

Periodycznie kontrolowane układy wielociałowe

Celem naukowym projektu jest konstrukcja i analiza nietrywialnych modeli oddziałujących atomów w sieciach optycznych, powstających wskutek periodycznej modulacji parametrów układu (wysokości sieci, oddziaływań) wykorzystując **rezonansowe zjawiska**. Brzmi skomplikowanie? Ale takim nie jest. Ultra zimne atomy to ciekawy stan materii, w którym atomy, muszą być traktowane jako fale materii. Można nimi sterować wykorzystując światło laserowe, które działa na atomy efektywną siłą. W polu fali stojącej atomy odczuwają periodyczny potencjał, podobnie do elektronów w kryształach. O ile zachowanie tych ostatnich zależy od określonej (dla materiału) struktury krystalicznej, dla atomów tę strukturę możemy określać sami poprzez układ wiązek laserowych, ich częstotliwości, natężenia czy polaryzacje. Dodatkowo możemy (np. wykorzystując pole magnetyczne i własności budowy atomów) zmieniać siłę oddziaływań międzyatomowych - to od nas zależy czy się przyciągają czy odpychają. Zatem wydaje się, że możemy w dowolny sposób kontrolować zjawiska w zimnych atomach.

Ale to nie cała prawda. Elektrony w ciele stałym, jako cząstki naładowane, reagują na pole elektryczne i magnetyczne. Atomy jako neutralne, nie mogą być tak kontrolowane. Ale swoboda, jaką mamy w kształtowaniu parametrów układu pozwala nam wygenerować reakcję atomów podobną do tej, jaką miałyby cząstki naładowane. Inaczej mówiąc - możemy wytworzyć sztuczne pola. To brzmi jak bajka, ale rzeczywiście od kilku lat atomy w sieciach optycznych pozwalają modelować szereg zjawisk od ciała stałego poprzez fizykę silnych oddziaływań (także słynny bozon Higgsa) i kosmologię.

Chcemy coraz lepiej móc kontrolować badane układy by miały coraz to nowe, ciekawe własności. Kolejnym narzędziem, które do tego celu może być wykorzystane i temu celowi ma służyć obecny projekt, jest periodyczna w czasie zmiana parametrów układu. Dlaczego to jest istotne? Okres zmiany parametrów może być dostosowany do skomplikowanych własności układu wielu atomów w sieci optycznej, tworząc w najprostszej wersji zjawiska rezonansowe. Tak jak ruch na huśtawce, która może oscylovwać z pewną częstotliwością własną, zależną od długości lin, momentu bezwładności huśtanego obiektu itp. Możemy jednak zacząć popychać huśtawkę z wybraną przez nas częstotliwością, powiedzmy jedno pchnięcie na sekundę. Jeśli ta częstotliwość nie będzie dostosowana do parametrów huśtawki - efekt będzie mizerny. Jeśli jednak częstotliwość zaburzenia będzie zbliżona do własnej częstotliwości drgań huśtawki, zostanie ona wprawiona w duże drgania z częstotliwością wymuszenia - czyli podaną przez nas. Wówczas, wskutek rezonansowego wzmocnienia, zmieniamy znacząco ruch huśtawki.

To samo możemy zrobić ze skomplikowanym układem dużej liczby atomów. Rezonansowe sprzężenie może nastąpić nie z jednym atomem, ale z całym ich zbiorem modyfikując bardzo drastycznie własności całego zbioru. Jednym z ciekawszych zastosowań - jest wytwarzanie układów o nietrywialnej topologii. O ile kula i sześcian są do siebie podobne w sensie topologicznym, bo można przejść od kuli do sześcianu deformując w sposób ciągły kształt obiektu - to taki krakowski precel ma inną topologię - przejście od kuli do precla wymaga drastycznej deformacji - wyłobienia dziury. Małe zaburzenia precla nadal pozostawiają dziurę - precel pozostaje topologicznie precle. Mówimy, że układ staje się odporny na lokalne zaburzenia. Mamy przesłanki by sądzić, że okresowe zaburzenie układu atomów w sieci optycznej prowadzi do ciekawych obiektów topologicznych, odpornych na zakłócenia. A takie obiekty są interesujące jako potencjalni kandydaci na elementy komputera kwantowego - nie chcemy by drobne zaburzenia zmieniały drastycznie wyniki obliczeń. Ale do takiego komputera jeszcze bardzo daleka droga.