

ROZDZIAŁ I. Wstęp

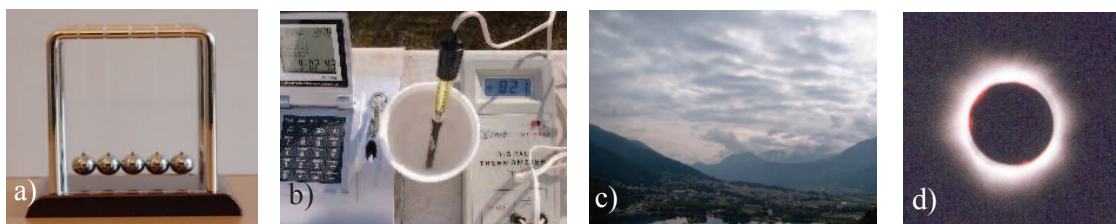
Fizyka jako nauka

1.1. Zjawiska fizyczne

Czym zajmuje się fizyka? Odpowiadając, że zjawiskami „fizycznymi”, popełniamy błąd logiczny zwany *tautologią*, czyli wyjaśnianiem pojęcia przez to samo pojęcie jak w stwierdzeniu, że w skład masła wchodzi masło (82%, sprawdź!) i woda.

Za zjawiska fizyczne tradycyjnie uważało się te, które nie prowadzą do żadnej zmiany oddziałujących *substancji*. Innymi słowy, zjawiska fizyczne to zjawiska powtarzalne i zazwyczaj odwracalne. I tak na przykład, dwie zderzające się piłeczki, stygnięcie herbaty w szklance, zaćmienie Słońca to zjawiska fizyczne. Piłeczki (o ile elastyczne) nie zmieniają ani kształtu, ani koloru po zderzeniu, zimną herbatę można ponownie podgrzać, a zaćmienie Słońca obejrzeć ponownie za kilka lat.

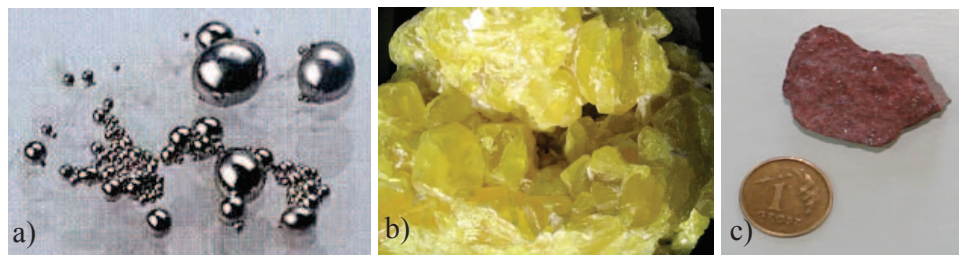
Nie jest tak w przypadku tzw. zjawisk *chemicznych*, zmieniających własności reagujących substancji. I tak, wymieszanie metalicznych kropelek rtęci z żółtym proszkiem siarki prowadzące do powstania czerwonego siarczku rtęci to zjawisko *chemiczne*. Stopienie siarki lub rosnący słupek rtęci w termometrze lekarskim (kiedyś tylko takie istniały) – to natomiast zjawiska fizyczne. Dzisiaj, rozgraniczenia na zjawiska *fizyczne*, *astronomiczne*, *chemiczne*, czy nawet *biologiczne* musimy uznać za nieco sztuczne.



Fot. 1.1. Zderzające się kulki, stygnąca woda w szklance, chmury na niebie, zaćmienie Słońca to zjawiska *fizyczne*.

Przytoczmy kilka *procesów* czyli zmian, jak reakcje chemiczne, stygnięcie, parowanie.

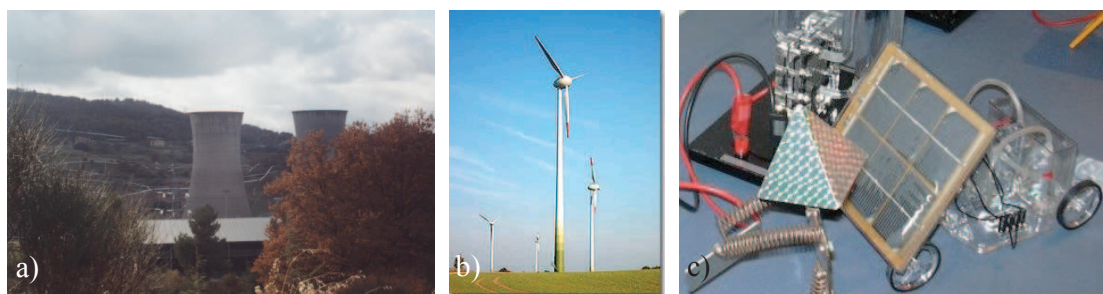
Po pierwsze, reakcje chemiczne są również odwracalne: np. wodorotlenek wapnia (czyli tzw. wapno gaszone) w zaprawie murarskiej powoli wiąże dwutlenek węgla z powietrza, zamieniając się w węglan wapnia. Z kolei węglan wapnia (czyli tzw. wapień) podgrzany do 1100° C uwalnia dwutlenek węgla i zamienia się w tlenek wapnia (wapno palone), który z kolei wymieszany z wodą daje wodorotlenek wapnia (wapno gaszone), który w zaprawie murarskiej ponownie wiąże dwutlenek węgla z atmosfery i zamienia się z powrotem w węglan wapnia itd., itd. Podobne procesy planuje się wykorzystać do magazynowania pod ziemią spalin z elektrowni, celem zredukowania efektu cieplarnianego.



Fot. 1.2. Rtęć utarta z siarką daje szary siarczek rtęci – jest to przykład procesu *chemicznego*, naturalny siarczek rtęci, cynober jest różowy

Po drugie, nie wszystkie procesy fizyczne są *odwracalne*. Wymieszanie litra wody ciepłej z litrem wody zimnej daje dwa litry wody letniej, ale ponowne ich rozdzielenie nie jest możliwe. Gorąca szklanka herbaty, stygnąc, ogrzewa (choć bardzo niewiele) powietrze w kuchni, ale letnie powietrze z kuchni nie podgrzeje wody w szklance do wrzenia. Wszelki się rozszerza, a przy tym stygnie i nic nie wskazuje na to, aby miał się ponownie skurczyć.

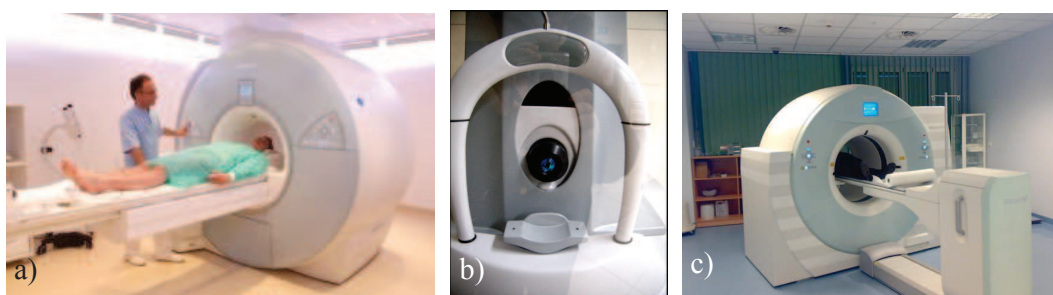
Po trzecie, także procesy *fizyczne* mogą powodować przemianę jednej substancji w drugą. Pierwiastek chemiczny radon, radioaktywny gaz szlachetny, powstaje z rozpadu promieniotwórczego innego pierwiastka, polonu, przypominającego chemicznie siarkę. Fizycy pracujący na wielkich akceleratorach potrafią zamienić jeden metal w drugi, np. aluminium w sód, sód z kolei zamienia się (w procesie rozpadu promieniotwórczego) w gaz, zwany neonem itd. Dzięki nauce to, co było niemożliwe, staje się niesłychanie proste. W tym sensie fizyka współczesna urzeczywistnia marzenia średniowiecznych *alchemików*, zamiany jednej substancji w drugą (choć nie zawsze w złoto i bez użycia *kamienia filozoficznego*).



Fot. 1.3. Fizyka zajmuje się *procesami*. Wytwarzanie prądu elektrycznego w elektrowni geotermicznej, wiatrowej lub w ogniwie słonecznym, to przykłady *procesów* fizycznych

I wreszcie, po czwarte, zaćmienie Słońca to zjawisko *astronomiczne*, ale pamiętajmy, że ruch Ziemi wynika z prostych praw *fizyki*. Znając te prawa, przewidywanie zaćmień nie jest już wiedzą tajemną, ale da się *wyliczyć* na szkolnym kalkulatorze.

Fizyka współpracuje z innymi naukami przyrodniczymi, jak medycyna i biologia. Transport substancji biologicznych przez błony komórki zależy od obecności *jonów*. Wymiana jonów jest też podstawą działania baterijek elektrycznych i ogniw paliwowych, a te urządzenia zaliczamy do obszaru badań fizyki. Z osiągnięć zaawansowanej fizyki, jak widać na zdjęciach poniżej, korzysta współczesna *medycyna*.



Fot. 1.4. Nowoczesne techniki badawcze w medycynie – rezonans magnetyczny, tomografia optyczna oka (UMK), tomografia pozytonowa (Centrum Onkologii w Bydgoszczy) – to wszystko urządzenia skonstruowane przez *fizyków*

<http://www.co.bydgoszcz.pl/lecznictwo/diagnostyka/zaklad-medycyny-nuklearnej/>

<http://www.medicover.com/plpl/szpital/587,18-kanalowy-rezonans-magnetyczny.htm>

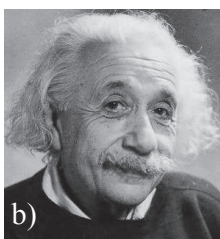
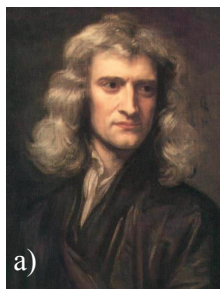
1.2. Fizyka i filozofia

W pismach Arystotelesa (384–322 p.n.e.), pierwszego filozofa, który w systematyczny sposób zebrał wiedzę starożytnych Greków o świecie, pojawiły się takie dziedziny nauki, jak zoologia, astronomia, etyka. Wiedzę czysto filozoficzną, niepoznawalną namacalnym doświadczeniem nazwał Arystoteles „meta-fizyką”, czyli poza-fizyką. Wynika z tego, że fizykę da się dotknąć. I to prawda! Zjawiska fizyczne, nawet te najtrudniejsze, dają się zobrazować, a przez to lepiej poznać. Zajrzyj na naszą stronę internetową „Fizyka i zabawki” [1], aby „dotknąć” fizyki.

W czasach Kopernika (1473–1543) naukę dzielono na fizykę, matematykę i metafizykę. On sam napisał dzieło astronomiczne, ale pytał w nim, na przykład, dlaczego woda utrzymuje się na powierzchni Ziemi, która jest kulą, jaka jest przyczyna ruchu ciał niebieskich, co wypełnia przestrzeń kosmiczną. Możemy powiedzieć, że Kopernik był nie tylko astronomem, lekarzem, poetą, wojskowym i ekonomistą, ale i *fizykiem*.

Dziś działów nauki jest znacznie więcej. Co odróżnia *fizykę* od innych nauk, np. historii? Przede wszystkim fizyka stara się zajmować zagadnieniami łatwymi do ponownego sprawdzenia, przez eksperyment.

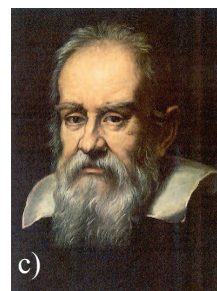
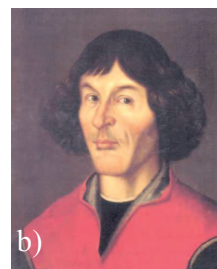
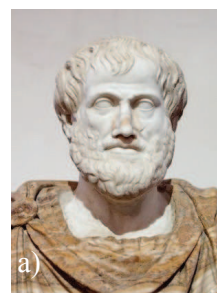
Zjawisko odbicia kauczukowej piłeczki od podłogi możemy sprawdzać w nieskończoność i zawsze prawa fizyki rządzące takim odbiciem są takie same. Pomysł na powtarzalne doświadczenia pochodzi od Galileusza (1564–1642). Motto jednej z najciekawszych książek popularnonaukowych w zakresie fizyki w XX wieku głosi: „Fizyka zesłała z nieba na ziemię po równi pochyłej Galileusza” [2].



Rozwój nauki to tak jakby przekazywanie pałeczki w sztafecie biegaczy. Odkrycia Galileusza, urodzonego wkrótce pod śmiercią Kopernika, potwierdziły, że Ziemia nie jest środkiem Wszechświata. Nadal nie było jednak wiadomo, dlaczego Ziemia krąży dookoła Słońca i ani nie spada, ani nie przyspiesza. Przyczynę tego ruchu, siłę grawitacji oraz prawa ruchu odkrył, już po śmierci Galileusza, Anglik Izaak Newton (1667–1734).

Największy umysł XX wieku, Albert Einstein (1879–1955), stwierdził, że „to doświadczenie jest ostatecznym sprawdzianem każdej teorii”. W naszym poręczniku zachęcamy więc do samodzielnego eksperymentowania, gdyż jest to najlepszy sposób odkrywania fizyki, a przez nią praw rządzących światem. Nie ma eksperymentów nieudanych – każdy z nich coś pokazuje. Pomiar „wiatru eteru”, wykonany przez Polaka ze Strzelna, Abrahama Michelsona (1852–1931) dał wynik negatywny, ale legł u podstaw fizyki XX wieku – pozwolił Einsteinowi na stworzenie teorii względności. Bez teorii względności nie byłoby ani nawigacji satelitarnej (GPS), ani energii jądrowej.

Fot. 1.6. Sztafeta postępu naukowego (c.d.) Izaak Newton (1667–1734), Albert Einstein (1879–1955), Abraham Michelson (1852–1931).

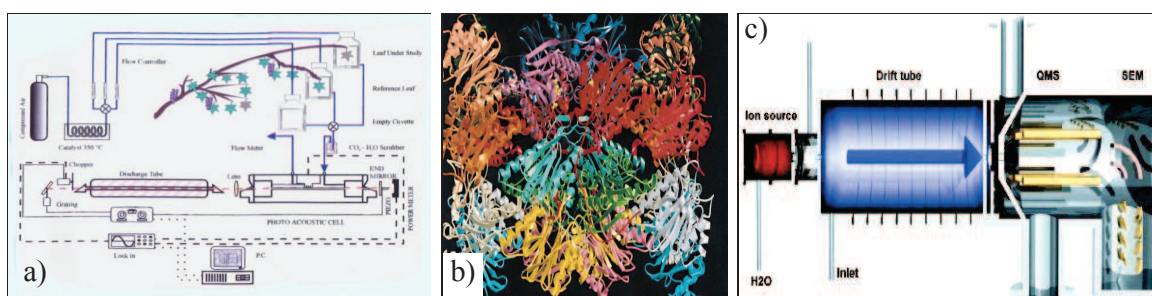


Fot. 1.5. Sztafeta postępu naukowego: Arystoteles (384–322 p.n.e.), Mikołaj Kopernik (1473–1543), Galileo Galilei (1564–1642).

1.3. Fizyka a inne nauki

Fizyka, od czasów Arystotelesa, zajmuje się najprostszymi prawami przyrody nieożywionej. Prawa te, jak na przykład prawo inercji, są dla nas najważniejsze, np. przy poruszaniu się. Umiemy, od wczesnego dzieciństwa tak stawiać stopy, aby nie upaść; wiemy, że żaden kamień na ulicy, nawet w czasie trzęsienia ziemi, sam nie poleci w górę.

Dziś fizyka zajmuje się również zjawiskami bardzo skomplikowanymi, np. budowaniem czujników do badania stanu „samopoczucia” roślin [3], czy poszukiwaniem przyczyn zmiennego tempa ewolucji gatunków biologicznych [4].



Fot. 1.7. Współczesne zastosowania fizyki: a) badanie „samopoczucia” roślin za pomocą spektroskopii fotoakustycznej; b) określanie struktury białek za pomocą wiązki promieniowania rentgenowskiego (synchrotronowego); c) pomiar „smaku” sałaty za pomocą spektroskopii transferu protonu [3]

Mówi się, że fizycy dostarczają narzędzi badawczych, które następnie chemicy i biologowie potrafią znakomicie wykorzystać w swoich laboratoriach. Struktura podwójnej spirali DNA została odkryta ponad 50 lat temu, na podstawie zdjęć rentgenowskich kryształów soli DNA. Odkrywczy tej struktury (F. Crick, J. D. Watson i R. Franklin) otrzymali Nagrodę Nobla z biologii, a sam Wilhelm Röntgen dostał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki, w 1900 roku.

Fizycy w 1947 roku stworzyli pierwszy tranzystor, a dziś każdy komputer zawiera ich miliony. W latach 70. ubiegłego wieku na potrzeby komunikacji między laboratoriami fizycznymi cząstek elementarnych został stworzony Internet. Poznawanie praw fizyki jest znakomitą szkołą przygotowującą do skomplikowanych zadań w inżynierii współczesnych materiałów, biologii molekularnej, astrofizyce, komunikacji kwantowej itd.

W tym poręczniku, na poziomie gimnazjalnym, przedstawimy główne pojęcia i najprostsze prawa fizyki. Mimo że pokazujemy je na prostych przykładach zderzających się kulek i paciorków naelektryzowanego bursztynu, to rządzą one również ruchem cząsteczek gazu w podmuchu wiatru, działaniem soków żołądkowych trawiących poranne śniadanie, czy obrotami odległych galaktyk. Aby to zrozumieć, musicie wykazać sporo wytrwałości...

[1] *Fizyka i zabawki*, praca zbiorowa pod red. G. Karwasza, PAP, Słupsk 2005.

<http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/index-pl.html>

[2] E. M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych*, PWN, Warszawa 1967.

[3] G. Karwasz, „*Jak się Pani czuje, Pani Orchideo*”, w: „*Na ścieżce fizyki współczesnej*”, *Wystawa idei fizycznych*, XXXVIII Zjazd PTF, Gdańsk 2003.

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/orchidea.html

[4] G. Karwasz, *DNA, elektrony i ewolucja*, tamże.

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/ewolucja.html

Materia w przyrodzie

1.4. Co to jest materia?

Fizyka zajmuje się materią. Trudno jest zdefiniować, co jest materią, a co nią nie jest. Nasze wyobrażenia o materii ulegają ciągle zmianom. Jeszcze dziś, mówiąc o transmisji radiowej, określa się ją „falami eteru”, chociaż dziś wiemy, że fale *elektromagnetyczne* (jak fale radiowe i światło) mogą się rozchodzić w pustej przestrzeni, czyli w próżni (która w obecności fal, oczywiście nie jest już *próżna*).

Zazwyczaj przez *materię* rozumiemy obiekty, które mają *masę*, czyli dają się zważyć. I tak elektron, najpospolitszy składnik materii, przenoszący prąd elektryczny i kreślący obraz w kineskopie telewizora, ma masę równą miliardowej części miliardowej części miliardowej części grama, to jest $0,9 \cdot 10^{-27}$ g (dokładniej $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg). Problem polega na tym, że taki elektron może „zniknąć”. Okazuje się, że *masa* takiego elektronu, po jego spotkaniu z antycząstką (pozytonem) zamienia się w *energię*, unoszoną przez „mikrobłysk” bardzo przenikliwego promieniowania elektromagnetycznego (promieniowania gamma).

Wniosek? Masa każdej cząstki elementarnej wskutek spotkania z jej antycząstką może zamienić się w energię. Tego rodzaju procesami rządzi *prawo równoważności* masy i energii, które w 1905 roku sformułował Albert Einstein:

$$E=m \cdot c^2$$

gdzie E jest miarą energii, m masy cząstki, a c jest prędkością światła. Nie tylko masa elektronu i pozytonu może zamienić się w energię błysku promieniowania gamma. Także promieniowanie gamma o dostatecznie dużej energii może, wyhamowane, wykreować parę cząstka–antycząstka, na przykład elektron–pozyton. Od czasów Alberta Einsteina jest więc bezpieczniej nazywać *materią* wszystko to, co uda się *zmierzyć* metodami fizyki. Materią jest zarówno elektron (kreślący obraz na ekranie telewizora), jak i fala elektromagnetyczna (nie posiadająca masy i rozchodząca się w próżni) przesyłana z nadajnika do telewizora, a niosąca zapis obrazu i dźwięku.



Fot. 1.8. Fizyka zajmuje się *materią*. Materią jest kawałek skały granitu, jest nią (przezroczyste) powietrze, napędzające kolorowy wiatraczek, jest nią *fala radiowa*, niosąca zapis obrazu telewizyjnego (na zdjęciu antena radiowa), jest nią również nieznaną nam formą materii, wypełniająca Wszechświat, zwana *ciemną* materią. O tej ostatniej wiemy, że istnieje, bo tak wynika z danych doświadczalnych i obliczeń, ale dziś (w 2010 r.) nie potrafimy jej jeszcze w żaden sposób zaobserwować

1.5. Trzy stany skupienia materii

Surowce kopalne, przedmioty codziennego użytku, woda w kranie, chmury, gwiazdy – są to wszystko przykłady materii. Woda w rzece, para wodna w saunie i lód w zamrażalniku, choć chemicznie takie same, różnią się *fizycznie* – mówimy o *stanach skupienia*.

Wyróżniamy (zasadniczo) trzy stany skupienia:

- *stan stały*,
- *stan ciekły*,
- *stan gazowy*.

A. Przykładami ciał stałych są: kawałek kryształu górskiego (minerał zwany kwarcem), 10–groszowa moneta, składająca się głównie z niklu, grafitowy wkład w ołówku (składający się z grafitu i ołowiu, stąd nazwa „ołówek”). Wspólną cechą tych przedmiotów jest ich twardość i określony kształt.

W stanie stałym ciała mają swój określony kształt.

Ciała stałe mogą ulegać rozciąganiu lub zgniataniu, jednak wiąże się to z wywieraniem na nie siły. Różne ciała stałe różnie reagują na przyłożone siły. Na przykład stalowe sprężyny resorów w wagonach kolejowych uginają się i wracają do pierwotnego kształtu po ustąpieniu siły. Inne, jak szkło – pękają, inne jeszcze, jak plastelina lub guma do żucia – odkształcają się pod wpływem niewielkich sił i nie wracają do pierwotnego kształtu. Mówimy o ciałach sprężystych, kruchych, plastycznych, choć różnice między nimi są często trudne do uchwycenia.

B. Przykładem cieczy jest woda w szklance. W stanie ciekłym ciała nie mają określonego kształtu, a przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują. Ich powierzchnia ustala się pod wpływem sił zewnętrznych, jak siła grawitacji. Znajdź błąd w średniowiecznym fresku na fotografii 1.9 (Castello Stenico, Trento).

Ciecze nie mają określonego kształtu, ale mają określoną objętość.



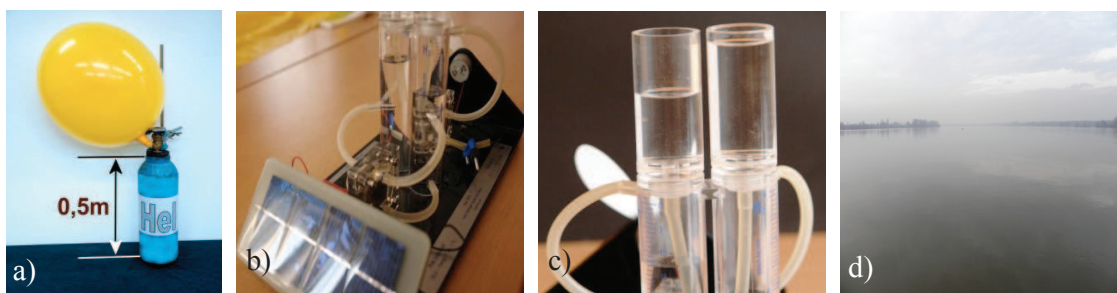
Fot. 1.9. Stany skupienia materii: a) ciało stałe (kawałek wapienia) posiada określony kształt; b) ciecze – przyjmują kształt naczynia, ale mają określoną objętość (zauważ błąd, jaki popełnił średniowieczny artysta); c) menisk w cieczy – powierzchnia wody podnosi się w narożnikach plastikowego poidelka dla kanarka. Powodem są siły przyciągania między cząsteczkami wody, a cząsteczkami plastiku; d) ciecze, podobnie jak ciała stałe, zmieniają swoją objętość z temperaturą; w termometrze lekarskim duża ilość cieczy jest zawarta w zbiorniku, natomiast sam „słupek” jest długi i wąski

Objętość, jaką zajmuje ciecz, zależy np. od temperatury, ale w niewielkim stopniu. Słupki cieczy w termometrze pokojowym rośnie wraz z temperaturą, ale jest to stosunkowo niewielka zmiana objętości. Widzimy tylko wąski „słupek”, a duża ilość cieczy jest ukryta w zbiorniczku termometru.

C. Przykładem gazu jest powietrze w Twoim oddechu. Gazy, podobnie jak ciecze, przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują, ale w odróżnieniu od cieczy, nie mają określonej objętości. Możliwe jest wtłoczenie dużej ilości tlenu, podawanego w szpitalach chorym z trudnościami w oddychaniu, do stosunkowo małej butli. W butlach szpitalnych tlen (i inne gazy) mogą być ściśnięte (sprężone) do 1/200 swojej objętości „normalnej”¹. W warunkach kosmicznych, ta sama ilość gazu (wyrażona np. w jednostkach masy) zajmuje znacznie większą objętość niż na powierzchni Ziemi. Z tego właśnie powodu balony stratosferyczne do obserwacji meteorologicznych (lejące na wysokość 20 km i więcej) na starcie wydają się puste.

Pojedyncze atomy lub cząsteczki w gazie są od siebie w dużych odległościach i bezustannie się ze sobą zderzają. Ten fakt wzajemnych zderzeń jest powodem, że gaz stara się zająć jak największą objętość, a jeśli zostanie zamknięty w zbiorniku, to wywiera na ściany tego zbiornika *ciśnienie*.

Gaz (doskonały) to zbiorowisko chaotycznie poruszających się cząsteczek, które oddziałują ze sobą tylko w momencie zderzeń. Materia w stanie gazowym **nie** ma określonego kształtu ani objętości.



Fot. 1.10. Stany skupienia materii (c.d.): a) gazy – nie mają określonej objętości. Ten sam, lekki gaz, hel, służący do napełniania balonów, zajmuje w stalowej butli znacznie mniejszą objętość, niż w balonie; z jednej małej butli można napełnić nawet 100 balonów. Podobnie samochodowe paliwo przyszłości, palny gaz wodór, jest upakowany w porowatym zbiorniku jak woda w gąbce; b), c) gazy, jak np. wodór i tlen zajmują w identycznych warunkach ciśnienia i temperatury identyczne *objętości* – w elektrolizie wody H_2O powstają zawsze dwie objętości wodoru i jedna objętość tlenu; d) jesienna mgła – gaz (para wodna), który zamienił się w maleńkie kropelki cieczy (wody)

1.6. Siły między cząsteczkami i atomami w różnych stanach skupienia

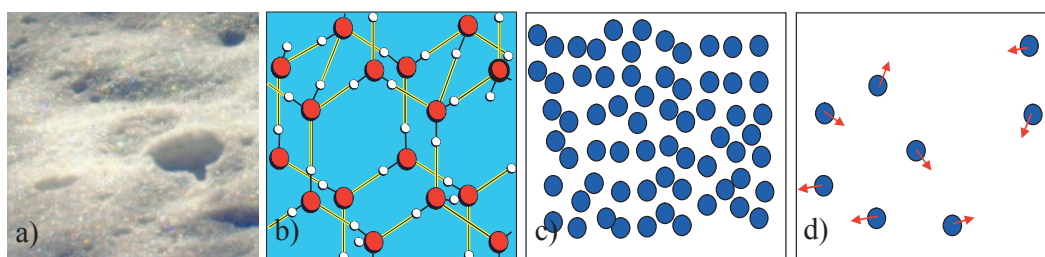
Jak już pewnie zauważyliście, różnice między stanami skupienia nie wynikają z rodzaju substancji (rodzaju atomów), ale z sił, jakie między tymi atomami występują. I tak woda w niskich temperaturach jest ciałem stałym, a w wysokich niewidzialnym gazem. (Zauważ, że para wodna jest w atmosferze zawsze obecna i jest niewidoczna. Jeśli widzisz „parę wodną”, np. w saunie lub w oddechu w mroźny dzień, to nie jest to już para wodna, ale małe kropelki ciekłej wody – mgła. Tak samo w chmurach, widoczna jest nie para wodna, ale kropelki wody lub kryształki lodu).

¹ Mówimy tu o standardowych butlach do użytku technicznego, za warunki „normalne” dla gazów uważa się temperaturę 20° C i ciśnienie atmosferyczne 1013 hPa.

Dlaczego lód jest twardy, a woda przelewa się „na życzenie”? Otóż w lodzie cząsteczki wody ułożone są blisko siebie, i to w ściśle określonym porządku. Mówimy, że cząsteczki H_2O tworzą kryształ. Cząsteczki blisko siebie (ale nie za blisko) przyciągają się tak jak ekran telewizora przyciąga kurz lub wełniany sweter przyciąga włosy. Siły oddziaływania między cząsteczkami są natury *elektrycznej* (będziemy o tym mówić w drugim tomie poręcznika).

W ciekłym stanie skupienia cząsteczki wody też są stosunkowo blisko siebie, ale poruszają się na tyle szybko, że siły przyciągające nie są w stanie nadać wodzie formy bryły sztywnej. Krople rosy i tzw. *menisk* na powierzchni wody świadczą, że i w cieczy cząsteczki przyciągają się wzajemnie.

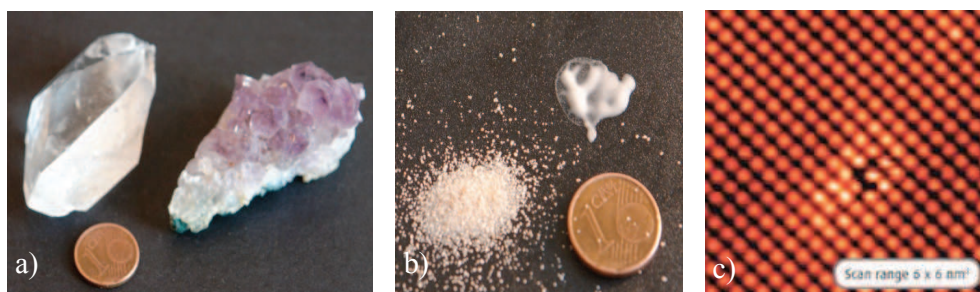
W gazie cząsteczki poruszają się tak szybko i są tak daleko od siebie, że siły przyciągania są niewystarczające, aby atomy skupić wzajemnie blisko siebie. Ale jeśli obniżymy temperaturę, to z pary wodnej wytrąca się ciecz. Gazy zamieniają się w ciecze również pod wysokim ciśnieniem – tzw. gaz butlowy (propan i butan) pozostaje cieczą, tak długo jak jest zamknięty pod ciśnieniem w butli, ale przechodzi w stan gazowy, zaraz po wypuszczeniu go z butli. Jak widzicie, granice między stanami skupienia są bardzo umowne. Wróćmy do stanów skupienia nieco dalej, ale teraz zdefiniujemy, co fizycy uważają za „cząsteczki”, a właściwie *atomy*.



Fot. 1.11. W zależności od odległości (i wzajemnych położeń) *cząsteczek* ta sama substancja tworzy różne stany skupienia: a) b) w kryształach śniegu lub lodu cząsteczki wody są ułożone w ściśle określonych położeń; c) w wodzie (i szkle) cząsteczki są położone blisko siebie, ale nieregularnie; d) w gazie cząsteczki są daleko od siebie i poruszają się chaotycznie

1.7. Atomy i cząsteczki

Kryształ kwarcu, składnik wielu skał, można rozkruszyć na ziarenka piasku. Biała zawiesina niektórych płynów do mycia ceramiki to też ziarenka kwarcu, ale rozmiarów tysięcznych części milimetra. Czy można rozbić te ziarenka na jeszcze drobniejsze?



Fot. 1.12. Jak daleko można podzielić kryształ kwarcu? a) Duży kryształ kwarcu i mały ametystu z Brazylii; b) w płynie do szorowania kryształki kwarcu mają rozmiary tysięcznych części milimetra; c) mikroskopia siła atomowych (AFM) pozwala obserwować pojedyncze atomy na powierzchni kryształu soli kuchennej – w środku zdjęcia widoczny jest *defekt* w sieci krystalicznej. http://www.omicon.de/index2.html?rom/qplus_atomi_resolution/index.html~Omicron

Tak! Można wytworzyć tak małe "ziarenka", że będą się one składały z trzech tylko *atomów* – dwóch atomów tlenu (O) i jednego krzemu (Si), w skrócie SiO₂. Słowo „atomos” pochodzi z języka greckiego i oznacza „niepodzielny”. We współczesnym języku greckim oznacza „in-dividuo”, po polsku „o-sobę” [1].

Atomem nazywamy najmniejszą, niepodzielną (chemicznie) część materii.

Cała znana nam z życia codziennego materia składa się z atomów. Z atomów miedzi zbudowane są przewody elektryczne, z atomów krzemu – układy elektroniczne w komputerze i telefonie komórkowym, z atomów węgla (i wodoru) – plastikowa obudowa telefonu. Dla wygody atomy oznaczamy symbolami, np. atom miedzi Cu, węgla C, krzemu Si. Symbole te pochodzą z nazw greckich (lub łacińskich) właściwych substancji. I tak miedź to *cuprum*, a węgiel *carbonium*. Nazwy atomów odkrytych w czasach nowożytnych są nadawane przez ich odkrywców, i tak Po to symbol *polonu*, od słowa Polska².

Atomy potrafią łączyć się w nieco większe grupy, zwane *cząsteczkami*. Atom wodoru H (lekkiego gazu służącego niegdyś do napełniania balonów) i atom tlenu O (gazu służącego do oddychania ludziom, zwierzętom i roślinom) łączą się w *ogniwie paliwowym* samochodzie w cząsteczkę wody, H₂O. Powstaje przy tym *prąd elektryczny* zasilający *silnik* samochodu.

Wzór *chemiczny* kwarcu to SiO₂. *Cząsteczka* kwarcu (tlenek krzemu, inaczej też krzemionka) składa się z jednego atomu krzemu i dwóch atomów tlenu. Takie same cząsteczki SiO₂, tylko nieco inaczej ułożone, tworzą szkło. Cząsteczka SiO₂ jest niepodzielna tradycyjnymi metodami *mechanicznymi* – dalej już nie uda się kwarcu rozdrobnić ani za pomocą mielenia ani kruszenia. Aby uzyskać pojedyncze atomy krzemu i tlenu, trzeba uciec się do metod *chemii*.³ A pojedyncze atomy można rozbić? Tak, ale o tym poniżej.

1.8. Elektrony i prąd elektryczny

Widzieliście nie raz baterijkę *elektryczną* do zasilania budzika, radia, czy zegarka. Każda z baterii, niezależnie od jej rodzaju i przeznaczenia ma zaznaczone dwa końce – dodatni (+) i ujemny (-). Co to oznacza?

Dodatni i ujemny koniec, *biegun* baterii oznaczamy tak od czasów pierwszego konstruktora baterii, Aleksandra Volty⁴, który zbudował ją ponad 200 lat temu (w 1797 r.). Według Volty, z dodatniego końca wypływają *ładunki elektryczne*. Wpływają one do bieguna ujemnego. Przepływ ładunków elektrycznych, bądź to z baterijki, bądź to z gniazdka w ścianie (też ma dwa wtyki, podobnie jak baterijka ma dwa bieguny) napędza silnik magnetofonu, zapala żarówkę, zasilają telewizor i komputer.

Istnienie ładunków elektrycznych jest pierwszym dowodem, że w skład atomów wchodzi inne, mniejsze składniki. W szczególności, w skład atomów wchodzi bardzo lekkie, ujemnie naładowane cząstki, zwane elektronami. Przepływ prądu elektrycznego przez silnik pralki to właśnie przepływ elektronów, które oddzieliły się od atomów. Elektrony kreślą obraz w telewizorze (starego typu), elektrony rozświecają gaz w żarówce energooszczędnej, elektrony są źródłem światła w monitorach i latarkach LED. Niosą ładunek ujemny, czyli płyną z ujemnego końca baterii do dodatniego. Elektrony są najważniejszym składnikiem materii – to ich ilość w cząsteczce decyduje, czy substancja jest metalem czy np. szkłem.

² Polon (i rad) odkryła, przerabiając ogromną ilość (1,5 tony) rudy uranowej Polka, Maria Skłodowska – Curie.

³ W procesie produkcji krzemu najpierw krzemionkę SiO₂ przeprowadza się w gazowy związek SiCl₄ a następnie osadza polikrystaliczny krzem w wysokiej temperaturze.

⁴ Alessandro Volta (1745 - 1827) włoski fizyk, inspektor szkolny w Como, wynalazca m.in. ogniwa elektrochemicznego, elektroskopu, elektroforu.



Fot. 1.13. a) Źródłem prądu z baterijki są przepływające *elektrony*; b) takie same elektrony kreślą obraz w monitorze komputerowym; c) w wyładowaniu elektrycznym (iskrze) przepływające elektrony powodują świecenie gazu, podobnie jest w zorzy polarnej

W skład atomów, oprócz ujemnie naładowanych elektronów, wchodzi dwie inne cząstki, dodatnio naładowane *protony* i obojętnie elektrycznie *neutrony*. Protony i neutrony są skupione w bardzo małym obszarze, tak zwanym *jądrem atomowym*, w centrum atomu, jak Słońce w środku Układu Słonecznego. Jeżeli typowe rozmiary atomu to dziesiąta część miliardowej części metra (0,1 nm, czyli 0,000 000 000 1 m) to rozmiary jądra są sto razy mniejsze (0,001 nm). Elektrony są jeszcze mniejsze – możemy oszacować, że mają rozmiary sto razy mniejsze niż jądro (0,000 000 000 000 001 m). O ile protony i neutrony są skupione w jądrze, to elektrony okrążają jądro z ogromnymi prędkościami (rzędu milionów metrów na sekundę).

Atomy składają się z ujemnie naładowanych, lekkich cząstek zwanych elektronami, dodatnio naładowanych protonów i neutralnych neutronów. **Protony** i **neutrony** są skupione w jądrze, natomiast **elektrony** okrążają jądro, obrazowo mówiąc „po orbitach”.



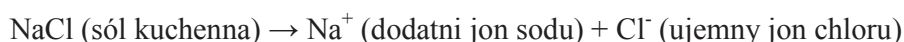
Zwróćcie uwagę, że logo wielu instytucji, na przykład uniwersytetów (tu UJ w Krakowie) zawiera „obraz” atomu.

1.9. Jony i elektroliza

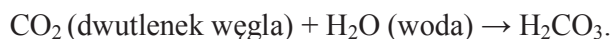
Krucha i biała sól kuchenna, NaCl, składająca się z atomów (metal) sodu i atomów (gazu) chloru nie przewodzi prądu elektrycznego, ale woda z dodatkiem soli kuchennej prąd przewodzi. Dlaczego? Otóż w roztworze wodnym obojętne elektrycznie atomy Na i Cl wymieniają między sobą *ładunki elektryczne*. Sód traci elektron, a chlor ten elektron przyjmuje. Atomy same z siebie są elektrycznie *obojętne*. Jeśli atom straci lub zyska elektron (jeden lub więcej), czyli będzie posiadał niezerowy ładunek elektryczny, to nazywamy go *jonem*.

Jonami nazywamy atomy, które utraciły lub zyskały elektron (-y). Jony występują na przykład w roztworach wodnych lub w wyładowaniach elektrycznych w gazach.

W roztworze wodnym sól kuchenna, NaCl, rozpada się na jony według reakcji jak poniżej:



Wiele substancji rozpada się w podobny sposób w roztworach wodnych. W wodzie mineralnej rozpuszczony zostaje gaz zwany dwutlenkiem węgla, CO₂. Gaz ten przyłącza się do cząsteczki wody, H₂O:



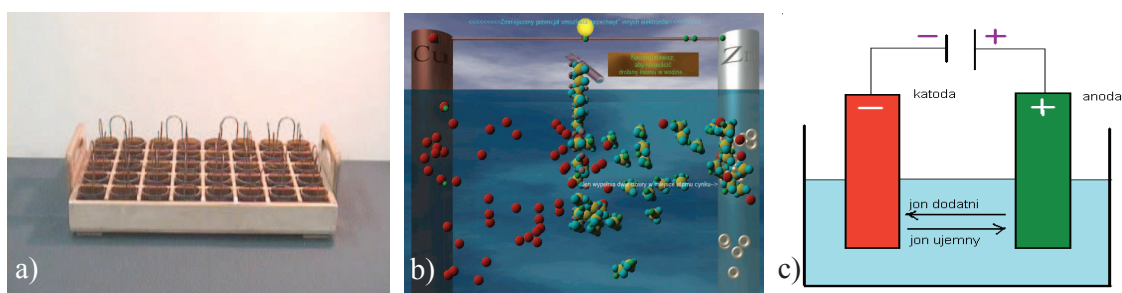
Utworzoną substancję chemicy nazywają *kwase*m. W tym przypadku jest to kwas *węglowy*. Cząsteczki kwasu znajdują się w środowisku wodnym i z tego powodu część z nich rozpada się na jony:



Nawet woda, w fazie ciekłej występuje w postaci jonów, choć jedynie niewielka część z cząsteczek H_2O rozpada się na jony (mniej więcej jedna na milion w „zwykłej” wodzie):



Dzięki obecności jonów H^+ , pochodzących z rozpadu kwasu węglowego, woda mineralna posiada „kwaskowaty” smak. Jony H^+ są również w occie i innych substancjach zwanych *kwasami*. Wróćcie do tematyki kwasów na lekcjach chemii. My zajmijmy się ponownie stanami skupienia. Czy wszystkie z nich dają się łatwo sklasyfikować na ciała stałe, ciecze i gazy. We współczesnej fizyce – nie!



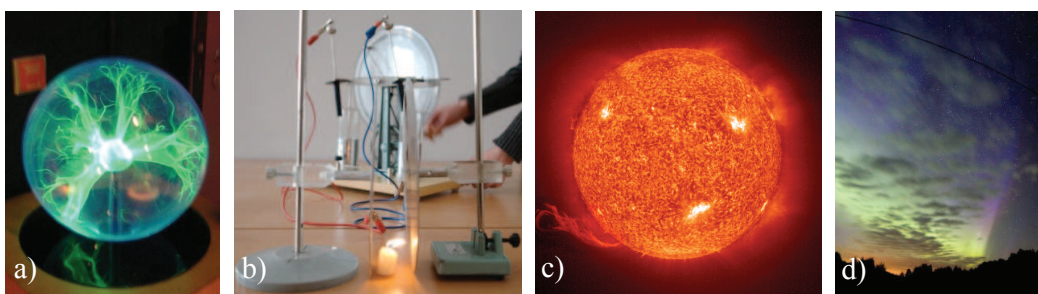
Fot. 1.14. a) Rekonstrukcja ogniwa Volty (UMK); b) działanie ogniwa Volty – siarczan cynku w roztworze wodnym rozpada się na naładowane elektrycznie jony. Te dostarczają ładunek elektryczny do dwóch końców (biegunów) baterii; c) w procesie elektrolizy wody prąd elektryczny z zewnętrznego źródła powoduje przepływ jonów H^+ i O^- w przeciwnych kierunkach, jon H^+ (O^-) pobiera (oddaje) elektron i łącząc się z drugim atomem zamienia się w gaz

1.10. Inne stany skupienia

Okazuje się, że podział materii na trzy stany skupienia jest uproszczony. Nawet starożytni Grecy wyróżniali cztery „elementy pierwotne” – ziemię, wodę, powietrze i ogień. Czym różni się płomień świecy od zwykłego gazu, oprócz tego, że jest znacznie gorętszy? Otóż przez płomień świecy może przepływać prąd elektryczny, nie wiele gorzej niż przez miedziany kabel. Powodem jest obecność, obok cząsteczek neutralnego gazu, pewnej ilości *jonów* (azotu, tlenu itd.), obdarzonych ładunkiem elektrycznym (zazwyczaj dodatnim) oraz swobodnych elektronów. Prąd elektryczny jest przenoszony przez te jony (i elektrony).

Plazma

Gaz, w którym obok cząsteczek elektrycznie obojętnych występują jony nazywamy *plazmą*. Plazma świeci na przykład w tzw. lampie neonowej – białej, podłużnej rurze nad twoją głową w klasie lub w tzw. żarówce energooszczędnej. Plazma, pod nieco większym ciśnieniem jest też w popularnej kuli plazmowej, zob. fot.1.15. Z plazmy, o ogromnej temperaturze i pod ogromnym ciśnieniem składa się też nasze Słońce. Podobne warunki temperatury i ciśnienia starają się wytworzyć naukowcy w urządzeniach zwanych *tokamakami*, aby produkować energię w identyczny sposób, jak się to dzieje we wnętrzu Słońca.



Fot. 1.15. a) W kuli „plazmowej” część atomów gazu traci ładunki elektryczne – elektrony i jony umożliwiają przepływ prądu; b) płomień świecy to też przykład gazu *zjonizowanego* czyli plazmy – maszyna elektrostatyczna rozładowuje się natychmiast w obecności płomienia; c) powierzchnia Słońca to też przykład plazmy, ale o wysokiej (5500°C) temperaturze; d) zorza polarna to przykład zimnej i bardzo rozrzedzonej plazmy. Przyczyną jej świecenia są zderzenia elektronów z cząsteczkami tlenu azotu NO

Ciekłe kryształy

Jak już powiedzieliśmy, ciecze nie mają określonego kształtu. Ale czasem ciekłe cząsteczki takie kształty przyjmują, np. w wyświetlaczach kalkulatorów lub telefonów komórkowych. Okazuje się, że pod wpływem napięcia elektrycznego, nawet niewielkiego, jak w bateryjce, długie łańcuchy cząsteczek ustawiają się w określonym kierunku i tworzą np. kształty liter.

Czasem twierdzi się, że szkło, takie jak szkło okienne, też jest cieczą. Jest to o tyle uzasadnione, że szkło, podobnie jak np. plastelina, pod wpływem własnego ciężaru może się zdeformować. Szklane płytki w witrażach ze średniowiecznych katedr we Francji są nieco grubsze na dole niż u góry. Otóż, przez wieki, szkło nieco „spłynęło” w dół. W odróżnieniu od kwarcu, w szkle cząsteczki SiO_2 ułożone są chaotycznie, stąd szkło łatwiej formować, odlewać, barwić niż czysty kwarc. Weneccy artyści szklarze, na wyspie Murano, potrafią wytworzyć ze szkła prawdziwe arcydzieła.

Inne materiały są jeszcze bardziej zadziwiające. Kolorowa „guma”, nazywana po angielsku „głupim kitem” (silly putty) raz jest plastyczna, jak guma do żucia, ale jeśli ulepimy z niej piłkę, to odbije się ona od podłogi. Co więcej, uderzona młotkiem, rozprysnie się jak szkło. Jest to tzw. *polimer*, ale w odróżnieniu od zwykłego „plastiku”, zawiera nie atomy węgla, ale atomy krzemu. Wynalazł ją przypadkowo naukowiec w zakładach DuPont w USA w 1950 roku, ale do dziś nie wiadomo, do czego ją wykorzystać. Inna jeszcze ciecz, polimer składający się w dziesiątek tysięcy atomów, przelewa się sam ze szklanki do szklanki, jak bardzo gęsty i lepki kisiel, zob. fot. 1.16d.

Metale z pamięcią

Powiedzieliśmy, że ciała stałe, na przykład metale, zachowują swój kształt. Ale są metale, które pozornie same z siebie wyginają się w dziwne formy. Są to tzw. metale z pamięcią kształtu. Najprostszym tego typu metalem jest stop niklu i tytanu w proporcjach 50:50. Drut z takiego metalu może być wyginany we wszystkich kierunkach, ale po podgrzaniu w płomieniu zapalniczki wraca do pierwotnego kształtu. Okazuje się, że atomy w tym *stopie* pamiętają swoje oryginalne ułożenie w stosunku do sąsiadów i mimo przesunięć, w podwyższonej temperaturze wracają do początkowych położenia. Tego rodzaju metale są wykorzystywane do sterowników skrzydeł w niewidzialnych samolotach Stealth.

Współczesne technologie zacierają granice między stanami skupienia. Pozornie taki sam monitor komputerowy może wykorzystywać do rysowania obrazu wiązkę elektronów (w tzw. kineskopie), ciekłe kryształy (LCD), płaskie wyświetlacze plazmowe, a w najnowszych



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.

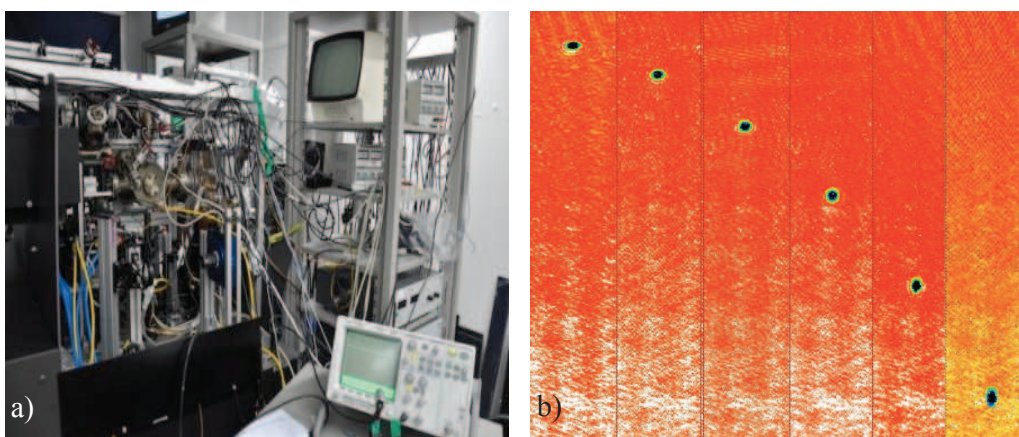
1.11. Kondensat Bosego–Einsteina – piąty stan skupienia

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 kosmosie⁵ 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.

⁵ 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

[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

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

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

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

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/hhiggs3.ppt