

Kolektywne wzbudzenia w tlenkach metali przejściowych: nierozwiązane problemy i nowe właściwości

Zastanówmy się nad następującym pozornie zupełnie innym problemem – wyobraźmy sobie, że posiadamy żelatynę i poprzez dodanie wody tworzymy galaretkę. Następnie kładziemy taką galaretkę na stole. Patrząc na nią można zauważyć co następuje. Po pierwsze otrzymaliśmy ciało, którego wygląd i własności są całkowicie inne niż właściwości proszku, z którego ono powstało. Po drugie, kiedy bardzo lekko dotkniemy galaretkę palcem, galaretka może zacząć trząść się tam i z powrotem. W końcu, gdy, na przykład za pomocą noża, zrobimy małą dziurę w galaretkę, niektóre własności galaretki się zmieniają. Na przykład, gdy teraz delikatnie dotkniemy galaretkę, w zależności od kształtu otworu (na przykład, gdy jest on bardzo głęboki i wystarczająco duży), zarówno oscylacje galaretki mogą się zmienić jak i również otwór wykonany w galaretkę może zacząć się trząść w pewien specyficzny sposób. Chociaż z pozoru powyższy problem wydaje się raczej łatwy, to modelowanie matematyczne takiego problemu nie jest proste. Zwłaszcza jeśli np. chcemy przy pomocy obliczeń przewidzieć wielkość i kształt oscylacji galaretki oraz dziury w obecności dziury w galaretkę.

Okazuje się, że projekt, który planujemy przeprowadzić jest zaskakująco podobny do opisanego powyżej problemu. Wystarczy, że: (i) zastąpimy żelatynę elektronami; (ii) pomieszamy elektrony z odpowiednimi jonami pozwalającymi na utworzenie odpowiedniego kryształu wykazującego tzw. silne korelacje i lokalizację elektronów (zamiast mieszać żelatynę z wodą); (iii) naświetlimy kryształ promieniowaniem rentgenowskim prowadząc do powstania kolektywnych wzbudzeń w kryształach (zamiast pchania galaretki palcem); (iv) zmieniając niektóre jony w kryształach dodamy lub usuniemy niektóre elektrony i zaobserwujemy zmiany we wzbudzeniach (zamiast tworzyć dziurę w galaretkę używając noża i obserwować zmiany w oscylacjach).

Dokładniej mówiąc, będziemy głównie zajmować się problemem drgań związanych ze spinowymi i orbitalnymi stopniami swobody elektronów w dużej klasie związków zwanych tlenkami metali przejściowych. Będziemy badać oddziaływanie między tymi dwoma rodzajami drgań ze sobą wraz z dodatkowo dodanym lub usuniętym ładunkiem. Głównym celem naszych badań jest matematyczne modelowanie zachowania takiego układu, które może być następnie sprawdzone eksperymentalnie. W ten sposób powinniśmy być w stanie zrozumieć taki złożony system w sposób maksymalnie jednoznaczny.

Powyższy problem jest interesujący nie tylko z czysto naukowego punktu widzenia. Okazuje się, że niektóre tlenki metali przejściowych posiadają spektakularne i ciągle niezrozumiałe właściwości, takie jak np. nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe. Dlatego też lepsze zrozumienie ich skomplikowanej fizyki może znacząco przyczynić się do poznania nowych własności tych materiałów.