

Nadprzewodnictwo i kwantowy efekt Halla to dwa niezwykle zjawiska kwantowe, które ukazują zadziwiające i fascynujące zachowania elektronów w ekstremalnych warunkach. Nadprzewodniki przewodzą prąd elektryczny bez żadnego oporu, natomiast w kwantowym efekcie Halla elektrony poruszają się tylko wzdłuż krawędzi materiału – w idealnie uporządkowany sposób i tylko w jednym kierunku. Przez dziesięciolecia oba efekty badano osobno, jednak dzięki postępom w technologii materiałowej i nanofizyce możliwe stało się połączenie ich w jednym układzie.

Celem tego projektu jest zrozumienie, co dzieje się, gdy nadprzewodnictwo spotyka się z kwantowym efektem Halla – a dokładniej: jak zachowują się elektrony na granicy między tymi dwoma światami kwantowymi. Jednym z najbardziej intrygujących efektów takiego połączenia jest powstawanie tzw. chiralnych stanów brzegowych Andreeva. Są to egzotyczne stany kwantowe, w których elektrony i ich „lustrzane odbicia” – dziury – poruszają się razem w jednym kierunku wzdłuż brzegu materiału, tworząc spójne superpozycje kwantowe. W szczególnych warunkach stany te mogą nawet prowadzić do powstania cząstek przypominających fermiony Majorany, które mogą mieć zastosowanie w budowie przyszłych komputerów kwantowych.

Aby zgłębić te zjawiska, projekt wykorzysta zaawansowane symulacje komputerowe i modele teoretyczne. Skupi się na kilku kluczowych pytaniach: Jak dokładnie powstają te stany w materiałach zwanych izolatorami topologicznymi? Jak nadprzewodnictwo oddziałuje z cząstkami typu dziura w materiałach o nietypowej strukturze pasmowej? Co się dzieje, gdy sam nadprzewodnik jest nietypowy i elektrony łączą się w pary o bardziej złożonej symetrii? I wreszcie – jak fizyka stanów Andreeva zmienia się, gdy pojedyncze elektrony są wstrzykiwane do układu jeden po drugim, niczym „latające kubity” kwantowe?

Inspiracją do podjęcia tego tematu są najnowsze eksperymenty, które pokazały, że tworzenie takich hybrydowych układów jest już możliwe – szczególnie w materiałach takich jak grafen, arsenek galu czy magnetycznie domieszkowane izolatory topologiczne. Systemy te otwierają ekscytujące perspektywy nie tylko dla badań podstawowych, ale także dla przyszłych zastosowań w technologiach kwantowych – takich jak generowanie splątanych cząstek czy projektowanie nowych form transportu kwantowego.

Projekt ten ma na celu udzielenie odpowiedzi na kluczowe pytania dotyczące tych hybrydowych układów kwantowych. Dostarczy nowej wiedzy o tym, jak nadprzewodnictwo i efekty topologiczne współdziałają ze sobą, pomoże naukowcom lepiej kontrolować te zjawiska na poziomie mikroskopowym oraz wskaże kierunki dalszych eksperymentów. Ostatecznie badania te przyczynią się do rozwoju nowych technologii kwantowych przyszłości – bardziej zaawansowanych, niezawodnych i skalowalnych.