

STRESZCZENIE POPULARNO-NAUKOWE

W grupie materiałów nazywanych układami silnie skorelowanymi elektronowo znacząca siła oddziaływań między elektronami prowadzi do szeregu egzotycznych zjawisk fizycznych, takich jak np. niekonwencjonalne nadprzewodnictwo czy stan izolatora Motta. W fazie nadprzewodzącej elektrony tworzą pary, co pozwala im przemieszczać się bez oporu elektrycznego. Skolei, w stanie izolatora Motta niemożliwy jest przepływ prądu, ponieważ wzajemne odpychanie między elektronami unieruchamia je. W wielu tego typu związkach można przełączać się między tymi dwoma antagonistycznymi zjawiskami, zmieniając liczbę nośników ładunku (elektronów). Niezwykłe cechy fizyczne, jak te wspomniane powyżej, sprawiają, że układy silnie skorelowane elektronowo są bardzo interesujące, a perspektywy ich zastosowań szczególnie ciekawe. Niestety, pomimo obszernych badań zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych, wiele zaobserwowanych zjawisk wciąż pozostaje niewyjaśniona. Jednocześnie odkrywane są nowe materiały, które mogą rzucić nowe światło na interesujące nas mechanizmy fizyczne. Projekt ten ma na celu lepsze zrozumienie zjawisk zaindukowanych przez silne korelacje poprzez przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań teoretycznych dotyczących nowej generacji układów silnie skorelowanych jakimi supersieci moiré (moiré superlattice systems – MSS).

Przykładem tego typu układu jest skręcona dwuwarstwa grafenowa która składa się z dwóch arkuszy grafenu umieszczonych jeden nad drugim i obróconych względem siebie tzw. kąt magiczny. Specyficzny rozkład atomów w powstałej w ten sposób supersieci moiré prowadzi do zwiększenia roli oddziaływań międzyelektronowych co przekłada się na własności układu podobne do tych jakie obserwowane są w układach skorelowanych takich jak nadprzewodniki wysokotemperaturowe na bazie miedzi. Niedługo po odkryciach związanych z dwuwarstwą grafenową skręconą o kąt magiczny zorientowano się, że możliwe jest stworzenie wielu innych supersieci moiré o równie ciekawych własnościach. Istotną zaletą tego typu struktur jest to, że są one czyste, siłę korelacji można dostrajać, zmieniając kąt skrętu, i można łatwo modyfikować liczbę elektronów za pomocą pola elektrostatycznego. W znanych wcześniej skorelowanych materiałach, aby zmienić liczbę elektronów konieczne było wprowadzenie atomów innego pierwiastka do próbki. Proces ten prowadzi do niepożądanych efektów zniekształceń strukturalnych. Uważa się, że ze względu na korzystne cechy supersieci moiré układy te pozwolą odkryć sekrety zjawisk oddziałujących elektronów z niespotykaną dotąd kontrolą. Nowe zrozumienie nadprzewodnictwa w analizowanych układach może pomóc w poszukiwaniu nadprzewodników o rekordowo wysokich temperaturach krytycznych. Byłby to nieoceniony wkład, jeśli chodzi o rozwój w wielu dziedzinach nowoczesnej technologii. Jednocześnie teoretyczny opis fizyki supersieci moiré znajduje się na bardzo wczesnym etapie rozwoju. Główne pytania, które pozostają bez odpowiedzi, dotyczą pochodzenia i charakterystyki stanu nadprzewodzącego, a także związku między fazą izolatora Motta a nadprzewodnictwem. Istotne jest aby sprawdzić czy oba efekty mogą mieć to samo źródło, którym może być silne odpychanie Kulombowskie, czy też ma miejsce bardziej konwencjonalny scenariusz, zgodnie z którym parowanie elektronów pojawia się jako produkt uboczny wzajemnego oddziaływania elektronów i wibracji sieci atomowej. Należy zauważyć, że to ważne pytanie jest bezpośrednio związane z podstawową kwestią doboru właściwego modelu teoretycznego do opisu analizowanych struktur oraz problemem uwzględnienia w obliczeniach efektów korelacji z zadowalającą precyzją. Zapewnienie znaczącego wkładu w rozwój naukowy we wspomnianych kwestiach jest głównym celem proponowanego projektu. Pomimo podobieństw między MSS i innymi skorelowanymi układami, ta pierwsza grupa zapewnia również eksperymentalny dostęp do nowych nietrywialnych zjawisk, takich jak niekonwencjonalne właściwości topologiczne stanów nadprzewodzących i izolatora Motta, a także egzotyczne fazy magnetyczne, które znajdują się również w obszarze zainteresowania tego projektu.

Oprócz badań ukierunkowanych na poznanie egzotycznych własności układów oddziałujących elektronów w MSS, celem tego projektu są również symulacje wybranych nanourządzeń, które obecnie zaczynają być wytwarzane z wykorzystaniem MSS. Ze względu na bogatą fizykę MSS oraz wysoki stopień kontrolowalności, uważa się, że nanourządzenia oparte na MSS mogą znaleźć zastosowanie w nowoczesnej elektronice. Wykazano już, że złącza Josephsona i nanodrutu mogą być realizowane przy użyciu skręconych dwuwarstwowych struktur grafenowych. Otwiera to drogę do ulepszeń w dziedzinie elektroniki nadprzewodzącej, w której do tej pory konwencjonalne złącza Josephsona były wykorzystywane do produkcji np. urządzeń magnetycznych do monitorowania aktywności elektrycznej w mózgu czy ultraczułych magnetometrów. Innym możliwym zastosowaniem MSS jest realizacja kubitów i konstruowanie komputerów kwantowych. Uważa się, że te ostatnie mogą w znaczący sposób przyczynić się do rozwiązania wielu problemów obecnej nauki czy techniki ze względu na swoje niebywale wysokie możliwości obliczeniowe. W przypadku skręconego grafenu kubity mogą być mniejsze i łatwiejsze do kontrolowania niż to było możliwe dotychczas. Ponadto nanosystemy oparte na MSS mogą służyć jako platforma do realizacji modów zerowych Majorany, które stwarzają możliwość konstrukcji kubitów chronionych topologicznie.