

W czasach, gdy Dirac formułował kwantową teorię elektronu, żył jeszcze jeden naukowiec, który na stałe zapisał się w kartach historii, choć jego nazwisko jeszcze do niedawna nie było powszechnie rozpoznawalne. Co ciekawe, naukowiec ten, jak szybko się pojawił, tak szybko zniknął. Od jego tajemniczego zaginięcia minął już niemal wiek, jednak jego dziedzictwo pozostaje wciąż żywe. Mowa o Ettore Majoranie, który w 1937 roku opublikował przełomową pracę prezentującą teoretyczne podstawy istnienia fermionów, tj. cząstek o połówkowym spinie jak np. elektron, które jednocześnie są swoimi antycząstkami.

Acz istnienie fermionów Majorany jest wciąż przedmiotem dyskursu naukowego, na początku obecnego wieku okazało się, że podobne obiekty można wytworzyć w formie kwazicząstek w odpowiednio przygotowanych nanostrukturach. Tego typu kwazicząstki, znane jako stany związane Majorany, za sprawą nowych odkryć w obszarze badań dotyczących topologicznych właściwości materii, stały się przedmiotem ogromnego zainteresowania fizyków materii skondensowanej oraz naukowców zajmujących się informatyką kwantową. W matematyce, topologia jest dziedziną zajmującą się własnościami, które nie ulegają zmianie w wyniku ciągłych przekształceń matematycznych obiektów. W fizyce ciała stałego topologia również odgrywa istotną rolę, lecz w kontekście struktury elektronowej różnego typu materiałów. I tak, możemy wyróżnić np. topologiczne izolatory czy też topologiczne nadprzewodniki. Jednowymiarowe odpowiedniki tych ostatnich są właśnie świetnymi kandydatami do wytworzenia stanów związanych Majorany. Stany takie charakteryzują się równoważnością opisujących ich operatorów kreacji i anihilacji, dodatkowo występują parami, oraz nie podlegają statystyce Fermiego-Diraca, co odróżnia je od zwykłych fermionów. **Powyższe własności czynią z nich interesujący przykład egzotycznych kwazicząstek.** Takie stany tworzą się na końcach jednowymiarowego topologicznego nadprzewodnika (drutu Majorany), a ich istnienie prowadzi do pojawienia się anomalnego wzrostu zero-napięciowej przewodności elektrycznej.

Właśnie takie druty Majorany oraz ich oddziaływanie z dołączonymi sztucznymi atomami i molekułami jest przedmiotem badań niniejszego projektu. W jego ramach planuje się w szczególności przeanalizować własności transportowe układu podwójnej kropki kwantowej sprzężonego ze stanami związanymi Majorany. Nowym aspektem względem istniejących badań będzie uwzględnienie wpływu zależnego od spinu transportu na przewodność hybrydowych układów jedno i zero-wymiarowych. Badania spinowo-zależnego transportu kwantowego mają długą tradycję w dziedzinie spintroniki, która cały czas przyciąga zainteresowanie czołowych badaczy z całego świata, jednak w kontekście współoddziaływania z topologicznymi stanami Majorany nie były dotąd zbyt intensywnie eksplorowane.

Wspomniane sztuczne atomy lub molekuly mogą być reprezentowane przez kropki kwantowe. Są to dobrze już poznane obiekty zero-wymiarowe, w których elektron jest ograniczony we wszystkich trzech wymiarach przestrzennych. Mimo głębokiego zrozumienia, kropki kwantowe cały czas są ważnym punktem zainteresowań fizyków. Jednym z istotnych obszarów jest transport kwantowy, a w szczególności efekt Kondo, za sprawą którego w niskich temperaturach, rzędu pojedynczych kelwinów, następuje wzrost przewodności elektrycznej pomiędzy elektrodami, które łączy kropka kwantowa. Efekt ten ujawnia się w przypadku obecności silnych korelacji elektronowych, jak np. oddziaływanie kulombowskie. To zwiększone przewodnictwo w granicy zerowej temperatury osiąga stałą wartość $2e^2/h$. Bardziej skomplikowaną strukturą jest podwójna kropka kwantowa, która będzie przedmiotem naszych badań. Obiekt taki umożliwi eksplorację kolejnych interesujących zjawisk fizycznych, a jednym z nich jest dwuetapowy efekt Kondo. W jego wyniku, obecność drugiej kropki kwantowej powoduje stłumienie niskotemperaturowego maksimum przewodności, a tym samym zablokowanie transportu elektronowego pomiędzy kontaktami.

Okazuje się, że w obecności topologicznego nadprzewodnika, fizyka Kondo oraz Majorany zaczynają ze sobą konkurować, zmieniając charakterystykę przewodności układu podwójnej kropki kwantowej. Oddziaływanie ze stanem związanym Majorany powoduje ponowny wzrost przewodności w niskich temperaturach, jednak ograniczając je do $1/4$ jej początkowej wartości. Zagadnieniu temu chcemy się bliżej przyjrzeć, gdy źródłem elektronów są spinowo-spolaryzowane ferromagnetyczne elektrody. Z dotychczasowych badań wiemy, że obecność topologicznego nanodrutu wprowadza polaryzację spinową na kropce kwantowej, dlatego jesteśmy ciekawi efektów wynikających z obecności ferromagnetyzmu w układzie. W ramach planowanych zadań, naszym celem będzie również dostarczenie nowej wiedzy dotyczącej efektów termoelektrycznych, takich jak np. przewodność cieplna czy efekt Seebecka. Wierzimy, że realizacja projektu przyczyni się do lepszego zrozumienia współoddziaływania korelacji elektronowych z topologicznymi własnościami materii. Stanowi to obecnie ważny problem badawczy, mający potencjalne znaczenie dla zagadnień obejmujących topologiczne obliczenia kwantowe czy też nanoelektronikę spinową.