

Jednym z najważniejszych wyzwań we współczesnej fizyce jest pełne zrozumienie zjawisk występujących w układach silnie skorelowanych cząstek. Dokładne rozwiązanie wielociałowego zagadnienia kwantowo-mechanicznego jest możliwe tylko w szczególnych przypadkach. Problemem jest wykładniczy wzrost złożoności obliczeniowej wraz z rozmiarami układu, z którymi nie są w stanie poradzić sobie najlepsze komputery i prawdopodobnie nie będzie to również możliwe w przyszłości, w każdym razie nie na komputerach klasycznych - czyli takich z którymi mamy do czynienia na co dzień. Odmienne podejście zaproponowane już w latach 80-tych przez Richarda Feynmana to stworzenie izolowanego układu kwantowego w celu badania jego własności termodynamicznych, który można w kontrolowany sposób zmieniać, aby zamodelować bardziej egzotyczny stan kwantowy. W istocie idea Feynmana jest od wielu lat realizowana w ultrazimnych gazach na sieciach optycznych, choć obecnie możliwe jest modelowanie bardzo ograniczonej liczby układów, w szczególności tylko z krótkozasięgowym oddziaływaniem. Niekorzystnym czynnikiem są również koszty do zapewnienia odpowiednich warunków laboratoryjnych, m. in. budowa odpowiedniego układu laserów i osiągnięcie temperatur bliskich zera bezwzględnego.

W ostatnich latach pojawiła alternatywna koncepcja symulacji układów kwantowych w poskręcanych warstwach atomowych tworzących tzw. supersieci Moire (ang. Moire superlattices). Nałożone na siebie warstwy atomowe i obrócone względem siebie o zadany kąt, tworzą efektywny potencjał periodyczny, ze stałą sieci od 1 do 100 nm, kontrolowany kątem skręcenia. Odpowiedni dobór warstw atomowych tworzących heterostrukturę i kąta skręcenia, łatwa możliwość zmiany koncentracji nośników za pomocą zewnętrznego potencjału, kontrola siły oddziaływania Coulombowskiego za pomocą odległości układu do bramek elektrycznych, czy dodatkowo zmiana własności elektronowych po przyłożeniu zewnętrznych pól, elektrycznego lub magnetycznego, sprawia, że te układy spełniają wszystkie wymagania dobrego symulatora kwantowego. Rzeczywiście, w ostatnich latach (2018-2021), kilka wiodących grup eksperymentalnych potwierdziło pojawienie się egzotycznych faz w poskręcanych warstwach atomowych: skorelowane stany izolujące i stan nadprzewodzący w poskręcanych dwuwarstwach grafenu, izolator Motta czy tzw. kryształy Wignera w dichalkogenkach metali przejściowych. Ze względu na ogrom możliwości modelowania układów silnie skorelowanych, wydaje się, że pojawił się nowy trend w fizyce fazy skondensowanej materii, który będzie dominujący przez najbliższe lata.

Relatywnie nowy charakter tematyki sprawia że, obecnie jest wiele otwartych problemów wymagających wyjaśnienia, które pomogą ukierunkować odpowiednie badania eksperymentalne, w poskręcanych dwuwarstwach grafenu: natura i stabilność stanów izolujących i pochodzenie nadprzewodnictwa, w jaki sposób można potencjalnie zwiększyć temperaturę przejścia do stanu nadprzewodzącego, czy w poskręcanych warstwach dichalkogenków metali przejściowych jak wygląda zależność modelowych układów kwantowych od kąta skręcenia, typu heterostruktur atomowych czy czynników zewnętrznych. Badania teoretyczne w ramach niniejszego projektu mają na celu wyprowadzenie odpowiednich efektywnych modeli wielociałowych zależnych od wspomnianych kontrolowanych parametrów, aby zaproponować zadane symulatory kwantowe, które będą realizowane eksperymentalnie. Dodatkowo, celem projektu jest stworzenie podstaw teoretycznych wyjaśniających najnowsze wyniki eksperymentalne w poskręcanych warstwach atomowych oraz pogłębienie zrozumienia natury układów silnie skorelowanych cząstek.