

Fizyka domieszek w ultrazimnych mieszaninach atomów z jonami i cząsteczkami

Dariusz Wiater

Badania prowadzone z wykorzystaniem ultrazimnej materii w postaci atomów, jonów czy cząsteczek mają swoje początki ponad 20 lat temu. Rozwijane przez wiele lat techniki chłodzenia pozwoliły na uzyskanie bardzo niskich temperatur w zakresie nanokelwinów. Wiele spektakularnych rezultatów zostało osiągniętych w dziedzinie zimnych atomów. Jednym z nich jest pierwsza realizacja w 1995 roku kondensatu Bosego-Einsteina, makroskopowego stanu kwantowego materii, uhonorowana później nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki. Innym przykładem sukcesów w dziedzinie jest implementacja zimnych atomów w tzw. „sieciach optycznych”, periodycznych potencjałach utworzonych ze światła laserowego. Pozwalają one na symulacje modeli opisujących materiały w fizyce ciał stałych jak np. model Hubbarda z dużą przestrajalnością i możliwością kontroli oddziaływań za pomocą pola magnetycznego przez tzw. rezonanse Feshbacha. Ważny obszar badawczy związany jest z układami zimnych jonów, ponieważ posiadają one ładunek elektryczny ich pułapkowanie wymaga zastosowania innych technik niż w przypadku atomów. W badaniu hybrydowych układów składających się z jonu i atomów stosowane pułapki ze zmiennym polem elektrycznym powodują dodatkowy ruch jonu, tym samym zwiększają energię zderzeń i utrudniają uzyskanie wystarczająco niskich temperatur. Ze względu na wspomnianą specyfikę układów jon-atom, pierwsza obserwacja efektów kwantowych w zderzeniach miała miejsce dopiero w 2019 roku. Efektywna kontrola nad układami ultrazimnych atomów, jonów i cząsteczek oraz ich skuteczna przestrajalność są rozwijane w celu realizacji platform do budowy tzw. „technologii kwantowych”.

Celem projektu jest zbadanie układów ultrazimnych gazów atomowych zawierających tzw. domieszki. Może to być dodatkowa cząsteczka lub jon. W przypadku domieszki jonowej rozważamy dwuciałowy proces rozpraszania, który opisujemy używając w pełni kwantowego wielokanałowego formalizmu. Współpracując z grupą eksperymentalną w Amsterdamie braliśmy udział w pierwszej obserwacji zderzeń w reżimie kwantowym pomiędzy jonem iterbu i atomami litu. Następnym krokiem prowadzonych w kolaboracji badań, będzie wyznaczenie położenia i pierwszy pomiar rezonansów Feshbacha jon-atom. Technika rezonansów Feshbacha pozwala skutecznie kontrolować oddziaływania pomiędzy ultrazimnymi atomami za pomocą pola magnetycznego. Nie była jednak nigdy skutecznie stosowana w zderzeniach jonu z atomem.

Drugi rodzaj domieszek to rotująca cząsteczka zanurzona w gazie ultrazimnych atomów. W tym przypadku stosujemy opis wprowadzający tzw. kwazicząstkę nazywaną w literaturze „angulonem”. Rotujące kwazicząstki są uogólnieniem znanego od dawna pojęcia „polaronu”, obiektu pierwotnie opisującego odkształcenie sieci krystalicznej w wyniku ruchu translacyjnego elektronu. Badania „angulonów” do tej pory były ograniczone do układów wielociałowych o statystyce bozonowej. W projekcie pracujemy nad rozszerzeniem tego pojęcia na układy kilku ciał oraz chcemy uwzględnić statystykę fermionową. Wykorzystujemy w tym celu rozwinięty na potrzeby projektu opis analitycznego oddziaływania atom-cząsteczka.

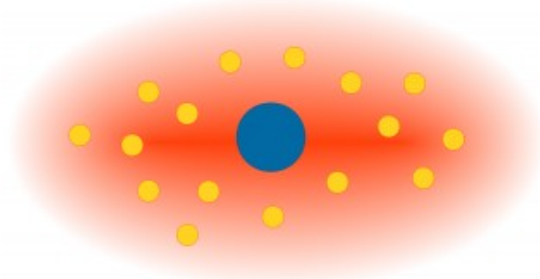


Fig. 1 Schemat domieszki zanurzonej w gazie ultrazimnych atomów.