

**Fot. 1.16.** Nietypowe stany skupienia: a) szkło nie ma struktury krystalicznej, stąd jest czasem klasyfikowane jako ciecz „przechłodzona” (tu witraż średniowieczny z Hotel de Cluny); b) ciekłe kryształy, stosowane w niektórych wyświetlaczach telefonów i monitorach TV; c) „silly putty” – polimer silikonowy, plastyczny, sprężysty lub nawet kruchy, w zależności od szybkości deformacji; d) super lepka, samoprzelewająca się ciecz – raz rozpoczęte przelewanie będzie trwało tak długo, dopóki nie wyczerpie się zapas cieczy w górnej szklance; e) nitiol – stop niklu i tytanu wykazujący pamięć kształtu: zgięty, wyprostuje się w strumieniu ciepłego powietrza z suszarki do włosów

modelach świecące elementy półprzewodnikowe (LED). Tak zwana inżynieria materiałowa jest nauką, która w ogromnej mierze zmienia nasz świat codzienny. Ale wróćmy do fizyki, tej z laboratoriów w Toruniu.

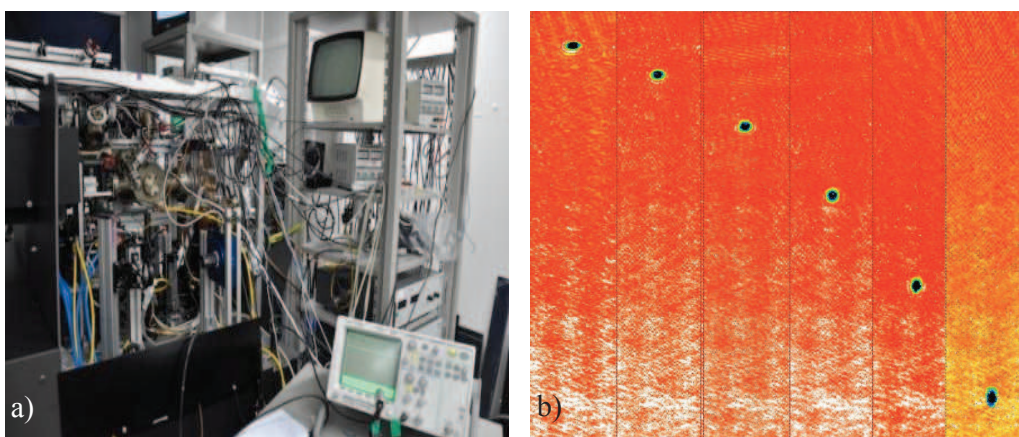
### 1.11. Kondensat Bosego–Einsteina – piąty stan skupienia

Pisaliśmy, że w gazach atomy są w ciągłym chaotycznym ruchu i pozostają w dużych odległościach od siebie. Atomy są niezmiernie małe (typowe rozmiary to  $10^{-10}$  m) [1] ale składają się na obiekty *makroskopowe*, jak ziarenko piasku, kropla wody, czy balonik z helem. W ciele stałym atomy są uporządkowane i rozmieszczone w odległościach niewiele większych niż ich rozmiary. W gazie atomy są daleko od siebie i ich ruch jest nieuporządkowany. Czy możliwy jest zatem taki stan skupienia, w którym atomy pozostają uporządkowane, ale leżą daleko od siebie? Okazuje się że tak!

W bardzo niskich temperaturach, znacznie niższych niż w kosmosie<sup>5</sup> atomy mogą być wzajemnie „powiązane” (skorelowane), mimo że znajdują się od siebie w odległościach typowych dla gazu (tj. wielokrotności ich rozmiarów). W Polsce taki stan materii, niby–gazu i niby–kryształu został osiągnięty przez zespół naukowców kierowany przez prof. W. Gawlika z UJ z Krakowa, w laboratorium FAMO usytuowanym w Toruniu [2]. Taki stan materii wynika z zupełnie nowych zjawisk, i został przewidziany w latach dwudziestych XX wieku przez A. Einsteina i hinduskiego uczonego B. Bosego. Nazywamy ten stan kondensatem Bosego–Einsteina, a jego zastosowania są dziś trudne do przewidzenia [3]. Jeden kondensat przenika drugi, jak czarownica, która przechodzi przez ścianę!

Kondensat jest opisywany przez równania fizyki tzw. fizyki kwantowej, tj. fizyki obiektów mikroskopowych takich jak elektrony lub protony, o wymiarach zupełnie niewyobrażalnie małych ( $10^{-15}$  m) [4]. W równaniach tych, cząstki materialne opisywane są nie jako punkty, ale jako *fale materii*. Elektron, w odróżnieniu na przykład od piłki tenisowej, może przejść na drugą stronę bariery takiej jak murek dookoła boiska. Nazywamy to zjawisko *efektem tunelowym* [5]. Kondensat Bosego–Einsteina ma rozmiary całkiem duże,  $10^{-6}$  m i więcej, ale jest opisywany przez równania fizyki kwantowej. Już dzisiaj służy np. do pomiarów sił na bardzo małych, atomowych odległościach.

<sup>5</sup> Za typową temperaturę w „kosmosie” należy uważać temperaturę ekwiwalentną (jako że jest to rozkład widma) mikrofalowego promieniowania tła (2,73 K). Kondensat Bosego–Einsteina, np. składający się z atomów rubidu, ma temperaturę rzędu 100 nK ( $10^{-7}$  K)!



**Fot. 1.17.** a) Aparatura służąca wytworzeniu najzimniejszego stanu skupienia – kondensatu Bosego – Einsteina (laboratorium FAMO w Toruniu); b) spadanie kondensatu podlega tym samym prawom grawitacji, co spadanie kamienia

Objektami kwantowymi są też tzw. *cząstki elementarne*, tj. najmniejsze znane nam dziś obiekty świata. Cząstką elementarną jest elektron. Tradycyjnie nazywamy cząstkami elementarnymi również dwa inne składniki atomów, *proton* i *neutron*, mimo że wiemy dziś, że składają się one z trzech innych *cząstek elementarnych*, zwanych kwarkami [6]. Kwarki te wydają się być nieco tylko cięższe niż elektrony. Ale nie potrafimy ich wydzielić z protonu ani z neutronu. Jeszcze inna, hipotetyczna (na razie) cząstka, zwana cząstką *Higgsa* [7] wydaje się być odpowiedzialna za *masę* wszystkich innych cząstek. Na razie (2010r.) czekamy na doświadczalne potwierdzenie jej istnienia.

Od niedawna (2003 r.) wiemy za całą pewnością, że widoczna dla naszych zmysłów materia to zaledwie 1/4 całej materii we Wszechświecie. Pozostała część pozostaje niewidoczna, mimo wszystkich metod, jakimi dysponuje współczesna fizyka. Co więcej, we Wszechświecie działają też niewidoczne dla nas siły, zwane ciemną *energiją*. Okazuje się, że aż 96% Wszechświata wymyka się naszemu poznaniu.

Jak więc widzicie, nauka o stanach skupienia, a tym między innymi zajmuje się fizyka, jest niezmiernie zaskakująca i wiele jest w niej jeszcze do zrobienia. Ale najpierw musimy poznać podstawowe prawa rządzące światem, czyli prawa fizyki. Zacznijmy od ruchu i jego właściwości.

[1] G. Karwasz, *Atom, czyli o-soba*, w: „Na ścieżkach fizyki współczesnej”.

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/atom.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/atom.html)

[2] F. Bylicki, W. Gawlik, W. Jastrzębski, A. Noga, J. Szczepkowski, M. Witkowski, J. Zachorowski, M. Zawada, *Studies of the hydrodynamic properties of Bose-Einstein condensate of 87Rb atoms in a magnetic trap*, Acta Phys. Pol. A 113 (2008) 691.

[3] R. Pohl i inni, *The size of the proton*, Nature 466 (2010) 213.

<http://www.nature.com/nature/journal/v466/n7303/full/nature09250.html>

[4] G. Karwasz, *Osoba, czy wojsko*, w: „Na ścieżkach fizyki współczesnej”.

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/beck.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/beck.html)

[5] G. Karwasz, K. Rochowicz, *Efekt tunelowy*.

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/kwant1-pl.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/kwant1-pl.html)

[6] G. Karwasz, T. Wróblewski, *Kwarki i skwarki*.

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/kwarki2c.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/kwarki2c.html)

[7] H. Nowakowska, *Higgs wanted*, w: „On the track of Modern Physics”.

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/hhiggs3.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/hhiggs3.ppt)