

## Bosenova

Na zdjęciach widać dwóch poważnych i trzech uśmiechniętych osobników. Dwaj najbardziej uradowani zostali sfotografowani niedługo po tym, jak udało im się zrobić to, co przewidzieli ci poważni, którzy, niestety, nie doczekali realizacji swoich przewidywań. Sprawa jest naprawdę **cool** – od milionowych do miliardowych części stopnia powyżej bezwzględного zera.

Gdzie może być tak zimno? Może w przestrzeni kosmicznej? Nie, tam jest co najmniej milion razy cieplej, bo taka jest przecież obecna temperatura promieniowania tła kosmicznego. Nie było wyjścia. Trzeba było wymyślić sposób na uzyskanie tak niskich temperatur w laboratorium, gdyż bez nich nie można doprowadzić do kondensacji Bosego-Einsteina.

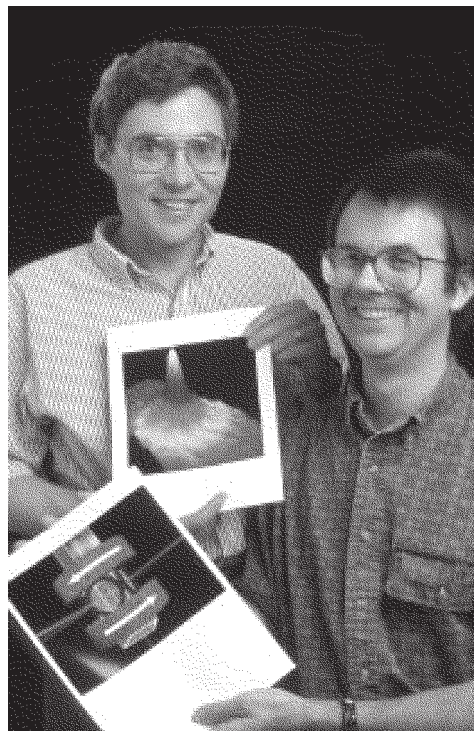
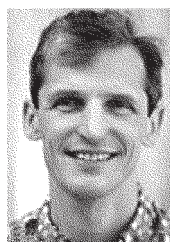
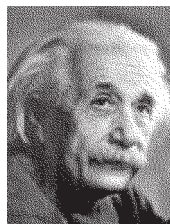
Historia ta sięga okresu sformułowania mechaniki kwantowej. W 1924 roku indyjski fizyk Satyendra Nath Bose wysłał Albertowi Einsteinowi pracę na temat statystyki, którą powinny spełniać kwanty promieniowania elektromagnetycznego. Einstein nie tylko spowodował jej opublikowanie, ale sam rozwinął pomysł indyjskiego kolegi, rozszerzając go na cząstki masywne o całkowitej spinowej liczbie kwantowej. Cząstki te obecnie nazywamy bozonami, a statystykę, której podlegają, statystyką Bosego-Einsteina.

Przypomnijmy, że oprócz bozonów są jeszcze fermiony charakteryzujące się połówkowym momentem pędu. Zachowują się one zgodnie ze statystyką Fermiego-Diraca – obowiązuje je zakaz Pauliego, dzięki czemu dwa fermiony nie mogą być jednocześnie w tym samym stanie kwantowym. Co innego bozony. Einstein przewidział w 1925 roku, że w temperaturze zera bezwzględного, w nieograniczonej przestrzeni i przy liczbie identycznych bozonów, dążącej do nieskończoności, wszystkie one powinny znaleźć się w tym samym stanie kwantowym. Początkowo uważano to za przejaw absurdalności dosłownego posługiwania się matematycznym językiem mechaniki kwantowej, ale z czasem rozpoczęto poszukiwania takiego stanu materii nazwanego kondensatem Bosego-Einsteina. Udało się to dopiero 70 lat później, a sukces ten został uhonorowany **Nagrodą Nobla z Fizyki za rok 2001 dla Carla E. Wiemana, Erica A. Cornella i Wolfganga Ketterle za osiągnięcie kondensacji Bosego-Einsteina w rozrzedzonych parach litowców i za wczesne fundamentalne badania własności otrzymanych kondensatów.**

Sposób uzyskania kondensatu jest pojęciowo bardzo prosty. Wystarczy gaz bozonów oziębic do temperatury nanokelwinów. Chodzi o to, aby (proporcjonalna do odwrotności pędu) długość fali de Broglie'a atomów stała się większa od odległości międzyatomowych.

Realizacja wymaga jednak technicznej perfekcji. Zwłaszcza, że nie można w czasie chłodzenia dopuścić do normalnej kondensacji, czyli skroplenia czy też zestalenia gazu. Dlatego gaz musi być rozrzedzony, a oddziaływanie międzyatomowe powinno być odpychające. Niezbędny jest jeszcze idealny kriostat oraz jakiś genialny sposób

chłodzenia. Co ciekawe, doświadczenia te przeprowadza się w temperaturze pokojowej. Izolacja termiczna sprowadza się do stanu wysokiej próżni wewnątrz pułapki magneto-optycznej, optycznej lub magnetycznej.



Początkowo atomy chłodzone są odpowiednio dobranymi wiązkami laserowymi. Za sam ten pomysł przyznano Nagrodę Nobla już cztery lata temu, o czym pisaliśmy w *Delcie 1/1998*. Ten zaskakujący sposób chłodzenia działa m.in. dzięki użyciu światła o częstotliwości mniejszej od częstotliwości rezonansowej, co powoduje, że tylko atomy lecące na spotkanie fotonom mogą (dzięki efektowi Dopplera) je zaabsorbować.

Ostateczne chłodzenie odbywa się w pułapce magnetycznej i okazuje się genialnie proste, gdy już wiadomo, jak to zrobić (rycinę ze schematem pułapki trzyma Cornell). Użyty sposób polega w zasadzie na tym samym co stygnięcie gorącej herbaty. Dobierając odpowiednio pole pułapki, pozwala się ulytować najszybszym, a więc gorętszym niż średnia atomom, przez co układ atomów pozostających w pułapce ulega chłodzeniu.

Po zejściu poniżej temperatury krytycznej w pułapce zaczyna przybywać atomów w najniższym stanie. Aby je zobaczyć, można wyłączyć pole pułapki, pozwalając atomom na jej balistyczne opuszczenie. Oświetlenie ich światłem o częstotliwości rezonansowej pozwala na uzyskanie dwuwymiarowego obrazu, którego graficzną reprezentację pokazuje Wieman. Na osi pionowej zaznaczono stopień absorpcji odpowiadający przestrzennej gęstości atomów. Widać wyraźnie pozostający centralnie kondensat na tle rozpełzającej się reszty atomów.

Niestety, o tym, co to ma wspólnego z dzisiejszym tytułem, będzie można przeczytać dopiero za miesiąc.

Piotr ZALEWSKI