

## **Popularyzacyjne streszczenie projektu „Fluktuacje prądowe i spinowe w układach kropek kwantowych”**

Postępy miniaturyzacji oraz metod badawczych otworzyły możliwości badania zjawisk fizycznych w układach wielkości pojedynczych nanometrów (układach nanoskopowych). Zjawiska zachodzące w tej skali różnią się od tych, z którymi mamy kontakt w naszym codziennym doświadczeniu. Z jednej strony, w układach nanoskopowych istotną rolę mogą odgrywać efekty opisywane przez mechanikę kwantową, takie jak interferencja kwantowa (np. efekt Aharonova-Bohma). Z drugiej strony, dynamika tego typu układów ma charakter stochastyczny, tzn. przypadkowy. W związku z tym obserwowane są znaczące fluktuacje mierzonych wielkości jak prąd czy moment magnetyczny. Tego typu fluktuacje mogą dostarczać cennych informacji o naturze zjawisk fizycznych zachodzących w układzie. Co więcej, procesy stochastyczne mogą prowadzić do zupełnie nowych zjawisk fizycznych, jak np. działanie opartych o urządzenia nanoelektroniczne demonów Maxwella lokalnie zmniejszających entropię układów.

Nasza uwaga poświęcona będzie teoretycznej analizie układów kropek kwantowych, zwanych też sztucznymi atomami. Są to układy, w których pojedyncze elektrony uwięzione są w strukturach wielkości pojedynczych nanometrów, co powoduje skwantowanie poziomów energetycznych. Układy kropek kwantowych zapewniają dogodne możliwości badania procesów zachodzących w nanoskali ze względu na łatwość kontroli ich parametrów, takich jak położenie poziomów energetycznych czy wielkość sprzężenia z elektrodami, a także możliwość stosunkowo prostego opisu teoretycznego.

Jednym z aspektów projektu będzie badanie fluktuacji prądu przepływającego przez kropki kwantowe. Takie fluktuacje będziemy charakteryzować z użyciem metod fizyki statystycznej. Szczególną uwagę poświęcimy zastosowaniu nowego podejścia badającego rozkłady statystyczne czasów oczekiwania pomiędzy kolejnymi zjawiskami tunelowania. Podczas gdy większość badań transportu elektronowego dotyczy własności stanu stacjonarnego (dla długich czasów pomiarów), nasze badania koncentrują się na procesach zachodzących w krótkich skalach czasowych (tzw. prądach transjentnych). Tematyka ta cieszy się dużym zainteresowaniem w ostatnich latach, gdyż jest istotna zarówno z punktu widzenia poznania podstawowych zjawisk fizycznych, jak i zastosowań, np. w analizie dynamiki kubitów (kwantowych odpowiedników bitów). Będziemy badać jak na fluktuacje prądowe wpływają zjawiska wynikające z kwantowej natury oddziaływań kropki kwantowej z elektrodami. Jednym z takich procesów jest interferencja kwantowa, związana z dodawaniem się funkcji falowych elektronów przepływających po różnych ścieżkach. Innymi są zjawiska pamięciowe, w wyniku których ewolucja układu nie zależy wyłącznie od jego obecnego stanu, ale i jego historii. Badanie fluktuacji pozwoli na głębsze zrozumienie wpływu tych efektów na dynamikę procesów stochastycznych zachodzących w analizowanych układach. Jest to interesujące z powodów poznawczych, tym bardziej, że podobne zjawiska występują nie tylko w kropkach kwantowych, ale i atomach we wnękach rezonansowych, nanostrukturach nadprzewodnikowych, a być może nawet układach biologicznych. Nasze badania są też potencjalnie istotne z punktu widzenia zastosowań układów kropek kwantowych w nanoelektronice. Przekładowo, będziemy badać czy efekty kwantowe mogą zmniejszać fluktuacje w układach nanoelektronicznych, i tym samym zwiększać przewidywalność ich działania.

Poza ładunkiem, istotną cechą elektronu jest jego spin czyli własny moment pędu, związany z jego momentem magnetycznym. W ostatnich czasach możliwe stało się obserwowanie fluktuacji momentu magnetycznego pojedynczych elektronów z kropkami kwantowych. Analiza tego typu fluktuacji dostarcza informacji o dynamice spinowej układu bez konieczności zaburzania go, jak to ma miejsce w metodach rezonansu magnetycznego. Nasze badania poświęcone będą m.in. zjawiskom przełączania pomiędzy dwiema fazami dynamiki układu – silnie i słabo fluktuującą. Tego typu procesy mogą odgrywać istotną rolę w złożonych układach magnetycznych, np. łańcuchach spinowych. Dlatego wartościowe jest głębsze zrozumienie takich procesów przy użyciu prostych modeli złożonych z kilku kropek kwantowych. Chcemy m.in. zbadać, czy analiza szumu spinowego pozwala na określenie szybkości procesu przełączania. Badanie dynamiki spinów w układach kropek kwantowych może być też istotne z punktu widzenia ich zastosowań w dziedzinie spintroniki, np. jako kubitów w komputerach kwantowych.