

Nadprzewodnictwo jest od ponad wieku jednym z najbardziej fascynujących zjawisk, w którym kwantowa natura materii przejawia się na skalę makroskopową poprzez idealne przewodnictwo (zanik oporu) oraz idealny diamagnetyzm (zjawisko Meissnera). Mechanizm nadprzewodnictwa jest niedłacznie związany z parowaniem elektronów, którego pochodzenie może być różne. Parowanie miesza ze sobą cząstki (stany obsadzone) i dziury (stany puste), prowadząc do zachowania wykraczającego poza paradygmat cieczy Fermiego. Rozwój technologii stworzył w ostatnich latach nowe możliwości uzyskiwania nadprzewodnictwa w obiektach submikroskopowych, takich jak atomy, molekuly, rurki węglowe, nanodrutki oraz w innych układach o przestrzennie ograniczonych rozmiarach. Parowanie elektronowe jest w takich obiektach indukowane zjawiskiem bliskości, poprzez sprzężenie z litymi rezerwuarami nadprzewodzącymi.

Konfrontując zaindukowane parowanie elektronów z odpychaniem kulombowskim oraz innymi formami oddziaływania (jak spin-orbita czy wywołanych polem magnetycznym) można zaobserwować bardzo egzotyczne zjawiska, kompletnie odmienne od znanych w układach litych. Na przykład (w kontrolowalnym empirycznie sposób) można zrealizować jakościową zmianę stanu podstawowego, tzw. *kwantowe przejście fazowe*. W obwodach zbudowanych z dwóch nadprzewodników oraz skorelowanej wyspy nanoskopowej między nimi, takie przejście kwantowe powoduje odwrócenie kierunku prądu Josephsona. W innych konfiguracjach tunelowych złożonych z elektrod normalnych i nadprzewodzących takie przejście kwantowe przejawia się poprzez krzyżowanie energii kwazicząstkowych i ewentualnie może implikować *konstruktywny wpływ parowania elektronowego na wielociałowe zjawisko Kondo* (podczas, gdy w materiałach litych parowanie jest zjawiskiem konkurencyjnym do uporządkowania magnetycznego). W bardziej złożonych strukturach wieloelektrodowych można jeszcze obserwować inne intrygujące zjawiska *nielokalnych procesów rozpraszania* wywołanych krzyżowmi odbiciami Andreeva. Mogą one prowadzić w rezultacie do *ujemnego przewodnictwa ładunkowego* oraz wyjątkowych charakterystyk termoelektrycznych, z których żadna nie jest osiągalna w litych nadprzewodnikach. Wszystkie z wymienionych zjawisk mają ścisłe powiązanie z powstawaniem w nanoukładach **stanów związanych Yu-Shiby-Rusinowa (lub Andreeva)** w zakresie poniżej przerwy energetycznej rezerwuaru nadprzewodzącego.

W ostatnich kilku latach olbrzymi wysiłek (teoretyczny i doświadczalny) był skierowany na badanie egzotycznych właściwości nanoskopowych nadprzewodników topologicznych. Taka faza nadprzewodząca (charakteryzowana niezmiennikami topologicznymi) została rzeczywiście zaobserwowana w nanoskopowych łańcuchach z zaindukowanym parowaniem, wykazując kwazicząstki typu Majorany w niskoenergetycznym widmie. Takie egzotyczne cząstki (równoważne swoim antycząstkom) wyłaniają się przy energii zerowej (którą należy rozumieć tutaj jako potencjał chemiczny) w pobliżu końców łańcucha. Kwazicząstki Majorany są chronione topologicznie (tzn. lokalne zaburzenia nie mają na nie wpływu), z tego względu są odporne na dekoherencję. Co więcej, podlegają one statystyce nieabelowej (są anyonami) dlatego są idealnymi kandydatami na bity kwantowe (qubity) które umożliwiłyby kwantowe obliczenia bez ryzyka pomyłki. Formalnie takie mody Majorany są mutacją stanów związanych, które realizują się w specyficznych warunkach fizycznych.

W obecnym projekcie zbadamy te oraz pokrewne zjawiska, realizujące się unikalnie w niskowymiarowych układach nadprzewodzących o skończonych rozmiarach. Nasze badanie będą przeprowadzone we współpracy z naukowcami z Polski i zagranicy. Takie zagadnienia naukowe są aktualnie ważne dla badań podstawowych oraz mogą się okazać pomocne przy konstruowaniu nowych urządzeń nanoelektronicznych.