

W projekcie badane będą materiały kwantowe będące w centrum zainteresowania współczesnej teorii materii skondensowanej. Bardzo istotną rolę w materiałach kwantowych odgrywa tzw. splątanie kwantowe. Jest to zjawisko fizyczne dla par lub grup cząstek, charakteryzujące się tym, że stan każdej z cząstek nie może zostać podany niezależnie od stanów innych, nawet jeśli odległość pomiędzy składowymi układami jest bardzo duża. Dla takich stanów dwucząstkowych, obserwator A (Alicja) zobaczy tylko jedną cząstkę natomiast obserwator B (Bob) zobaczy w tym samym momencie cząstkę do niej komplementarną. Własności fizyczne układów kwantowych ze splątaniem stanowią jedno z wyzwań współczesnej fizyki i decydują o własnościach materiałów kwantowych. Najczęściej okazuje się, że splątanie w tych materiałach dotyczy wielu stopni swobody co powoduje złożone i nieoczywiste własności. Celem naukowym tego projektu jest dokonanie postępu w zrozumieniu złożoności w silnie skorelowanych materiałach kwantowych ze splątanymi stopniami swobody występującymi w przyrodzie. Przykładem są układy spinowo-orbitalne, w których spiny są często splątane z orbitalnymi stopniami swobody, zarówno w stanach podstawowych jak i wzbudzonych.

Silne oddziaływanie lokalne między elektronami U jest odpowiedzialne za korelacje elektronowe i powoduje lokalizację elektronów, co prowadzi do modelu oddziałujących spinów $s = 1/2$ na sieci. W tym najprostszym przypadku do opisu używamy modelu Hubbarda, a własności fizyczne układu zależą nie od procesów wysokoenergetycznych $\propto U$, lecz od antyferromagnetycznych oddziaływań efektywnych $\propto J > 0$ w izolatorze skorelowanym, tzw. izolatorze Motta. Jeśli niektóre z elektronów mogą się poruszać i mają skończoną energię kinetyczną daną jako wynik przeskoków między sąsiednimi miejscami $\propto t$, otrzymujemy metal skorelowany opisywany przez tzw. model $t-J$. Ten generyczny opis materiałów silnie skorelowanych nie uwzględnia jeszcze ich złożoności.

Ostatnio zwrócono uwagę na fakt, że powyższe proste podejście, używające modelu Hubbarda lub $t-J$, jest niewystarczające do opisu materiałów rzeczywistych, gdzie zachodzi konieczność analizy wielu splątanych stopni swobody: spinowych, orbitalnych i ładunkowych dla elektronów, które są ponadto sprzężone z siecią krystaliczną. Z tego powodu w centrum uwagi fizyków znalazły się stopniowo związki o splątanych elektronowych stopniach swobody. Złożoność ta oraz duży rozmiar lokalnej przestrzeni Hilberta doprowadziły do szeregu odkryć eksperymentalnych i teoretycznych oraz do wyraźnego ożywienia w tej dziedzinie badań.

Celem projektu jest lepsze zrozumienie nowo odkrytych materiałów nadprzewodzących o nieskończonych płaszczyznach NiO_2 . Jest to nowe wyzwanie w tej dziedzinie ponieważ nadprzewodnictwo w tych materiałach odkryto dwa lata temu. Planowane są badania w jakim stopniu ta rodzina związków jest podobna i na ile jest różna od związków miedziowych wykazujących nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe.

Proponowane badania możliwych faz oraz ich wzbudzeń elementarnych mają między innymi na celu udzielenie odpowiedzi na pytania:

- (1) Jakie stany spinowe lub orbitalne lub ładunkowe są istotne w realistycznym modelowaniu niklatów nadprzewodzących o nieskończonych płaszczyznach oraz heterostruktur?
- (2) Jakie konsekwencje mają zwiększenie lokalnej przestrzeni Hilberta w stosunku do modelu Hubbarda oraz konieczność rozpatrywania wielu splątanych stopni swobody?

Planujemy badania teoretyczne niestabilności magnetycznych lub nadprzewodzących, w tym również badania stanów elektronowych oraz nadprzewodnictwa w odkrytych niedawno tlenkach niklu, oraz zjawisk topologicznych. Wyzwaniem jest tutaj poznanie odpowiedzi na pytanie w jakim stopniu stany realizowe w tak złożonych układach zachowują się podobnie do stanów klasycznych oraz jakie koncepcje powinny zostać radykalnie zmienione w celu podania chociażby przybliżonego opisu skorelowanych materiałów kwantowych. Oczekujemy, że w wyniku badań powstanie szereg publikacji we wiodących czasopismach o wysokim faktorze wpływu a wyniki będą prezentowane na dużych konferencjach międzynarodowych.