

Wszyscy jesteśmy świadkami szybkich postępów w miniaturyzacji urządzeń elektronicznych. Dzięki niej nasze telefony dysponują mocą obliczeniową dawnych superkomputerów (zajmujących całe pomieszczenia), umożliwiającą coraz szybszy przesył danych, obsługę ekranów dotykowych i anten odbierających sygnał GPS, czy wreszcie korzystanie z niezliczonych aplikacji. Nie ulega wątpliwości, że dalsze prace nad miniaturyzacją będą postępować, ponieważ konsumenci oczekują coraz mniejszych, bardziej energooszczędnych, a także bardziej efektywnych urządzeń. Prowadzi to do operowania układami o rozmiarach nanometrów, które z powodu swych rozmiarów nazywane są *nanostrukturami*. To jednak oznacza, że w układach tych istotną rolę zaczynają odgrywać nowe zjawiska, związane z kwantową naturą elektronów oraz fundamentalnych oddziaływań między nimi. W istocie, są one nie tylko przedmiotem licznych teoretycznych analiz, ale także konkretnych obserwacji i pomiarów przeprowadzanych na specjalnie wytworzonych nanostrukturach.

Ważnym przykładem możliwych do wytworzenia nanostruktur są układy *kropek kwantowych*. W praktyce, są to najczęściej obszary o rozmiarach rzędu nanometrów, wydzielone z powierzchni złącza dwóch półprzewodników za pomocą metalicznych elektrod odizolowanych od półprzewodników warstwą tlenku. Zważywszy na możliwość uwięzienia elektronów na takiej powierzchni, kropki kwantowe pełnią rolę pułapek/pojemników na elektrony. Ponadto, po podłączeniu dodatkowych elektrod zewnętrznych, mogą przewodzić prąd. Co ważne, dobierając odpowiednio napięcia na elektrodach, można w znacznym stopniu sterować ich własnościami, dzięki czemu istnieje nadzieja, że znajdą one zastosowanie w elektronice przyszłości. Jednak, zanim do tego dojdzie, konieczne jest dokładne zrozumienie zachodzących w nich zjawisk, które są tyleż skomplikowane, co fascynujące. Celem projektu jest zbadanie niektórych z nich.

Jednym z podstawowych zjawisk zachodzących w układach kropek kwantowych jest tzw. *blokada kulombowska*. Polega ona na tym, że elektron już uwięziony na kropce kwantowej odpycha inne elektrony znajdujące się w pobliżu (ładunki elektryczne o tym samym znaku się odpychają), przez co nie mogą one wskoczyć na tą kropkę i nie może przez nią płynąć prąd. Jednakże okazuje się, że w odpowiednio niskich temperaturach dzieje się rzecz niezwykła: w wyniku dopuszczonych przez mechanikę kwantową wirtualnych przeskoków elektronów przepływ prądu staje się możliwy, mimo że ich odpychanie nie ustaje. Efekt ten nosi nazwę *mezoskopowego efektu Kondo* i został przewidziany i zaobserwowany w kropkach kwantowych już pod koniec ubiegłego stulecia. Kolejnym kwantowym efektem obserwowanym w układach kropek kwantowych jest *interferencja* między elektronami przeskakującymi przez układ kropek kwantowych różnymi drogami, dowodząca posiadania przez nie częściowo falowej natury. Jeszcze innym osobliwym zjawiskiem, któremu czasem ulegają uwięzione w sąsiednich kropkach kwantowych elektrony, jest tendencja do ustawiania momentu magnetycznego przeciwnie do momentu magnetycznego sąsiada. Ułożenie trzech kropek kwantowych tak, by tworzyły trójkąt prowadzi do sytuacji, w której tendencja ta nie daje się zrealizować dla każdej pary sąsiadów. O takim układzie mówi się, że jest *sfrustrowany*. Wiąże się to zwykle z podatnością układu na zaburzenia zewnętrzne.

Wszystkie zjawiska opisane w poprzednim akapicie stanowią przykłady tzw. *korelacji elektronowych* i zostały już dość dokładnie przebadane w sytuacjach, gdy każde z nich zachodzi osobno. Niektóre były też badane w układach, w których występują dodatkowe efekty spowodowane przez elektrody (np. ferromagnetyczne lub nadprzewodzące). W ramach niniejszego projektu zaproponowane zostały teoretyczne badania dwóch układów, w których wiele korelacji występuje jednocześnie, co może prowadzić do zupełnie nowych zjawisk, być może nadających analizowanym układom niezwykle lub pożyteczne właściwości. Pierwszym będzie podwójna kropka kwantowa umieszczona między dwiema elektrodami metalicznymi i dodatkowo umieszczona w pobliżu elektrody nadprzewodzącej. Celem tych badań będzie ustalenie wpływu nadprzewodnika na efekt Kondo i efekty interferencyjne. Drugim układem będą trzy kropki kwantowe ułożone w trójkąt (a więc sfrustrowane), z których jedna połączona jest z dwiema elektrodami ferromagnetycznymi. W tym układzie szczególnie ciekawe są własności stanu, który staje się stabilny w niskiej temperaturze.

Podsumowując, projekt „*Efekt Kondo w złożonych układach skorelowanych kropek kwantowych*” koncentruje się na teoretycznych badaniach układów kropek kwantowych, w których występuje wiele korelacji jednocześnie. Jest to obszar, w którym zjawiska kwantowe są obecnie obserwowane w laboratoriach, a niedługo być może staną się podstawą funkcjonowania nowych urządzeń. Podjęte teoretyczne analizy mają na celu przewidzenie własności dwóch konkretnych układów, możliwych do realizacji w laboratorium, w nadziei na odkrycie nowych zjawisk lub stwierdzenie potencjalnie wartościowych cech.