

Niespełna pół wieku minęło odkąd P. W. Anderson opublikował w *Science* dość przełomowy artykuł "*More is Different*". W swojej publikacji Anderson przedstawia hierarchiczną strukturę nauki i wysuwa hipotezę, że wiedza o zachowaniu kilku cząstek nie jest wystarczająca, aby przewidzieć zachowanie bardziej złożonych układów. Prowadzi to wprost do konkluzji, iż wzrost złożoności układu może doprowadzić do pojawienia się w nim nowych, zupełnie nieoczekiwanych zjawisk i własności. Istotnie, w ciągu ostatnich dziesięcioleci byliśmy świadkami kilku zadziwiających odkryć, z których topologicznie chronione stany materii stanowią bardzo ważny przykład, a za których badanie Thouless, Haldane i Kosterlitz otrzymali Nagrodę Nobla w 2016 roku. Ponieważ stany topologiczne są chronione przez symetrie układu, są one bardzo stabilne oraz nieczułe na lokalne defekty i dekoherencję, co czyni je bardzo obiecującymi dla spintroniki i informatyki kwantowej oraz sprawia, że badania ukierunkowane na topologiczne stany materii są obecnie intensywnie prowadzone w wiodących ośrodkach na całym świecie. W tym kontekście na szczególną uwagę zasługują topologiczne nadprzewodniki, w których mogą występować kwazicząstki o cechach podobnych do fermionów Majorany – cząstek, które są jednocześnie swoimi antycząstkami, a których istnienie przewidział Ettore Majorana w 1937 roku. Choć istnienie takich elementarnych cząstek jest wciąż przedmiotem dyskursu naukowego, okazuje się, że kwazicząstki pojawiające się na końcach nanodrutu topologicznego nadprzewodnika wykazują cechy fermionów Majorany. ***Właśnie takie kwazicząstki Majorany i ich oddziaływanie z silnie skorelowanymi układami niskowymiarowymi są głównym przedmiotem badań niniejszego projektu badawczego.***

Istnienie kwazicząstek Majorany na końcach topologicznych drutów nadprzewodnikowych można między innymi potwierdzić przy pomocy spektroskopii tunelowej – obecność takich egzotycznych modów prowadzi do powstania anomalii zero-napięciowej w przewodności różniczkowej układu. Co więcej, kwazicząstki Majorany mogą również wpływać na zachowanie transportowe przyłączonych do drutu układów zerowymiarowych, takich jak kropki kwantowe, gdzie wnikanie modów Majorany prowadzi do ułamkowych wartości przewodności. Takie hybrydowe, tj. sprzężone zero i jednowymiarowe układy dają wyjątkową możliwość eksploracji fundamentalnych oddziaływań pomiędzy topologicznie chronionymi stanami materii a korelacjami elektronowymi, takimi jak te prowadzące do wystąpienia zjawiska Kondo. Efekt Kondo pojawia się w odpowiednio niskich temperaturach, a jego obecność sygnalizuje uniwersalny wzrost przewodności układu do maksymalnej wartości. Badania dotyczące wzajemnego oddziaływania zjawiska Kondo z kwazicząstkami Majorany były jak dotąd prowadzone głównie dla stosunkowo prostych modeli. Ponieważ własności realnych układów nie zawsze da się opisać takimi modelami, przeanalizowanie własności transportowych hybrydowych układów niskowymiarowych, obejmujących druty topologicznego nadprzewodnika oraz kropki kwantowe, w których mogą pojawić się bardziej złożone zjawiska Kondo, jest bardzo istotne.

Stąd też głównym celem projektu jest rozwinięcie teorii i zrozumienie współoddziaływania pomiędzy kwazicząstkami Majorany pojawiającymi się w topologicznych układach jednowymiarowych oraz silnymi korelacjami elektronowymi prowadzącymi do powstania różnych egzotycznych zjawisk Kondo, zarówno w transporcie elektrycznym, jak i termoelektrycznym.

Badania zostaną przeprowadzone przy użyciu nowoczesnych metod numerycznych i analitycznych, które zostaną odpowiednio zaadaptowane do przeanalizowania własności transportowych rozpatrywanych układów hybrydowych. Metody te obejmują między innymi metodę numerycznej grupy renormalizacji, która jest obecnie uważana za jedną z najbardziej dokładnych metod stosowanych do badania transportu przez nanostruktury. Pozwoli to na otrzymanie nowych i wiarygodnych wyników oraz przewidywań dotyczących transportu kwantowego w sprzężonych układach jedno i zerowymiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem silnych korelacji oraz współoddziaływania fizyki Kondo oraz kwazicząstek Majorany. Można oczekiwać, że projekt nie tylko dostarczy nowej wiedzy, ale przyczyni się także do wzmożenia dalszych, zarówno teoretycznych i eksperymentalnych, badań dotyczących topologicznych stanów oraz korelacji w nanostrukturach.