

# Termodynamika nanostruktur w niskich temperaturach

## Jak zmierzyć temperaturę rzucając monetą?

Maciej Zgirski, Instytut Fizyki, PAN

### MOTYWACJA

Badania właściwości magnetycznych i elektrycznych w nanofizyce niskich temperatur są znacznie bardziej popularne niż badania efektów termicznych. W dużej mierze dzieje się tak ze względu na brak szybkich termometrów, które można byłoby łatwo zintegrować z nanostrukturami. A przecież rozumienie procesów termicznych w nanoskali jest niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania urządzeń kwantowych i powinno być uwzględnione przy projektowaniu nanokalorymetrów czy bolometrów. Kalorymetry są urządzeniami mierzącymi ilość zaabsorbowanego lub oddanego przez układ ciepła, natomiast bolometry to detektory promieniowania znajdujące zastosowanie w medycynie, sektorach bezpieczeństwa publicznego i astronomii. Nadprzewodzące bolometry wykrywające promieniowanie podczerwone i terahercowe są dostępne komercyjnie i używane np. na lotniskach do bezinwazyjnego skanowania osób. Niezawodne bolometry, które dokonywałyby detekcji mikrofal są dopiero testowane w laboratoriach badawczych. Szybkie termometry znajdują również zastosowanie w termodynamice kwantowej – dyscyplinie zajmującej się badaniem przepływów ciepła na poziomie kwantowym, i kalorytronice – zajmującej się generowaniem i manipulacją prądów cieplnych w innowacyjnych urządzeniach.

### INNOWACJA

Ostatnio zaproponowałem i eksperymentalnie zademonstrowałem termometrię opartą na pomiarach włączeniowych złącza Josephsona (ang. switching thermometry). Pozwala ona na pomiar temperatury nanostruktur w trakcie chłodzenia lub podgrzewania nanostruktury osiągając rozdzielczość na poziomie pojedynczej nanosekundy. W moich pionierskich badaniach, zastosowałem nadprzewodzący mostek aluminiowy sondując go krótkimi impulsami prądowymi ( $\geq 1\text{ns}$ ) i mierząc prawdopodobieństwo jego przełączenia ze stanu nadprzewodzącego do stanu normalnego. To prawdopodobieństwo zależy od temperatury, co umożliwi konstrukcję termometru. Mostek jest próbkowany  $N$  impulsami (np.  $N=10000$ ). W odpowiedzi na każdy impuls mostek może się przełączyć do stanu normalnego lub pozostać w stanie nadprzewodzącym. Ilość włączeń  $n$  w stosunku do ilości podejmowanych prób przełączenia  $N$  określa prawdopodobieństwo przełączenia  $P=n/N$  przy zadanym prądzie i temperaturze. Protokół pomiarowy jest zatem analogiczny do rzucania monetą. Przełączenie to „orzeł”, brak przełączenia – „reszka”. Tyle tylko, że dla mojego mostka, w odróżnieniu od uczciwej monety, prawdopodobieństwo wyrzucenia orła zależy od temperatury. Nikt przedtem nie był w stanie mierzyć temperatury w nanoskali tak szybko.

### CEL

Chcę zaprezentować działanie opartych na moim pomysle nanokalorymetrów i bolometrów wykorzystujących protokół pomiarowy wprowadzonej przeze mnie termometrii. Kalorymetry stworzą platformę do pomiarów ciepła właściwego nanoskopowych wysp i cienkich warstw metalicznych w temperaturach kriogenicznych. Przebadam również przekaz ciepła mediowany przez fotony mikrofalowe demonstrując ich detekcje w bolometrze. Fotony będą produkowane przez zewnętrzne źródło mikrofalowe i doprowadzane do bolometru umiejscowionego w chłodziarce, lub emitowane przez oporniki będące częścią testowanej nanostruktury (taka emisja to nic innego jak promieniowanie ciała doskonale czarnego charakterystyczne dla każdej niezerowej temperatury). Postaram się również zmierzyć propagację fononów pomiędzy dwoma obwodami zdefiniowanymi na wierzchu krzemowego chipa.