

# Zrobili szósty stan materii

KW

**Amerykańskim uczonym udało się otrzymać nowy stan skupienia, stan materii - kondensat fermionowy. Tradycyjnie wyróżniamy trzy stany skupienia: ciało stałe, ciecz i gaz. W XX w. dodano do nich dwa nowe: plazmę i kondensat Bosego-Einsteina nazywany płynną plazmą.**

**S**tan skupienia to forma występowania danej substancji określająca jej podstawowe cechy fizyczne. Co to jest ciecz, gaz i ciało stałe zapewne każdy z Czytelników MT wie. Przypomnimy tutaj kilka wiadomości na temat pozostałych stanów skupienia.

## Czy plazma to twór pisarzy SF?

Plazma to zjonizowany gaz o dużej koncentracji cząstek (na przykład w błyskawicy) zawierający w przybliżeniu takie same ilości ładunków ujemnych, jak i dodatnich. Pod względem właściwości elektrycznych plazma podobna jest do metalu. Ze względu na specyficzne zjawiska wyróżnia się plazmę:

- ZIMNĄ - o temperaturze rzędu 10 tys. kelwinów, która wykorzystywana jest w plazmotronach, w napędzie plazmowym, w generatorach magnetohydrodynamicznych.

- GORAĆĄ - o temperaturze ponad 1 mln K, wytwarzaną w celu badania warunków powstawania kontrolowanej reakcji termojądrowej. Na Ziemi plazma występuje rzadko, natomiast w przestrzeni kosmicznej stanowi najczęściej występujący stan materii - z plazmy zbudowane są niektóre gwiazdy, np. Słońce i galaktyki.

## Co to jest kondensat Bosego-Einsteina?

Kondensat Bosego-Einsteina powstaje w szczególnych warunkach - w skrajnie niskich temperaturach, rzędu 0,000 000 001 K (powyżej zera bezwzględnego) i w wysokiej

**C**iecz i ciało stałe



**P**lazma



próżni. Najniższa naturalna temperatura występująca we wszechświecie wynosi 3 K. Laboratoryjnie kondensat wytworzono w niewielkiej szklanej komorze próżniowej. Badacze wstrzelili do środka atomy rubidu. Następnie oświetlili naczynie promieniami lasera, co doprowadziło do nagłego odparowania atomów. Potem dobierając odpowiednią sekwencję błysków kilku innych wiązek laserowego światła, zabierali, zamiast dodawać, energię atomom, tak że ich temperatura gwałtownie spadła do poziomu

kilku tysięcznych części kelwina. Aby ostudzone atomy nie stykały się z o wiele od nich cieplejszymi ściankami naczynia, dwa elektromagnesy utrzymywały rubidowy gaz dokładnie pośrodku komory. Następnie tak dobrano natężenie pól magnetycznych, by atomy o wyższej temperaturze, czyli poruszające się najszybciej, mogły uciec z pułapki. Wtedy też te atomy, które pozostały w naczyniu, były już naprawdę zimne - temperatura ich spadła do 170 nanokelwinów ( $1,7 \times 10^{-7}$

kelwina), czyli zaledwie stu siedemdziesięciu miliardowych części stopnia powyżej zera absolutnego. Wówczas straciły indywidualne właściwości i chęć do poruszania się każdy po swojemu i zamieniły w kondensat Bosego-Einsteina. Oznacza to, że atomy te, w liczbie 5-10 mln, które w normalnych temperaturach poruszają się chaotycznie, w

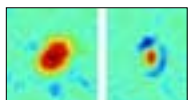


kondensacie zachowują się tak, jakby były jednym wielkim atomem (niektórzy fizycy mówią „superatomem”). W takim stanie materii nie można odróżnić jednego atomu od drugiego - wszystkie są identyczne i znajdują się w tym samym miejscu. Stan ten udało się utrzymać przez ponad 15 sekund, a więc jak na współczesną fizykę kwantową przez „całą wieczność”. Wszystkie atomy schłodzone do tak niskiej temperatury znajdują się w jednym podstawowym stanie kwantowym - o najniższej energii. Jak wiadomo, wraz ze zmniejszaniem się temperatury, zmniejsza się ruchliwość atomów. Okazuje się, że gdy atomy tracą naturalną w wyższych temperaturach „żywołność”, wykazują pewne specjalne właściwości. Można to sobie wyobrazić tak, że wszystkie atomy gazu zaczynają poruszać się, drgać w ten sam sposób. Nasuwa się porównanie z filharmonią - zanim wejdzie dyrygent, panuje szum i hałas, ale po wejściu dyrygenta następuje korelacja poszczególnych dźwięków, pojawia się nowa, zsynchronizowana jakość - mówił prof. Gawlik z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Sama przemiana przypomina nieco kondensację - skraplanie się cieczy z gazu, dlatego też ten stan zwany jest kondensatem.

### **Znowu zrobili coś nowego!**

Amerkańskim uczonym udało się otrzymać nowy stan materii - kondensat fermionowy. Jest on tak naprawdę odmianą kondensatu Bosego-Einsteina, tyle że składającą się z fermionów. Kondensat Bosego-Einsteina mogą tworzyć jedynie bozony - cząsteczki albo atomy o spinie całkowitym. W przypadku fermionów - cząsteczek lub atomów o spinie połówkowym - na przeszkodzie staje tzw. zakaz Pauliego, który mówi, że w jednym układzie dwa fermiony nie mogą jednocze-

### **Woda w stanie gazowym**



**Oświetlając wiązką laserową kondensat Bosego-Einsteina, udało się za pomocą kamery CCD uzyskać obraz jego cienia. Kolory odpowiadają stopniowi absorpcji światła: natężenie czerwieni jest proporcjonalne do gęstości atomów; kolor niebieski to tzw. negatywna absorpcja, czyli przezroczystość materii. Zdjęcie z lewej - 120 000 atomów w temperaturze 590 nK (590 miliardowych kelwina powyżej zera bezwzględne), z prawej - 20 000 atomów w temperaturze 100 nK. Badany kondensat miał kształt zbliżony do kuli i średnicę około 3 mikrometrów**

### **Cztery stany materii**

STOP

### **Leksykon trudniejszych pojęć**

**Bozon** – obiekt kwantowy o symetrycznej funkcji falowej. Ma spin całkowity. Bozonami są pewne cząstki elementarne, takie jak: fotony, bozony pośredniczące i gluony, ale również pewne quasi-cząstki pojawiające się w kryształach (np. fonon) oraz mezony. Bozon jest też układem parzystej liczby fermionów. Charakterystyczną cechą bozonów jest to, że wiele ich może znajdować się w tym samym stanie kwantowym.

**Fermion** – obiekt kwantowy o antysymetrycznej funkcji falowej. Posiada ułamkową ( $1/2, 3/2, \dots$  w jednostkach stałej Plancka) wartość spinu. Fermionami są kwarki, elektrony, neutrino, miony, bariony oraz pewne quasi-cząstki (np. dziury). Układ cząstek (np. jądro atomowe) zbudowany z nieparzystej liczby fermionów pozostaje fermionem, przy parzystej liczbie fermionów staje się bozonem.

**Spin** – własny (wewnętrzny) - to moment pędu cząstki mierzony w układzie odniesienia, w którym cząstka spoczywa. Każdy rodzaj cząstki elementarnej posiada właściwy sobie spin. Cząstki, których spin jest ułamkowy, mają własności kwantowe różne od cząstek o spinie całkowitym (fermiony, bozony). Fundamentalne cząstki elementarne (kwarki, leptony) mają spin ułamkowy, kwanty pól fundamentalnych (foton, gluon, bozony pośredniczące W, Z) - mają spin całkowity

nie zachowywać się tak samo. Można jednak połączyć fermiony w pary, zwane parami Coopera. Wtedy para fermionów ma spin całkowity i może zachowywać się jak bozon. Do tworzenia kondensatu użyto atomów potasu-40. Schłodzone je do temperatury 300 nanokelwinów ( $3 \times 10^{-7}$  kelwina). Odpowiednio dobrane pole magnetyczne i umiejętnie manipulowanie laserem pozwoliło połączyć atomy w pary, nie pozwalając im jednocześnie utworzyć dwuatomowych cząsteczek. Pomiary potwierdziły, że tak otrzymany gaz ma wszelkie cechy kondensatu - mi-

mo że tworzą go fermiony. Innymi słowy, wszystkie pary fermionów w gazie zachowują się identycznie.

Naukowcy z uniwersytetu Kolorado, którzy uzyskali kondensat, mówią, że ich odkrycie może doprowadzić do opracowania nadprzewodników działających w temperaturze pokojowej - takie materiały znalazłyby zastosowanie w budowie komputerów, urządzeń medycznych, a nawet w transporcie. Dotychczas „najcieplejsze” nadprzewodniki wymagają temperatury minus 135 stopni C. ■

