

Symulatory kwantowe



Fizyka pozwala realizować dwa marzenia: zrozumienie otaczającego nas świata oraz, wykorzystując poznane prawa natury, jego kształtowanie czy modyfikowanie. Takimi zadaniami zajmuje się optyka nieliniowa i kwantowa, gdy silna fala laserowa wykorzystywana jest do modyfikacji właściwości materii „ubierając atomy w fotony”. Podobne cele przyświecają fizyce bardzo zimnych atomów, których ruch musi być opisany kwantowo. Ten ruch może być precyzyjnie kontrolowany (poprzez wykorzystanie bogatej struktury wewnętrznej atomów oraz precyzyjnego adresowania światłem laserowym) w stopniu niespotykanym w innych dziedzinach fizyki kwantowej. Tzw. siły optyczne używane są do chłodzenia i pułapkowania atomów pozwalając kontrolować i zmieniać potencjał, w którym są atomy. Można też zmieniać charakter oddziaływań międzyatomowych (np. ze słabych odpychających na silne przyciągające) wykorzystując rezonansowe właściwości zderzeń. Fale stojące przeciwbieżnych wiązek laserowych pozwalają wiązać atomy w periodycznych potencjałach (sieciach optycznych) na podobieństwo kryształów. O ile w fizyce materii skondensowanej to atomy tworzą potencjał dla ruchu elektronów (a parametry układu zmieniają się tylko w nieznacznym stopniu), my kontrolujemy w pełni potencjał optyczny, a dodatkowo mamy do dyspozycji atomy w poziomie energetycznym. Pozwala to na realizację nowych interesujących układów ograniczonych

Prof. dr hab. Jakub Zakrzewski od 30 lat prowadzi w Zakładzie Optyki Atomowej teoretyczne badania z zakresu optyki kwantowej, chaosu kwantowego i fizyki zimnych atomów. Więcej informacji jest dostępne na stronie: <http://chaos.if.uj.edu.pl/~kuba/>

jakub.zakrzewski@uj.edu.pl

prawie wyłącznie poprzez wyobraźnię fizyka oraz na niezwykle precyzyjne badania w typowych modelach.

Pewnym ograniczeniem w fizyce zimnych atomów wydaje się fakt, że atomy są elektrycznie obojętne, podczas gdy elektrony w metalu, niosąc ładunek, pozwalają na obserwację szeregu zjawisk, takich jak np. (kwantowy) efekt Halla. Wykorzystując wewnętrzną strukturę atomową można zrealizować sztuczne pola (tzn. układy, których zachowanie jest opisane w sposób w pełni analogiczny do np. elektronu w polu magnetycznym). Wykorzystanie wewnętrznych poziomów atomowych poprzez odpowiednią realizację przeskoków między oczkami sieci pozwala na otrzymanie modeli realizujących tzw. nieprzemienne pola (nonabelian gauge fields).

Jednym z ciekawszych zadań jest konstrukcja symulatorów kwantowych. W fizyce wielu ciał istnieją pozornie proste układy fizyczne, nierozwiązywalne przy

użyciu współczesnych komputerów wskutek złożoności odpowiednich algorytmów. Powiedzmy, że potrafimy znaleźć rozwiązanie dla takiego układu w znacznie zmniejszonej skali. Możemy taki układ zbudować eksperymentalnie i sprawdzić zgodność teorii i rezultatów pomiarów. Zamiast próbować prowadzić obliczenia dla dużego układu – budujemy, w znany nam już sposób, układ doświadczalny i poprzez pomiar znajdujemy „wyniki obliczeń” nieosiągalnych klasycznymi metodami. Ta idea, pochodząca od Feynmana,

jest już na prostych przykładach realizowana w fizyce zimnych atomów. Jest to możliwe, powtórzmy, dzięki precyzyjnej kontroli eksperymentu i jednoczesnym rozwojem nowoczesnych metod obliczeniowych dla złożonych układów.

Badania te realizujemy obecnie w ramach projektu MAESTRO Narodowego Centrum Nauki „Od symulatorów kwantowych do laserów atomowych: fizyka zimnych atomów z zastosowaniami” we współpracy z grupami m.in. z Barcelony i Paryża.