

Badanie układów hybrydowych zawierających stany związane Majorany.

W 1937 r. Ettore Majorana wprowadził nową symetrię do świata fizyki kwantowej. W swoich badaniach zaproponował sytuacje na pozór niemożliwą – by cząstka jednocześnie była swoją antycząstką. Dla typowej cząstki, np. elektronu, spotkanie z antycząstką, pozytonem wiązało by się z natychmiastową anihilacją w błysku „światła” o energii łącznej około 1.022 MeV. Dla fermionu Majorany efekt był zgoła inny – miała ona istnieć w wiecznym zawieszeniu, niestety do dzisiaj żaden eksperyment nie był w stanie jej uchwycić. Wychoząc temu naprzeciw, naukowcy z zupełnie innej dziedziny fizyki, fizyki ciała stałego, zaproponowali sztuczne wytworzenie warunków w których cząstka Majorany mogłaby się pojawić.

W serialu „Cosmos” astrofizyk Carl Sagan powiedział: „Jeśli chcesz zrobić szarlotkę od podstaw, musisz najpierw wymyślić Wszechświat” (tłum. własne). Korzystając z tej samej dewizy, stworzenie układu w którym mogłaby manifestować się cząstka Majorany wymagało najpierw stworzenia teoretycznego modelu, który po latach prób i błędów zaowocował stworzeniem „szarlotki” składającej się z następujących składników: nadprzewodnika – materiału, który schłodzony do temperatur bliskich zeru absolutnemu przewodzi prąd bez oporu oraz ekranuje zewnętrzne pole magnetyczne, nanodrutu o silnym sprzężeniu spin-orbita – długim na kilka mikrometrów łańcuchu atomów w którym oddziaływanie pomiędzy ruchem cząstki, a jej spinem wpływa na poziomy energetyczne atomów oraz pola magnetycznego – rozdzielającego poziomy energetyczne ze względu na spin, faworyzując jeden z nich. Wszystko to razem tworzy topologiczny nadprzewodnik, *Wszechświat* (o rozmiarach kilku mikrometrów) w którym ziścił się 80-letni już pomysł Ettore Majorany – kwazicząstka Majorany.

Kwazicząstka, ponieważ nie zachowuje się ona jak żadna znana, typowa cząstka – jest to *coś* pomiędzy fermionem a bozonem, anyon. Kwazicząstki Majorany mogą być wykorzystane w obliczeniach kwantowych dzięki temu, że jako anyony zachowują się one zgodnie ze statystyką nieabelową co pozwala na użycie ich w procesie „splatania w warkocz” (ang. *braiding*) – metody obliczeń kwantowych bazującej na porządku zamiany miejsc kwazicząstek. Pozwala to na zapisanie informacji kwantowej w kolejności zmian cząstek a nie w nich samych, omijając jeden z największych obecnie problemów dotyczących obliczeń kwantowych – dekoherencję, czyli zależną od czasu utratę informacji o stanie kwantowym ze względu na oddziaływanie cząstek z resztą kwantowego świata.

Obliczenia i komputery kwantowe to odpowiedź na nasycenie prawa Moore’a i jednocześnie na problemy z przetwarzaniem informacji którym stawić czoła musi obecna technologia, a przez to cała nasza cywilizacja. Dlatego też utworzenie układu przyjaznego obliczeniom kwantowym przy obecności kwazicząstek Majorany jest bez wątpienia istotne z punktu widzenia obliczeń kwantowych jak i rozwoju całej nauki. W tym granicy proponujemy teoretyczne określenie i zbadanie różnowymiarowych hybryd układów nanourządzeń w których będzie można wytworzyć i wpływać na kwazicząstki Majorany. Badanie takich struktur powinno jednak wykraczać poza eksperymentalnie możliwe cechowanie napięciem i polem magnetycznym o wpływ oddziaływania spin-orbita, różnych materiałów nadprzewodzących o odpowiednich wartościach przerw energetycznych i przede wszystkim geometrycznej kompozycji badanych nanourządzeń.

Sugerujemy więc badanie charakterystyk takich układów analizując ich strukturę energetyczną oraz właściwości transportu elektronowego. Posiadając te informacje będzie można proponować nowe rozwiązania, które jeszcze lepiej wykorzystają fantastyczne zjawiska związane z kwazicząstkami Majorany. Ponadto, badając topologiczne przejścia fazowe, poszerzymy zrozumienie układów dzięki zastosowaniu komplementarnej metody co korzystnie wpłynie na interpretację zawiłych procesów zachodzących w nanourządzeniach zdolnych to wytworzenia kwazicząstek Majorany.

Proponowane badania poruszają fundamentalne problemy zjawisk topologicznych w fizyce ciała stałego i pozwolą na zrozumienie zjawisk zachodzących w topologicznych stanach materii t.j. przewodnictwa przy zerowym napięciu, ułamkowego efektu Josephson’a czy nieabelowej statystyki. Ponadto, innowacyjne nanoukłady pozwolą na rozszerzenie wiedzy na ten temat i pomogą stymulować badania eksperymentalne czy późniejsze zastosowanie w *braiding’u* kwazicząstek w działających układach. Analiza gęstości stanów i charakterystyk transportowych nanourządzeń pozwoli na precyzyjniejsze dopasowanie wymaganych właściwości układów w przyszłej realizacji eksperymentalnej, a ostatecznie w układach komputerów kwantowych. Czasowo zależne obliczenia dotyczące nanodrutów i innych struktur niskowymiarowych, mogą rzucić dodatkowe światło na proces formowania się kwazicząstek Majorany w topologicznych stanach materii. W celu stworzenia komputera kwantowego pozwalającego na zmianę jutra, już dzisiaj należy wnikliwie zbadać naturę zjawisk niezbędnych do jego istnienia.