

INSTYTUT FIZYKI MOLEKULARNEJ POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ROZPRAWA DOKTORSKA

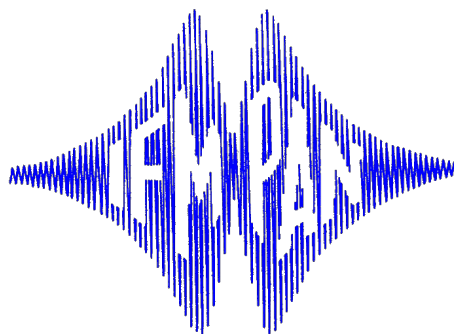
**Nierównowagowa fizyka statystyczna
układów kropek kwantowych:
fluktuacje prądowe i termodynamika
przepływu informacji**

mgr inż. Krzysztof Ptaszyński

Promotor:

prof. dr hab. Bogdan R. Bułka

Zakład Teorii Ciała Stałego



POZNAŃ 2019

Streszczenie

Rozprawa doktorska poświęcona jest zastosowaniu nowego i obecnie dynamicznie rozwijanego formalizmu nierównowagowej fizyki statystycznej do opisu dynamiki i termodynamiki małych układów w stanach dalekich od równowagi termodynamicznej, a w szczególności – układów kropek kwantowych sprzężonych z elektrodami. Z jednej strony, celem rozprawy była charakteryzacja wpływu dynamiki badanych układów na fluktuacje przepływających przez nie prądów. Z drugiej strony, analiza układów kropek kwantowych służyć miała poznaniu uniwersalnych praw rządzących dynamiką i termodynamiką procesów fizycznych zachodzących w nanoskali.

Pierwsza część rozprawy analizuje wpływ dynamiki mikroskopowej układów kropek kwantowych na fluktuacje prądowe. W szczególności, skupiono się na zastosowaniu podejścia charakteryzującego rozkłady statystyczne czasów oczekiwania pomiędzy kolejnymi przeskokami elektronów. Pokazano, że takie rozkłady dostarczają dodatkowych informacji o dynamice układu zachodzącej w krótkich skalach czasowych (np. koherentnych oscylacjach spinowych) w porównaniu z wielkościami zazwyczaj stosowanymi do opisu fluktuacji prądowych, takimi jak współczynnik Fano. Wyprowadzono także nowe matematyczne zależności pomiędzy wielkościami charakteryzującymi fluktuacje prądowe w długich i krótkich skalach czasowych.

Dalsza część pracy omawia wpływ koherencji kwantowej na funkcjonowanie nanosilników cieplnych. Pokazano, że koherencja kwantowa pozwala na redukcję fluktuacji ich mocy, a przez to na zwiększenie stabilności ich działania. Wynika to z faktu, że w klasycznych układach stochastycznych fluktuacje mocy nie mogą być zredukowane poniżej pewnej granicy określonej przez odkrytą niedawno termodynamiczną zasadę nieoznaczoności. W rozprawie pokazano natomiast, na przykładzie generatora termo-

elektrycznego opartego o kropki kwantowe, że zasada ta nie obowiązuje dla kwantowych silników cieplnych.

Ostania część rozprawy poświęcona jest analizie związków pomiędzy termodynamiką a teorią informacji. Ilustracją takich związków jest działanie tzw. autonomicznych demonów Maxwella, to znaczy układów, w których jeden podukład chłodzi swoje otoczenie o jednolitej temperaturze i zamienia ciepło w pracę (pozornie łamiąc drugą zasadę termodynamiki) na skutek kontroli jego dynamiki przez inny podukład. Dotychczasowe badania w tym zakresie dotyczyły układów klasycznych. W niniejszej pracy zaproponowano natomiast model autonomicznego demona Maxwella, którego działanie oparte jest o koherentną dynamikę spinową. W celu jego ilościowego opisu teoretycznego wyprowadzono uogólnioną postać drugiej zasady termodynamiki wiążącą lokalny bilans prądu ciepła z prądem kwantowej informacji.

Wyniki pracy przyczyniają się do lepszego zrozumienia dynamiki i termodynamiki układów nanoskopowych – nie tylko kropek kwantowych, ale i np. układów biomolekularnych czy urządzeń nadprzewodnikowych. Pokazuje to, że analiza układów nanoelektronicznych jest dogodnym punktem wyjścia do poznania zjawisk fizycznych w nanoskali i praw rządzących nimi.