

Streszczenie popularnonaukowe

Prawie 100 lat temu Albert Einstein, posilując się spostrzeżeniami hinduskiego fizyka Satyendra Bosego, zaproponował istnienie nowego stanu skupienia. Ten stan, zwany dziś kondensatem Bosego-Einsteina, pojawia się w gazie w ekstremalnych warunkach – przy temperaturach miliardy razy niższych niż temperatura pokojowa, w gazach o gęstościach setki tysięcy razy mniejszych niż gęstość powietrza wokół nas. Od otrzymania kondensatu Bosego-Einsteina w laboratorium upłynęły kolejne dwie dekady. Obecnie kondensat Bosego-Einsteina jest rutynowo otrzymywany w setkach laboratoriów na świecie i wchodzi raczej w fazę zastosowań: już używamy go w miernikach grawitacji oraz pola magnetycznego.

Jeszcze cztery lata temu, można było odnieść wrażenie, że przynajmniej podstawowe własności gazów w niskich temperaturach są więc poznane w zadowalającym stopniu. Nic bardziej mylnego. Fizycy zajmujący się tą dziedziną przeżyli niedawno prawdziwy naukowy wstrząs. Otóż grupa doświadczalna Tilmana Pfaua wykonując dość standardowe doświadczenie, w którym na skutek przyciągania między atomami kondensat miał się najpierw skurczyć, by potem eksplodować, otrzymała zupełnie nieoczekiwany wynik. Zamiast widowiskowej eksplozji, uzyskano grupę stabilnych kropeł. Wkrótce okazało się, że w eksperymencie wytworzono kolejny, zupełnie nieoczekiwany stan materii. Stabilność i własności tego nowego stanu wynikają z dość subtelnego efektu, opisywanego w ramach mechaniki kwantowej wielu-ciał. W tym samym czasie analogiczny stan materii, nazywany obecnie kroplami kwantowymi, został wytworzony w schłodzonych chmurach składających się z dwóch różnych pierwiastków. Z kolei w tym roku, trzy grupy doświadczalne, w Stuttgarcie, w Innsbrucku oraz we Florencji wytworzyły chmury tworzące nadciekły płyn, ale mający też cechy kryształu. Stan ten, pojawiający się przy granicy parametrów rozdzielających fazę kondensatu Bosego-Einsteina oraz kropli kwantowych, jest kandydatem na poszukiwany od dziesięcioleci tzw. "supersolid".

Mając na uwadze ten nieoczekiwany zwrot akcji, należy przyznać, że ultrazimna materia kryje jeszcze wiele zagadek. Nauczką z tej historii jest potrzeba dokładniejszych badań, najlepiej bazujących na fundamentalnych opisach z jak najmniejszą liczbą przybliżeń. Z jednej strony wymaga to trudnych obliczeń numerycznych dla kwantowych układów wielu-ciał, z drugiej skonstruowania i rozwiązania starannie dobranych modeli matematycznych, uwzględniających pomijane dotychczas efekty. Podczas tego kilkuletniego projektu zamierzam przeprowadzić takie badania, w celu znalezienia i zbadania nowych faz materii w niskich temperaturach. Poszukiwania zostaną przeprowadzone w szerokiej klasie układów, w których występują dwa typy oddziaływań – oddziaływania krótkozasięgowe i nielokalne. Skupię się na obszarach bliskich niestabilnościom, kiedy te dwa typy oddziaływań prawie się znoszą, a do gry wkraczają kwantowe poprawki. Badana klasa obejmie konkretne układy fizyczne od lat realizowane w laboratoriach: gazy dipolowe, w których już zaobserwowano nowe fazy materii, jak i gazy uwięzione we wnękach rezonansowych, w których jeszcze takich faz nie poszukiwano. Jedną z hipotez jest istnienie nowych faz, w tym drugim układzie fizycznym, badanym od dziesięcioleci, ale w innym kontekście. Wynikiem badań będzie sporządzenie diagramów fazowych, scharakteryzowanie typów przejść fazowych oraz analiza wzbudzeń i stabilności tych nowych faz.