

Fizycy w piaskownicy

Najzwyklejszy piasek ujawnia, zależnie od warunków, zdumiewające bogactwo własności; sprasowany jest niby ciało stałe, gdy go potrząsać, przypomina ciecz, rozpylony zaś staje się jakby gazem. Może tworzyć złożone struktury, a nawet zachowywać pamięć o swym przeszłym stanie. Badanie piasku, a ogólniej materiałów sypkich, stało się jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi współczesnej fizyki.

Stanisław Mrówczyński

Chociaż już przeszło 300 lat temu Robert Hook zauważył, rozmyślając nad prawem Archimedesesa, że na ciało zanurzone w piasku działa siła wyporu skierowana ku górze..., zainteresowanie fizyków piaskiem miało charakter jedynie sporadyczny. Wydmy opisywali geolodzy, własnościami granulatów zajmowali się inżynierowie różnych specjalności, konstruując na przykład urządzenia mieszające sypkie substancje do produkcji lekarstw, jednak ani jedni, ani drudzy nie starali się wnikać w ogólne prawa rządzące zachowaniem takich materiałów.

Lawinę zainteresowania piaskiem uruchomił niewielki artykuł z 1987 r., w którym Per Bak, Chao Tang i Kurt Wiesenfeld opisali swoje badania dotyczące kształtowania się pyzmy piachu. W istocie nie chodziło im wcale o piasek, lecz o niezwykle modne w owym czasie zagadnienie tzw. samoorganizującego się stanu krytycznego. Bak, Tang i Wiesenfeld stwierdzili, że usypywany kopiec spokojnie rośnie aż do momentu, gdy kąt nachylenia zbocza do poziomu osiągnie pewną wartość krytyczną. Od tego momentu kopiec staje się niestabilny. Dołożenie pojedynczego ziarenka może powodować obsuwanie się lawin o nieprzewidywalnych rozmiarach. Wspomniani fizycy nie prowadzili jednak swych badań w piaskownicy, lecz jedynie symulowali komputerowo usypywania kopca. Powstało więc pytanie, czy piasek faktycznie zachowuje się zgodnie z teoretycznym modelem.

Doświadczenia tylko w ograniczonej mierze potwierdziły ideę samoorganizującego się stanu krytycznego, gdyż rzeczywistość, jak to zwykle bywa, okazała się bardziej złożona. Natomiast systematyczne badania eksperymentalne pozwoliły zrozumieć niektóre dawno już zaobserwowane własności piasku, odkryć inne, wcześniej nieznanne. Wyjaśnienie znalazło zjawisko dobrze znane niektórym przedszkolakom. Jeśli przez pewien czas potrząsać wiaderkiem z piaskiem, to na powierzchnię wypłyną zagrzebane w piasku kamyki. Zabawiając się kolorowym piaskiem umieszczonym w szklanym naczyniu fizycy odkryli, że na podobieństwo cieczy podgrzewanej od dołu ziarenka piasku wykonują specyficzny ruch konwekcyjny. W centrum naczynia ziarna podnoszą się, by przy ściankach opadać. Dołożono szklane paciorki różnej wielkości i zauważono, że jeśli rozmiar wyniesionego w górę paciorka jest większy niż grubość opadającej warstwy, to nie może on poruszać się w dół, więc pozostaje już na powierzchni.

Występowanie ruchu konwekcyjnego każe dopatrywać się w piasku własności cieczy, jednak w wielu sytuacjach zachowuje się on zupełnie inaczej. Woda przy danej temperaturze i ciśnieniu ma ściśle określoną objętość. Natomiast objętość zajmowana przez piasek zależy od intensywności, z jaką przed pomiarem potrząsaliśmy naczyniem. Piasek przeto zachowuje pamięć, a jego gęstość może się zmieniać w szerokich granicach. Jeśli przyjąć, że ziarna są ściśle kuliste i tych samych rozmiarów, wówczas przy najlepszym upakowaniu zajmują one 74 proc. objętości pojemnika. Owo najlepsze upakowanie, jak zauważył Johannes Keppler w 1611 r., osiągamy układając kule tak jak przekupnie pomarańcze, gdy budują z nich piramidę. Ciekawe, że dopiero w 1998 r. matematykom udało się znaleźć ścisły dowód, iż takie upakowanie jest istotnie najgęstszy z możliwych. Piasek jednak jest zwykle znacznie luźniejszy. Zachowuje on mechaniczną stabilność, nawet gdy ziarna zajmują zaledwie 52 proc. objętości. Przy dalszym rozrzedzaniu zaczyna płynąć niby ciecz.

Zaskakująco złożona okazała się wewnątrz na budowa usypanego kopca. Do badań użyto zamiast piasku kuleczek z materiału, który na skutek nacisku skręca polaryzację światła. Obserwując teraz kopiec takich kulek w świetle spolaryzowanym stwierdzono, że część z nich spełnia rolę konstrukcji nośnej, inne zaś są jedynie wypełniaczem. Taka niejednorodna budowa kopca pozwoliła zrozumieć zdumiewający wynik pomiarów rozchodzenia się dźwięku. W piasku mianowicie zagrzebano mikrofon odbierający sygnał od znajdującego się w pobliżu głośnika. Okazało się, że w odróżnieniu od gazów, cieczy czy ciał stałych, materiał sypki powoduje zupełną deformację przenoszonego dźwięku. Emitowano sygnał o określonej częstotliwości, rejestrowano zaś jedynie dziwny szum. Ku zaskoczeniu badaczy nie był to jednak szum zwany białym. Ten wskazywałby na chaotyczną budowę materiału, w którym rozchodzi się dźwięk. Rejestrowany szum dowodził występowania wspomnianej konstrukcji nośnej.

Pojawianie się skomplikowanych struktur obserwowano w wielu innych eksperymentach z granulatami. Na przykład metalowe kuleczki umieszczone na wstrząsanej tacy tworzą wciąż zmieniające się geometryczne figury, których charakter zależy od częstotliwości i amplitudy owych wstrząsów. Kuleczki układają się we wzorzysty dywanik lub wybuchają niewielkimi regularnie rozmieszczonymi fontannami. Słabo jeszcze rozumiemy przyczyny takich zachowań, gdyż wyłanianie regularnych struktur z chaosu jest jednym z najtrudniejszych, choć i najważniejszych problemów współczesnej fizyki. Wciąż przecież nie bardzo wiemy, dlaczego z materii wypełniającej wczesny wszechświat powstały zgęszczenia, które później uformowały zaludnione gwiazdami galaktyki. Jak przebiegał proces kształtowania się Układu

Słonecznego i co dało początek zjawisku zwanemu życiem? Skoro jednak układy nawet tak prymitywne jak wprawione w drżenie kulki tworzą regularne struktury, odpowiedzi na wielkie pytania kryją się, być może, w piasku.

Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie oraz w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Kielcach.