

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Topologia jest jednym z najważniejszych działów współczesnej matematyki. W porównaniu do geometrii, która oparta jest na pojęciu odległości (metryki), topologia opisuje właściwości przestrzeni które są od niej niezależne. Jest to osiągnięte poprzez badanie wielkości niezmienniczych podczas ciągłych transformacji – niezmienników topologicznych. Przykładem takich własności jest tak zwany genus, czyli liczba wszystkich dziur w przestrzeni. Strukturami topologicznymi nazywane są kwantowe układy, których kluczowe cechy związane są z topologią przestrzeni stanów kwantowych, abstrakcyjnej przestrzeni pozwalającej opisywać układ kwantowy. Ze względu na globalny charakter niezmienników topologicznych, każdy efekt fizyczny bezpośrednio powiązany z taką wielkością, jest odporny na wpływ lokalnych fluktuacji. Jednym z pierwszych przykładów efektów topologicznych jest Całkowity Kwantowy Efekt Halla. W silnym polu magnetycznym w efektywnie dwuwymiarowym gazie elektronów, poprzeczne przewodnictwo (nazywane przewodnością Halla) jest proporcjonalne do pewnej liczby całkowitej, która jest niezmiennikiem topologicznym znanym jako pierwsza liczba Cherna. W takim układzie występują zlokalizowane stany krawędziowe, które przewodzą prąd z zerowym oporem, ze względu na ochronę topologiczną. Stany tego typu są ogólną cechą układów topologicznych i mają potencjalne zastosowanie między innymi w elektronice (bezstratny transport prądu) czy informatyce kwantowej (qubit chroniony topologią).

W głównej części projektu będą rozpatrywane efekty związane z oddziaływaniami między cząstkami w dwuwymiarowych układach krystalicznych, takich jak izolatory Cherna i izolatory topologiczne. W układach tych występują przewodzące stany krawędziowe, podczas gdy w swojej objętości są one izolatorami. W izolatorach topologicznych, w przeciwieństwie do izolatorów Cherna, zachowana jest symetria odbicia w czasie. W układach takich, oddziaływania prowadzą do powstania silnie skorelowanych, nieściśliwych cieczy kwantowych, które w tym przypadku nazywane są Ułamkowymi Izolatorami Cherna i Ułamkowymi Izolatorami Topologicznymi. Podczas gdy w układach swobodnych istnieją zawsze tylko dwie statystyki bozonowa i fermionowa, w cieczach takich występują kwazicząstki o odmiennych, tak zwanych ułamkowych statystykach, są one nazywane anyonami. Stany takie konkurują z krystalizacją Wignera. Kryształy Wignera są stanami silnie zlokalizowanych elektronów, które tworzą sieć krystaliczną. W projekcie będzie rozpatrywane między innymi przejście pomiędzy fazą Ułamkowych Izolatorów Cherna i Kryształami Wignera, oraz analizowane własności anyonów dla różnych współczynników zapelnienia.

Oddziaływania elektronowe w układzie kwantowym mogą nie tylko prowadzić do powstania cieczy kwantowych o ułamkowych statystykach, ale również mogą być odpowiedzialne za zmianę topologii układu. Oznacza to, że układ trywialny topologicznie na skutek oddziaływań może przejść do stanu nietrywialnego. Efekt taki spodziewany jest między innymi w skręconych dwuwarstwach grafenu i innych skręconych dwuwarstwach atomowo cienkich kryształów. Grafen jest dwuwymiarowym kryształem węgla o grubości jednego atomu, którego odkrycie zostało uhonorowane nagrodą Nobla w 2010 roku. Nie dawno pokazano, że własności dwóch warstw grafenu położonych na sobie i obróconych względem siebie o niewielki kąt są znacząco różne od pojedynczej warstwy. Między innymi, w tego typu układach może pojawić się płaskie pasmo energetyczne dla specyficznych wartości kąta skręcenia. Otwiera to możliwości w projektowaniu nowych układów kwantowych z silnymi oddziaływaniami pomiędzy elektronami czego konsekwencją mogą być nowe kwantowe stany materii.

Podsumowując, projekt ma na celu zbadanie efektów oddziaływań w strukturach topologicznych, w szczególności własności topologicznych skręconych kryształów dwuwymiarowych, Ułamkowych Izolatorów Cherna, Ułamkowych Izolatorów Topologicznych oraz krystalizacji Wignera.