarowego gazu elektronowego oraz stanów powierzchniowych trójwymiarowych izolatorów topologicznych.

Rozważono cztery modele fizyczne: transmisję elektronów przez barierę magnetyczną na powierzchni izolatora topologicznego, dwuwymiarowy gaz elektronowy z losowym przestrzennie oddziaływaniem spin–orbita Rashby, transport powierzchniowy w izolatorze topologicznym z losową magnetyzacją oraz rozpraszanie elektronów na lokalnej strukturze magnetycznej. W obliczeniach wykorzystano formalizm odpowiedzi liniowej Kubo i funkcje Greena, z uwzględnieniem przybliżenia Borna i poprawek wierzchołkowych. Zastosowano również metodę dopasowania spinorowych funkcji falowych oraz metodę fal cząstkowych.

W przypadku bariery magnetycznej określono warunki występowania stanów propagujących i zanikających oraz zbadano wpływ parametrów bariery na transmisję elektronów. W reżimie tunelowym transmisja maleje wraz ze wzrostem długości bariery, natomiast w reżimie propagacyjnym interferencja fal elektronowych prowadzi do powstawania rezonansów transmisyjnych. Dla dwuwymiarowego gazu elektronowego z losowym sprzężeniem Rashby wykazano, że czas życia stanów elektronowych oraz czasy relaksacji transportowej prądu ładunkowego i spinowego wykazują odmienne zależności od energii i korelacji przestrzennych nieuporządkowania. Różnice te znajdują odzwierciedlenie w zależności przewodnictwa ładunkowego i spinowego od parametrów układu.

W modelu izolatora topologicznego z losową magnetyzacją przeanalizowano wpływ amplitudy i korelacji przestrzennych pola wymiennego na poszerzenie stanów elektronowych oraz przewodnictwo podłużne. Uwzględniono zarówno wkład energii własnej

elektronów, jak i poprawki wierzchołkowe do operatora prądu. Rozpraszanie na lokalnej strukturze magnetycznej opisano za pomocą amplitud kątowych i przekrojów czynnych. Wykazano przy tym różnicę między symetrycznym rozpraszaniem uzyskiwanym w pierwszym przybliżeniu Borna a asymetrią kątową, która może występować po uwzględnieniu procesów rozpraszania wyższych rzędów.

Porównanie wyników pokazuje, że wpływ przestrzennie niejednorodnych oddziaływań zależnych od spinu na transport elektronowy jest związany z różnymi mechanizmami fizycznymi. Długość korelacji nieuporządkowania wpływa na rozkład przekazów pędu podczas rozpraszania, długość bariery magnetycznej określa warunki tunelowania i interferencji, natomiast rozmiar i siła lokalnej struktury magnetycznej wpływają na udział poszczególnych kanałów rozpraszania. Istotne znaczenie ma przy tym zarówno profil przestrzenny zaburzenia, jak i spinorowa struktura stanów elektronowych. Przeprowadzona analiza pozwala powiązać mechanizmy transportu ładunku i spinu rozpatrywane w poszczególnych modelach, z uwzględnieniem różnic między koherentną transmisją, przewodnictwem uśrednionym po nieuporządkowaniu oraz rozpraszaniem na pojedynczych strukturach magnetycznych.

Słowa kluczowe: transport ładunku, transport spinu, izolatory topologiczne, dwuwymiarowy gaz elektronowy, oddziaływanie spin-orbita Rashby, losowa magnetyzacja, korelacje przestrzenne, rozpraszanie elektronów.