

Fizyka kwantowego spinowego zjawiska Halla

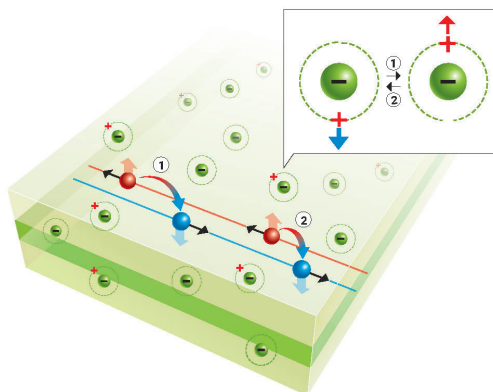
T. Dietl

*Międzynarodowe Centrum Badawcze MagTop,
Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk,
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa*

Wykorzystując wyniki doświadczalne, zgromadzone przez naukowców z Uniwersytetu w Würzburgu i w dwóch warszawskich Międzynarodowych Agendach Badawczych: MagTop/IFPAN i CENTERA/Unipress, przedstawię zjawiska fizyczne odpowiedzialne za niską dokładność kwantyzacji w przypadku kwantowego spinowego zjawiska Halla (QSHE) [1, 2]. Omówię także metodę zwiększenia dokładności kwantyzacji.

Odkrycie, że wartość oporu Halla zależy wyłącznie od stałej Plancka h i ładunku elektronu e w układach dwuwymiarowych w silnych polach magnetycznych ujawniło rolę topologii w fizyce materii skondensowanej. Odegrało też kluczową rolę w zdefiniowaniu w 2019 r. jednostek SI wykorzystując stałe fizyczne, rezygnując przy tym z tradycyjnych wzorców typu kilograma i metra. Ostatnio także w przypadku kwantowego anomalnego zjawiska Halla (QAHE) osiągnięto dokładność o znaczeniu metrologicznym, co pozwala na wytwarzanie wzorców oporu działających bez zewnętrznego pola magnetycznego.

W obrazie mikroskopowym kwantowych zjawisk Halla prąd elektryczny płynie przez jednowymiarowe stany na krawędziach dwuwymiarowej próbki. Wartość oporu elektrycznego jest skwantowana w jednostkach h/e^2 , gdy nie ma rozpraszania do tyłu, tj. przewodnictwo prądu jest chronione topologicznie. W przypadku kwantowego spinowego zjawiska Halla symetria odwrócenia czasu wymaga, aby stany krawędziowe tworzyły parę Kramersa (stany helikalne), jak pokazano na rysunku.



W omawianych pracach [1, 2] rozważono rolę domieszek, które istnieją w każdej próbce, a ich stężenie jest znane z szerokości napięcia bramki, odpowiadającej obszarowi przerwy energetycznej. Określając energie jonizacji domieszek oraz siłę zależnego od spinu oddziaływania między elektronami krawędziowymi a dziurami w stanach akceptorowych w sposób nieperturbacyjny, opisano wielkość średniej drogi elektronu bez rozpraszania między parą stanów krawędziowych. Wykazano także, że domieszki paramagnetyczne, takie jak Mn, mogą przywrócić precyzję kwantyzacji. Wydaje się to dziwne, ale oszacowania ilościowe pokazują, że wokół akceptorów obsadzonych przez dziury tworzą się obszary ferromagnetycznie spolaryzowanych spinów Mn (tzw. związane polarony magnetyczne), które osłabiają sprzężenie między elektronami i dziurami, a tym samym zmniejszają efektywność rozpraszania do tyłu w niskich temperaturach.

Bibliografia

- [1] Dietl T., Effects of charge dopants in quantum spin Hall materials, *Phys. Rev. Lett.* 130, 086202 (2023).
- [2] Dietl T., Quantitative theory of backscattering in topological HgTe and (Hg,Mn)Te quantum wells: Acceptor states, Kondo effect, precessional dephasing, and bound magnetic polaron, *Phys. Rev. B* 107, 085421 (2023).