

streszczenie

Materiały topologiczne charakteryzują się wieloma niezwykleymi własnościami, jak na przykład idealnie przewodzącymi stanami występującymi na brzegach próbek. Ze względu na swoje zadziwiające własności oraz potencjalną możliwość zastosowania w kwantowej informatyce, układy wykazujące efekty topologiczne są intensywnie badane zarówno teoretycznie jak i doświadczalnie. Realizacja efektów topologicznych w doskonale kontrolowanych układach jest możliwa dzięki wykorzystaniu zimnych atomów spułapkowanych w sieciach optycznych. Takie atomy znakomicie odwzorowują zachowanie się elektronów w ciele stałym, jednocześnie dając możliwość zmiany parametrów układu i obserwacji zjawisk w nich występujących. Tym samym zimne atomy stanowią doskonałe układy do badania egzotycznych efektów kwantowych takich jak stany topologiczne.

Aby system wykazywał własności topologiczne konieczne jest by potencjał, w którym poruszają się cząstki miał nietrywialną geometrię. Dodatkowo tunelowanie między oczkami sieci musi być takie, by z cząstkami były związane fazy geometryczne. W naszych badaniach rozważamy mieszaninę dwóch rodzajów fermionów spułapkowanych w sieciach optycznych o prostej geometrii. Atomy oddziałują między sobą przyciągająco. Budując model teoretyczny dla naszego układu bierzemy pod uwagę, często pomijane, efekty związane z wyższymi pasmami energetycznymi. Pokazujemy, że dla pewnych parametrów, efekty orbitalne takie jak przeskok międzyprzypasmowe stają się dominującymi procesami w układzie i mogą prowadzić do samoorganizowania się atomów w nietrywialne struktury.

Jako pierwszy, badamy układ o kwadratowej geometrii potencjału pułapkującego. Cząstki w tym układzie są silnie oddziałujące. Badamy, w jakich przedziałach parametrów tunelowanie międzypasmowe będące skutkiem oddziaływania prowadzi do wytworzenia się wewnętrznych struktur o geometrii sieci Lieba. Potencjał o takiej geometrii skutkuje strukturą pasmową o własnościach topologicznych. Pokazujemy, że w rozważanym układzie pojawia się pseudospinowy stopień swobody oraz że możliwe jest uzyskanie anomalnego kwantowego efektu Halla oraz kwantowego spinowego efektu Halla, które to efekty są zjawiskami topologicznymi.

Efekty orbitalne mogą też mieć znaczący wpływ na własności fizyczne w przypadku, gdy atomy są jedynie lekko oddziałujące. Jak pokazujemy, aby uzyskać przewagę tunelowania międzypasmowego nad innymi procesami w układzie możemy periodycznie zmieniać potencjał pułapkujący. Taki zabieg, zwany potrząsaniem siecią, daje nam możliwość kontrolowania procesu tunelowania atomów między oczkami sieci. Pokazujemy, że w układzie jednowymiarowym odpowiednie potrząsanie siecią może skutkować pojawieniem się w układzie efektów topologicznych. Mieszanina fermionów spułapkowana w sinusoidalnej sieci przy odpowiednim doborze parametrów tworzy strukturę dimeru który opisywany jest modelem Su-Schrieffer-Heeger lub Rice-Mele. Fakt, że dimeryzacja następuje w efekcie samoorganizacji skutkuje

streszczenie

obecności defektów. Takie defekty są w przypadku zjawisk topologicznych
pożądane, gdyż
prowadzą do powstania zlokalizowanych modów chronionych przez topologię. Mody te
odpowiadają ułamkowej liczbie fermionów.

Jako ostatni, rozważamy system o trójkątnej geometrii, którego położenie jest
zmiennie w czasie
zgodnie z funkcją eliptyczną. Ponownie jesteśmy w stanie doprowadzić do tego by
efekty
orbitalne były wiodące na skutek czego, by zminimalizować energie, atomy
rozmieszczają się
tak, że tworzą tzw. geometrię kostkową. Wraz z pojawieniem się takiej geometrii,
w układzie
możemy zaobserwować wystąpienie efektywnego naprzemiennego pola o nieabelowej
naturze.
Manipulując parametrami potrząsania siecią możemy zmieniać pole, a tym samym
wpływać
na strukturę pasmowa układu. Możemy wywołać lokalną magnetyzację oraz
pojawienie się anomalnego i anomalnego kwantowego efektu Halla.

Podsumowując, nasze badania pokazują, że efekty orbitalne w połączeniu z silnym
oddziaływaniem
bądź też potrząsaniem siecią mogą prowadzić do powstania zjawisk topologicznych
w układach zimnych atomów. Tym samym pokazujemy alternatywną metodę realizacji
nietrywialnych
zjawisk, która cechuje się prostotą potencjału pułapkującego, jak również dużą
dowolnością doboru elementów układu. Zdecydowaną zaletą proponowanego przez nas
podejścia
jest automatyczne pojawianie się defektów ważnych dla istnienia stanów
chronionych
topologicznie. Ponadto nasze badania ilustrują, jak duże znaczenie mogą mieć
efekty orbitalne
dla własności układów.