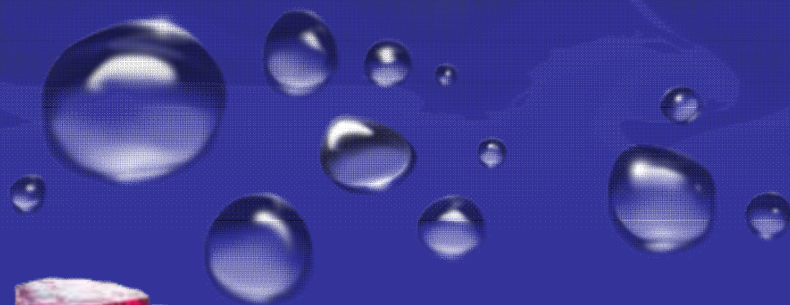




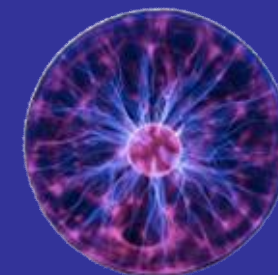
Zakład Dydaktyki Fizyki i Pracowania
Pokazów Fizycznych
Instytut Fizyki, UMK Toruń



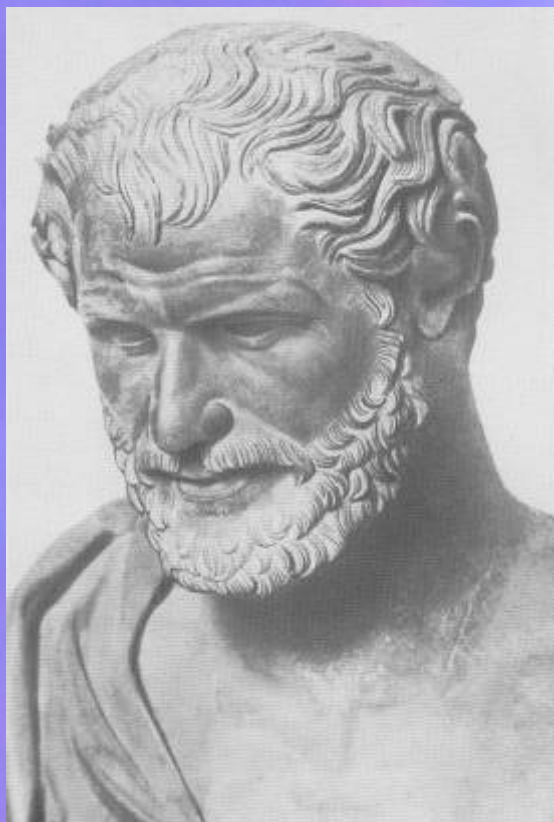
Cztery (i pół) stany skupienia



Grzegorz Karwasz,



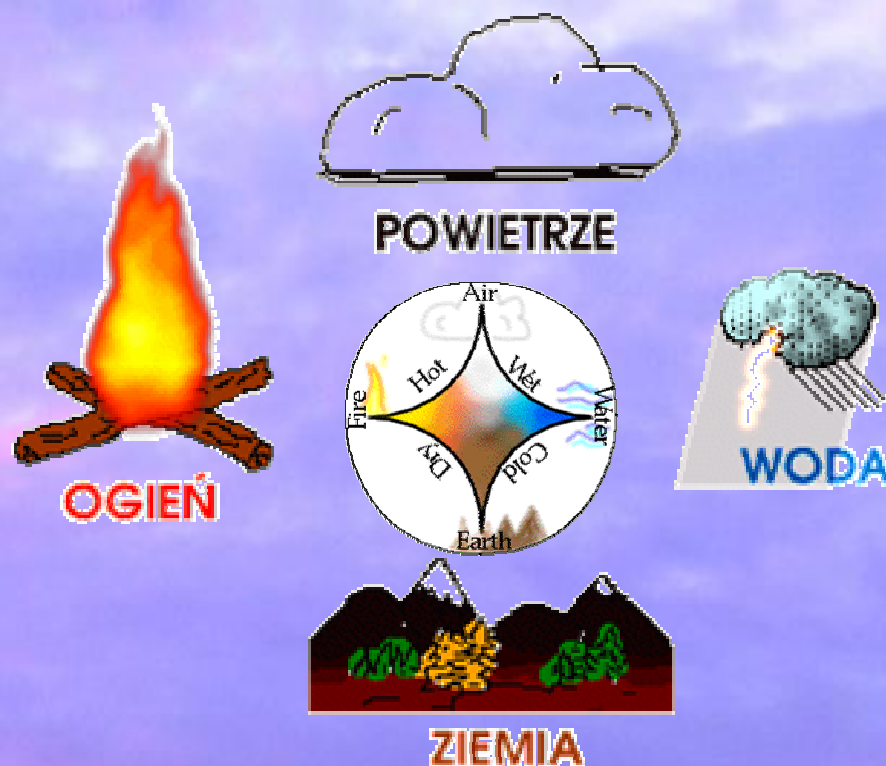
Już starożytni Grecy...



Platon ↔ Demokryt

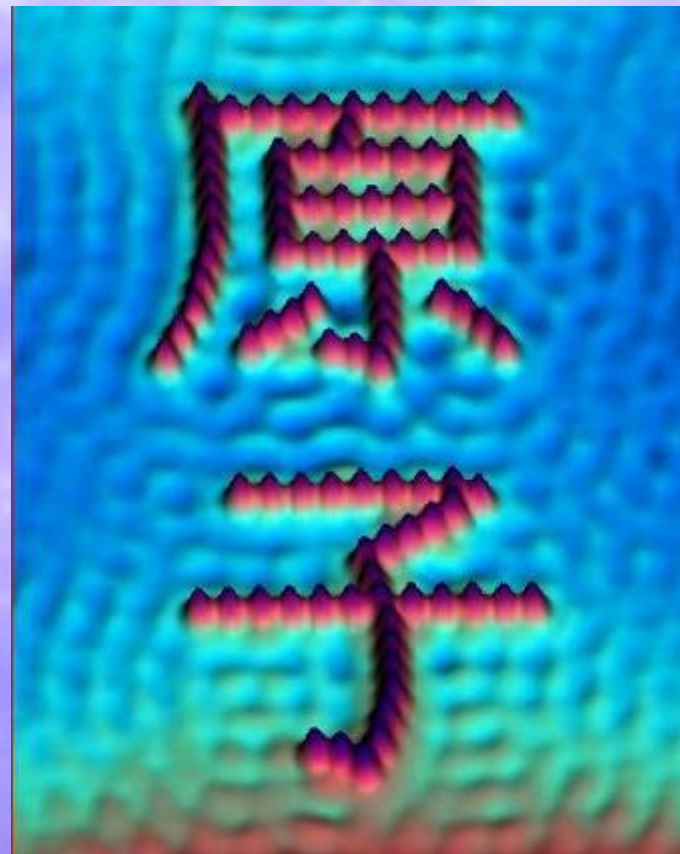
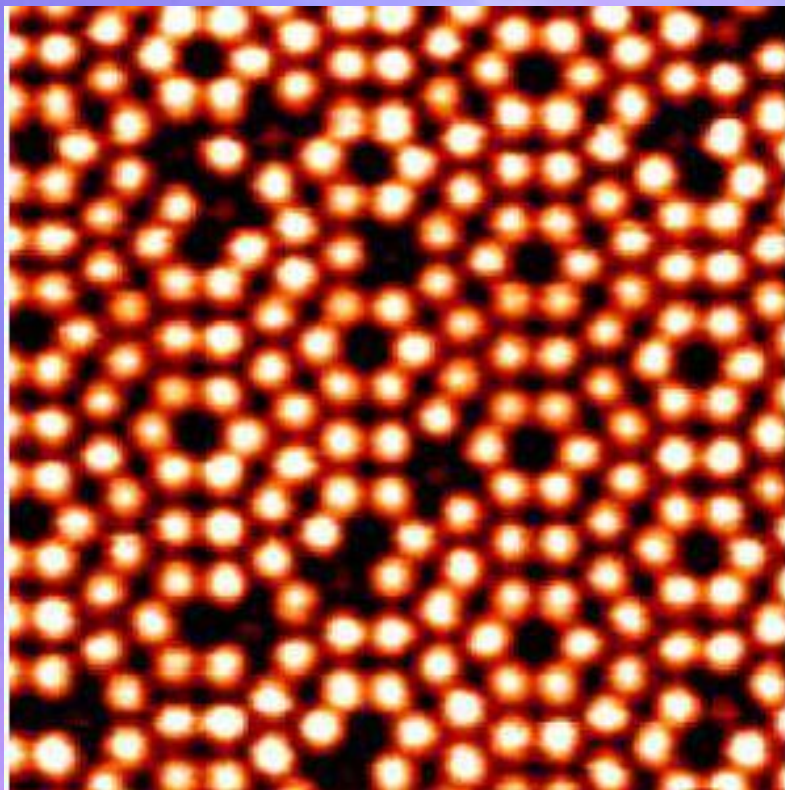
- **Podzielny?**
- **Niepodzielny?**

- ... zastanawiali się,
- z czego jest zbudowany Wszechświat
- oraz co go utrzymuje w całości?

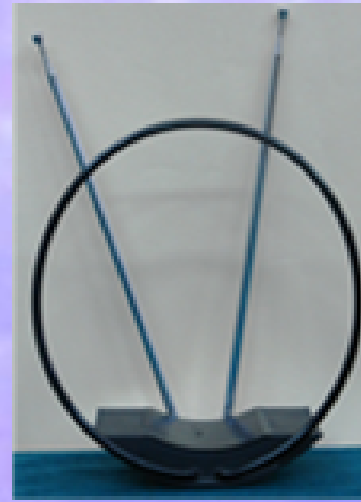
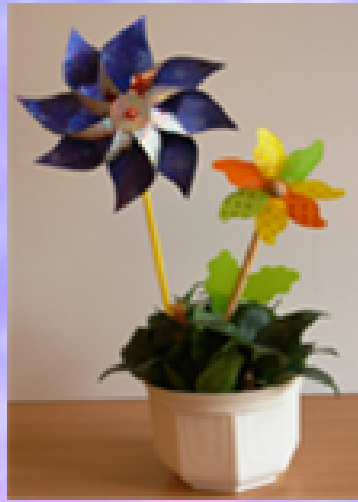


„Empedokles [jako zasady] przyjmuje ogień, ziemię, wodę i powietrze”
(Arystoteles, *Metafizyka*, 988, 26).

z atomów...



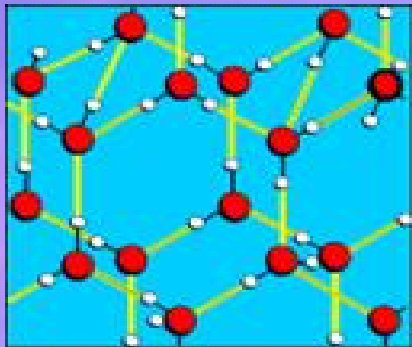
Co to jest materia?



Własności materii

Ciała stałe

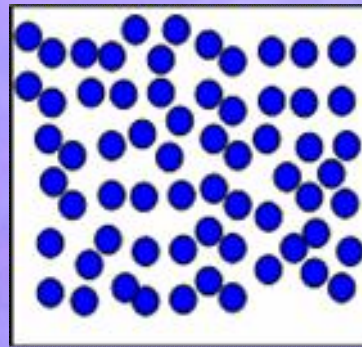
Mają swój określony kształt



- Kryształy soli, minerały
- Nietypowe własności ciał amorficznych – sprytna plastelina?
- Zmiana własności pod wpływem niskiej temperatury (ciekły azot)

Ciecze

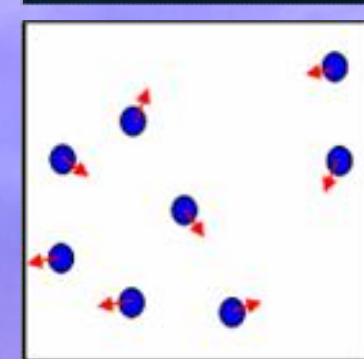
Nie mają określonego kształtu, ale mają określoną objętość



- Menisk, naczynia połączone, efekt kapilarny
- Dlaczego ciała pływają
- Ciśnienie hydrostatyczne
- Prasa Pascala

Gazy

Nie mają określonego kształtu ani objętości



Pompa próżniowa

Ciała stałe

- Mają swój określony kształt
- Większość ma strukturę krystaliczną, czyli uporządkowaną
- Tradycyjnie dzielimy je na sprężyste, plastyczne, kruche



Ametyst, czyli kwarc (SiO_2) zabarwiony tlenkami żelaza

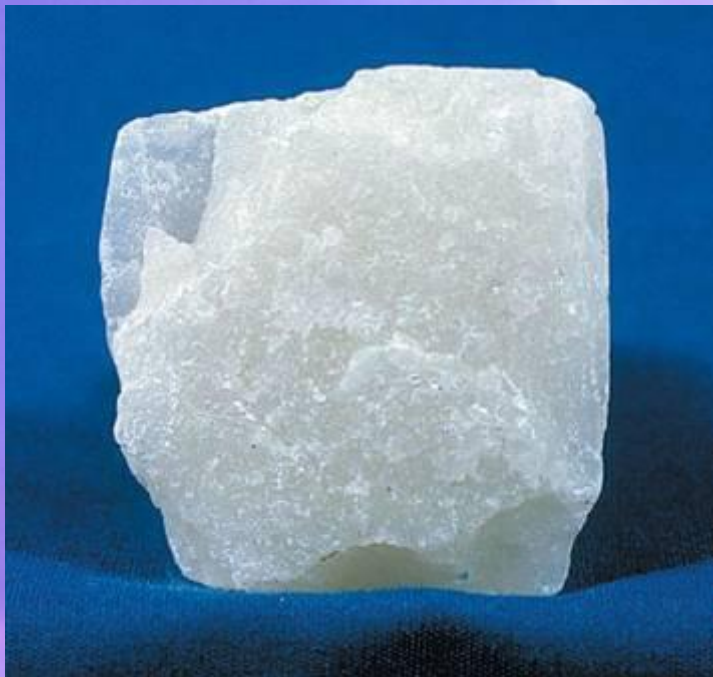


Piryty, czyli siarczek żelaza FeS_2 zwany „złotem głupców”



Ortoklaz, czyli skaleń (składnik granitu)

1 talk



<http://www.mii.org/Minerals/Minpics1/Talc%202.jpg>

<http://www.microphotonics.com/talc%20powder.jpg>

2 gips (alabaster) CaSO_4



<http://www.dkimages.com/discover/previews/953/35003342.JPG>

3 kalcyt (wapień, szpat islandzki) CaCO_3



<http://skywalker.cochise.edu/wellerr/mineral/calcite/6calcite-cleavage2.jpg>

http://www.gvstones.com.br/brazil_orange_compact_calcite_bocc05_f09.JPG

4 fluoryt CaF_2



http://www.sciencehelpdesk.com/img/science1_5/Fluorite.jpg

<http://www.healingcrystals.com/images/cards/Fluorite.jpg>

5 apatyt $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$



<http://www.rockcutters.us/cut-images/apatite/apatite-green-oval.jpg>
<http://www.matsminerals.com/apatiteCM-13.jpg>

6 ortoklaz KAlSi_3O_8



<http://www.thomsonminerals.com/images/JBW615CORTHOCCLASENC1.jpg>
<http://www.prettyrock.com/php/images/facet-rough/orthoclase-04302007-1-1.jpg>

7 kwarc (SiO_2)



<http://www.pitt.edu/~cejones/GeoImages/1Minerals/1IgneousMineralz/Quartz/QuartzRose.jpg>

http://earthnet-geonet.ca/images/dynamic/minerals/smokey_quartz.jpg

http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste_rectifiee.jpg

http://perso.wanadoo.es/maquinalmatheus/ima/ametiste_rectifiee.jpg

8 topaz Al_2SiO_4



<http://blog.bolderworld.com/wp-content/uploads/2009/04/topaz.jpg>
<http://webmineral.com/specimens/Topaz.jpg>

9 korund Al_2O_3

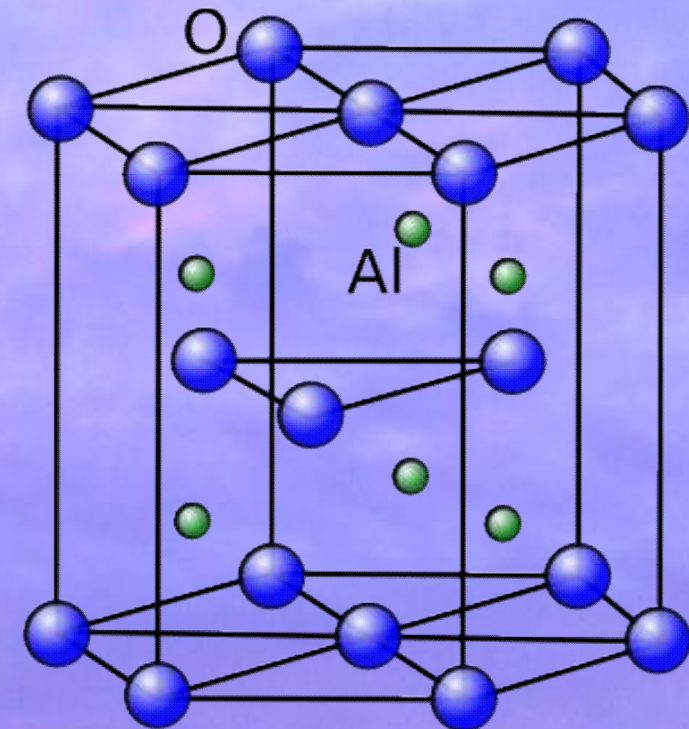
tlenek glinu, Al_2O_3 – papier ścierny



- domieszkowany jonami Fe: szafir



- domieszkowany jonami Cr: rubin



Źródło: Wikipedia

http://tikalon.com/blog/blog.php?article=2015/transparent_aluminum

10 diament



<http://loopyatic.files.wordpress.com/2007/07/diamond.gif>

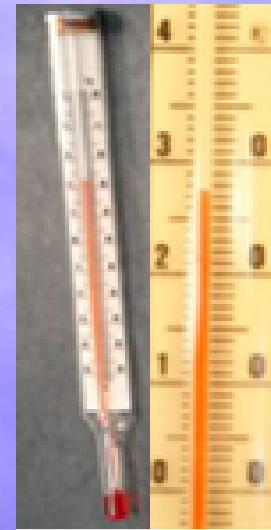
<http://www.diamondgeezer.com/diamond-buyers-guide/images/diamond-shape.jpg>

<http://www.worldwidediamonds.info/oppenheimer%20diamond%20yellow%20crystal.jpg>

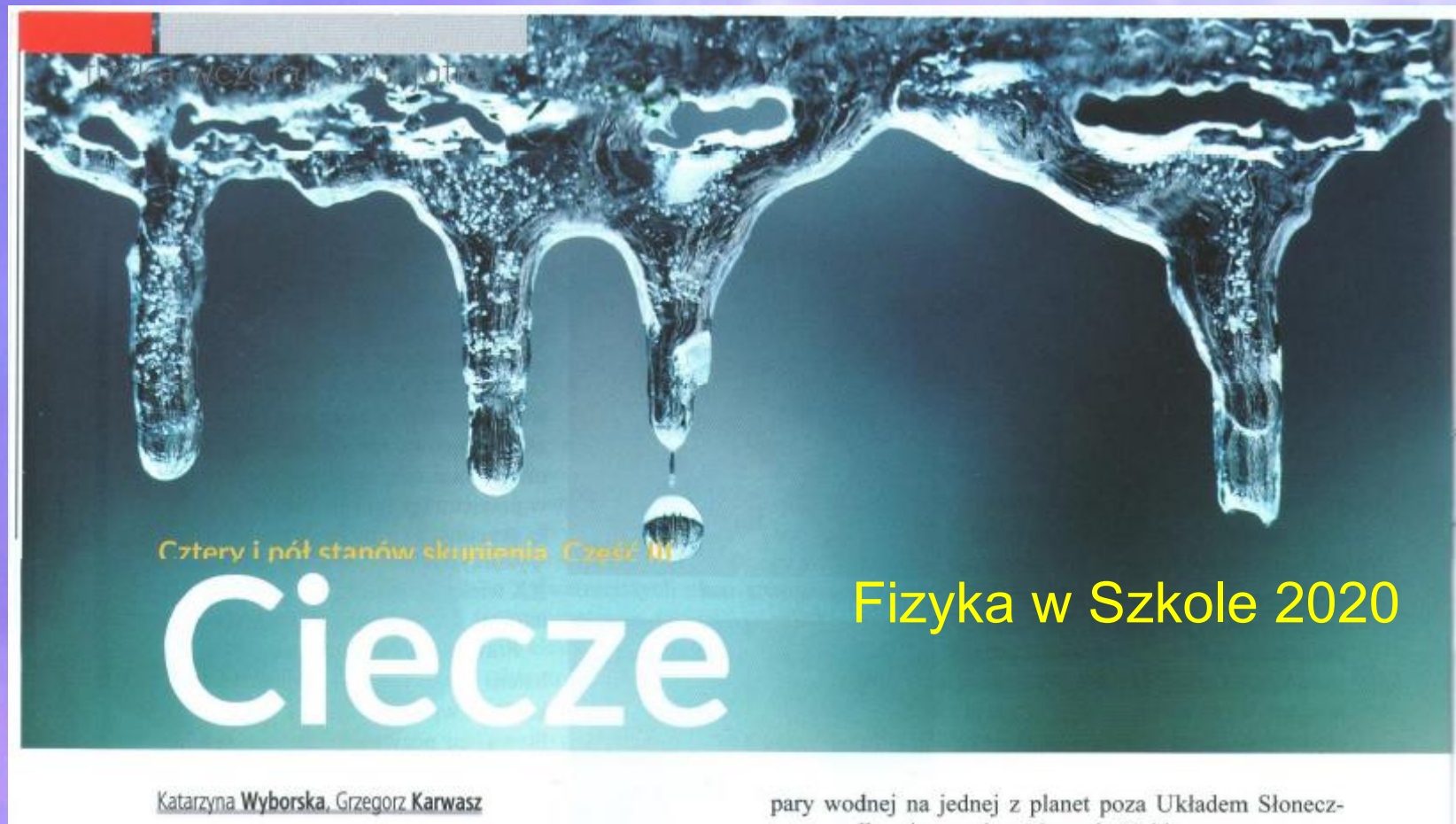
<http://famousdiamonds.tripod.com/steinmetzpinkdiamond.html>

Ciecze

- Nie mają określonego kształtu, ale mają określoną objętość: przyjmują kształt naczynia
- Rozszerzają się z temperaturą (inne stany skupienia też)

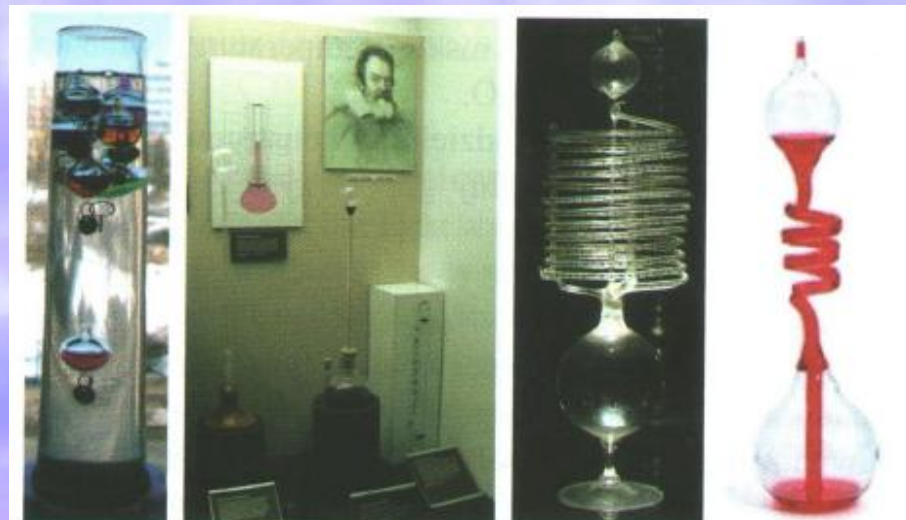
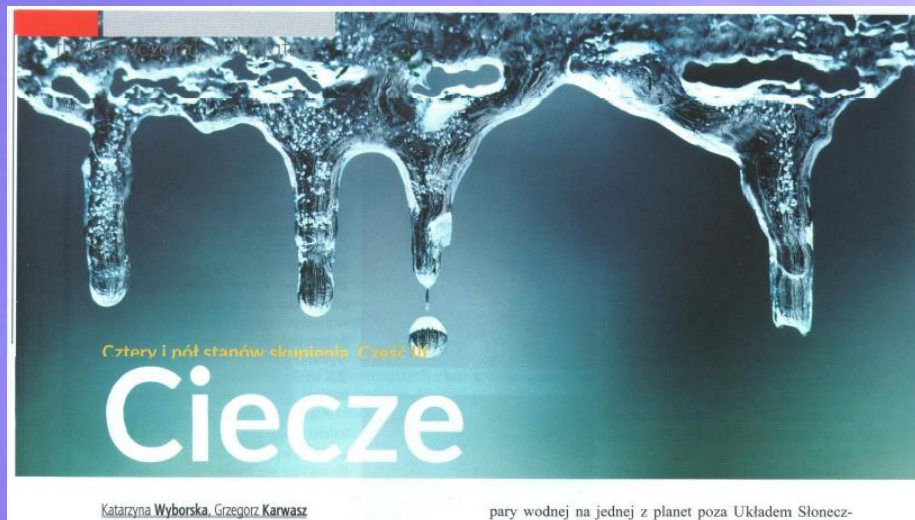


„Ciecze” Fizyka w Szkole 2020



Fizyka w Szkole 2020

„Ciecze” Fizyka w Szkole 2020



Rys. 1. Co jest prawdziwym termometrem Galileusza? (a) Czy pływające w nafcie, odpowiednio wyważone szklane bańki? Galileusz odkrył rozszerzalność termiczną cieczy, ale termometr z bańkami skonstruował dopiero jego uczeń Toricelli. Ta „zabawka” została zaprojektowana w Science Museum w Londynie, w 1990 roku. (b) Czy dwa naczynia połączone rurką, tzw. termoskop Galileusza, jak ten eksponat w Londynie? (c) Czy długa poskręcana rurka z wodą jak rekonstrukcja w Muzeum Galileusza we Florencji? (d) Czy „termometr miłości” ze zbiorów „Fizyki zabawek”?

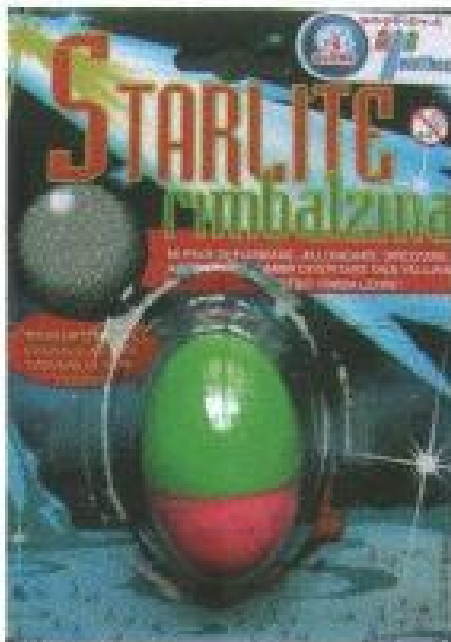
„Ciecze” Fizyka w Szkole 2020



Rys. 7. Napięcie powierzchniowe. (a) Woda układa się w gigantyczne krople na liściach grążeli (Mareeba Wetlands, Australia): są one hydro-fobowe. (b) Do szklanego dzbana włożono dość obcisłą, plastikową obwolutę: siły adhezji między plastikiem a wodą są tak duże, że poziom wody podnosi się, aż do brzegu dzbana. Foto: Maria Karwasz; GK.

Napięcie powierzchniowe

„Ciecze” Fizyka w Szkole 2020



Rys. 11. „Skrzyżowania” stanów skupienia: ani ciała stałe ani ciecze. Dobrze znana „elastyczna plastelina” [19], świecowy żel i slime (po polsku „smarkol”) Natalli. Źródło: zbiory autorów

Niby-ciecze

„Ciecze” Fizyka w Szkole 2020

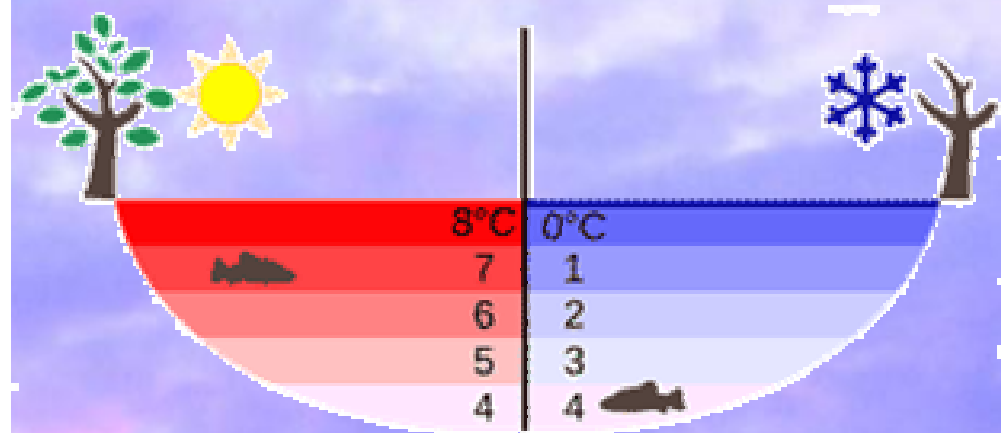
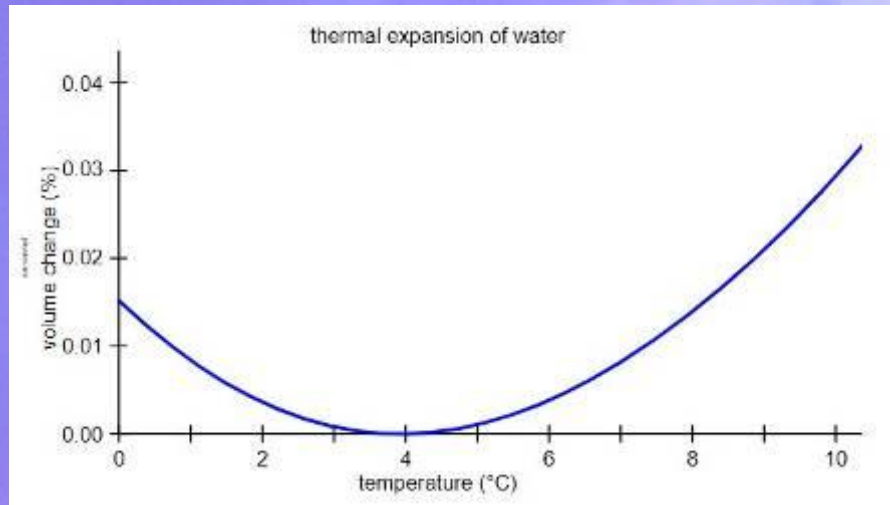


Rys. 5. Powierzchniowa, quasi-ciekła warstwa lodu [13], rys. 5a, umożliwia ślizganie się kamienia w zawodach curlingu [14]. Źródło: University College Davies, New England Curling Team.

Dlaczego lód jest śliski?

Bo na powierzchni jest pokryty warstwą H_2O przypominającą wodę

Woda: anomalna rozszerzalność



http://www1.lsbu.ac.uk/water/density_anomalies.html

<https://physics.info/expansion/>

Gaz, kolejny stan materii

- Grecy (Empedokles, cytowany przez Arystotelesa) nazywali ten stan *powietrze*, αἶρας



Balon aerostatyczny

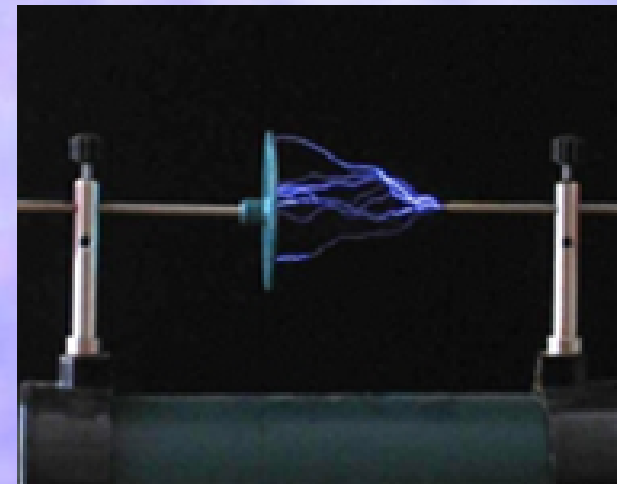
Gazy – bez stałej objętości

- Nie mają określonego kształtu ani objętości
Jeżeli nie-ściśnięte, zajęłyby jak największą objętość



Większość gazów, jak H_2 , He, Ar, N_2 , O_2 , H_2O (para wodna), CO (tlenek węgla), metan (CH_4) jest przezroczysta (w zakresie widzialnym) i **bezwonna**

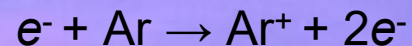
Elektrony i prąd elektryczny



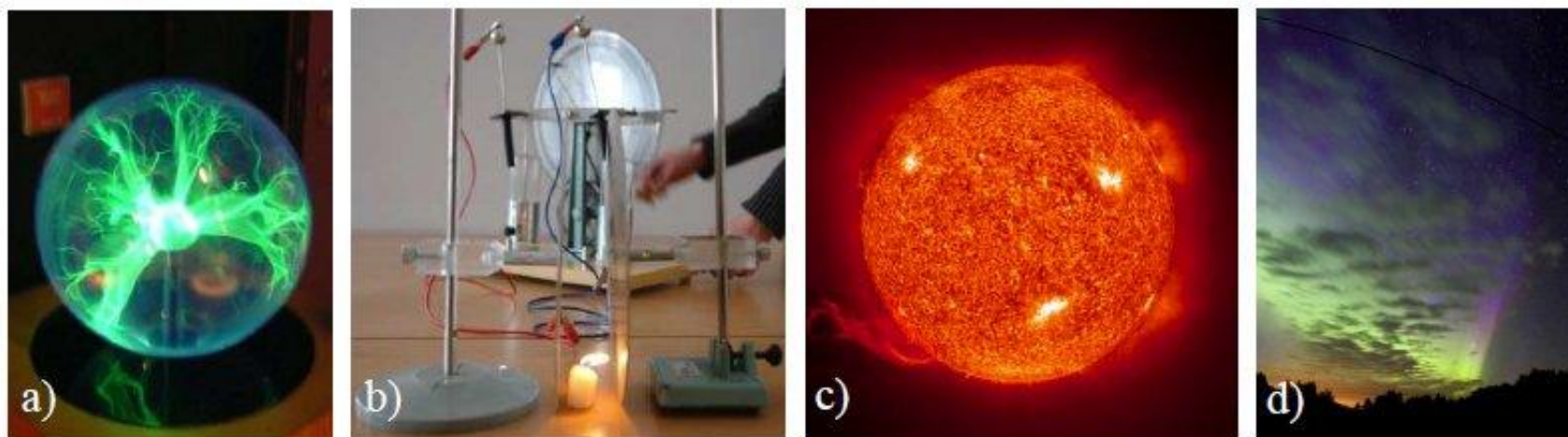
Atomy nie są najmniejszymi składnikami materii. Prąd elektryczny jest przenoszony przez *elektrony*, które (razem z dodatnimi protonami i neutralnymi *neutronami*) składają się na atomy

Gazy, w „zwykłych” warunkach, nie przewodzą prądu elektrycznego:
Atomy i cząsteczki gazów nie mają *netto* ładunku elektrycznego

Ale, lampa jarzeniowa nad głową jest dowodem, że przez gaz może płynąć prąd.
Tak, ale najpierw trzeba dokonać *jonizacji* gazu, tzn. oderwania elektronu.

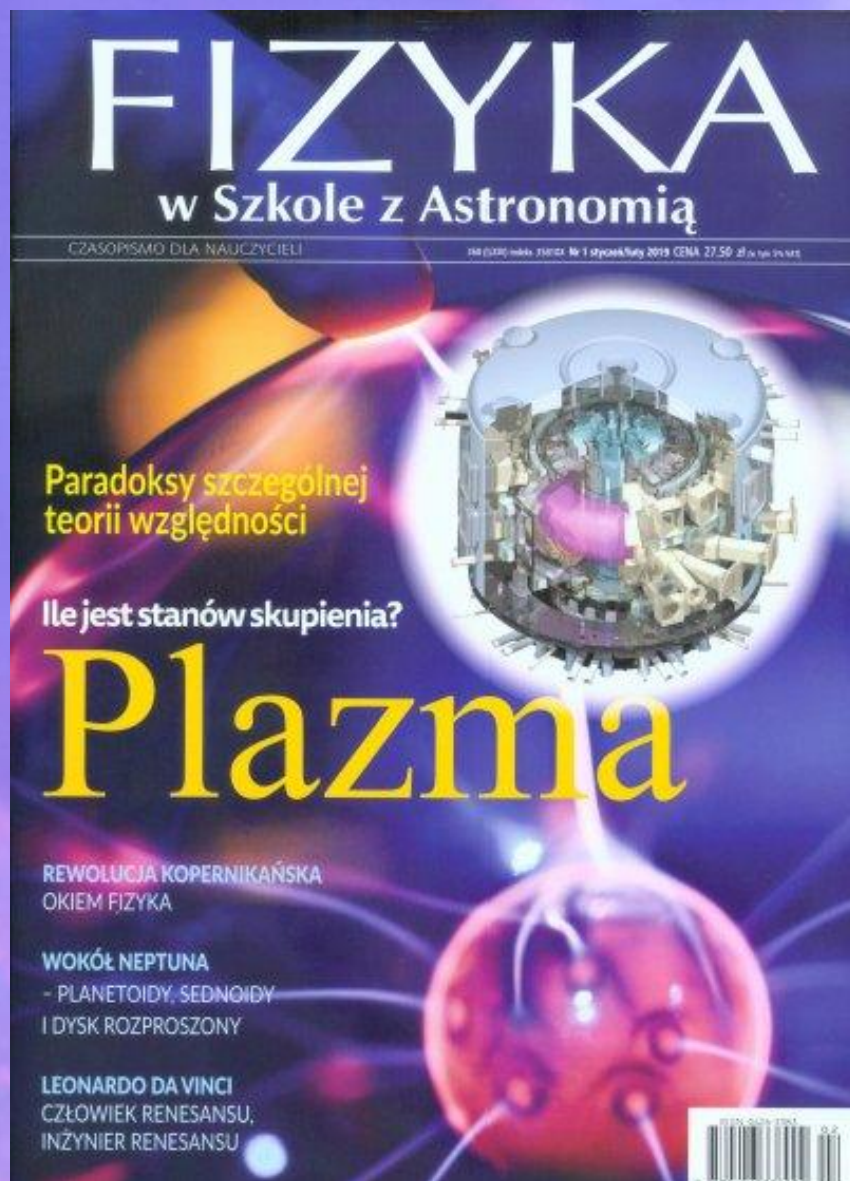


Plazma – czwarty stan skupienia („ogień”)



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 tlenku azotu NO

Plazma – czwarty stan skupienia („ogień”)



Głogowski Karwina

Ile jest stanów skupienia? Podręczniki szkolne odpowiadają, że trzy: ciał stałe mają kształt, ciec nie mają kształtu a tylko objętość, a gazy stają się rozprężone jak najgęstszy (czyli „rozprężony”). Ale stanów skupienia, jak to pokazujemy w Torontu na interaktywnych wykładach dla młodzieży [1] jest więcej: naliczyliśmy ich cztery, może pięć. Nie wiadomo jak zakwalifikować ciekłe kryształy, a jak kondensat Bosego-Einstein (opromieniany stan atomów w stanie gazowym [2]).

Kolejne typowe zdanie z podręczników to: „już starożytni Grecy”. Rzeczywiście, w odwołaniu do Egipcjan czy mieszkańców Malty, Grecy nie budowali gigantycznych obserwatoriów astronomicznych, ale piali książki. Arystoteles, który w jednym umyśle zawarł miłość do wiedzy (czyli bóg-odgę), miał ze sobą pięćset lat rozwoju nauki, w jej ogromnej różnorodności, rozsypanej w greckim archipelagu po całym Morzu Śródziemnym. Jego poprzednicy poszukiwali składników ziemi. Anaksymander (a może Anaksagoras) uważał, że pierwszym składnikiem jest ziemia (albo woda, nie pamiętam). Arystoteles podsumował te poszukiwania tak we wstępie

ognia. Ale w lampie jarzeniowej nad głową prąd płynący: niektóre z atomów gazu (jest w takiej lampie głównie argon i pary rtęci) straciły elektrony (zarzucają po jednym elektronie) – stały się jonami (o ładunku dodatnim). W ten sposób, zainicjowano dodatnie jony, jak i uwolnione elektrony mogą przewodzić prąd. W którym kierunku? W rurę nad głową tak w prawo, raz w lewo – 50 razy na sekundę.

Aby zaobserwować, że rzeczywiście muszą napierać powstają jony, aby popłynął prąd, włączamy lampę jarzeniową na słupkę sekundy – nie zapala się, a jedynie na jej końcu coś się jarzy – to zamek uruchamiany przez układ zapłonowy (czerwony przerywnik, tzw. starter). Zamek wytwarza początkową „paciągę” jonów i elektronów, które są potrzebne do inicjacji wyładowania elektrycznego w całej rurze. Raz zainicjowane wyładowanie podtrzymuje się samo. (Potrzebny oczywiście zewnętrzny układ stabilizujący, ale wystarczy zwykły opornik włączony szeregowo w obwód lampy).

Wyjaśnienia wymagają dwie kwestie: ile jest jonów w gazie i dlaczego, mimo że rura świeci (czyli jest w niej jakby ogień) pozostaje zimna? Jonów w gazie jest niewiele – łatwo to policzyć: lampy jarzeniowe „konsultuje” niewiele energii – rzędu 20 W. Oznacza to, że potrzeba

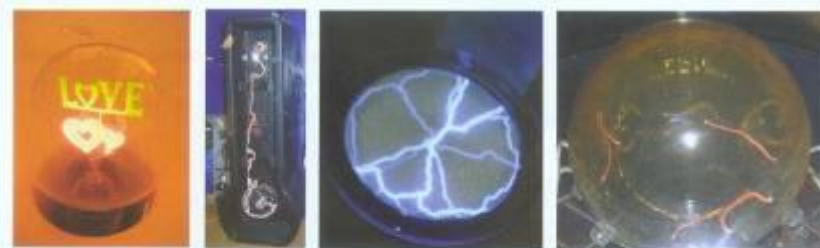
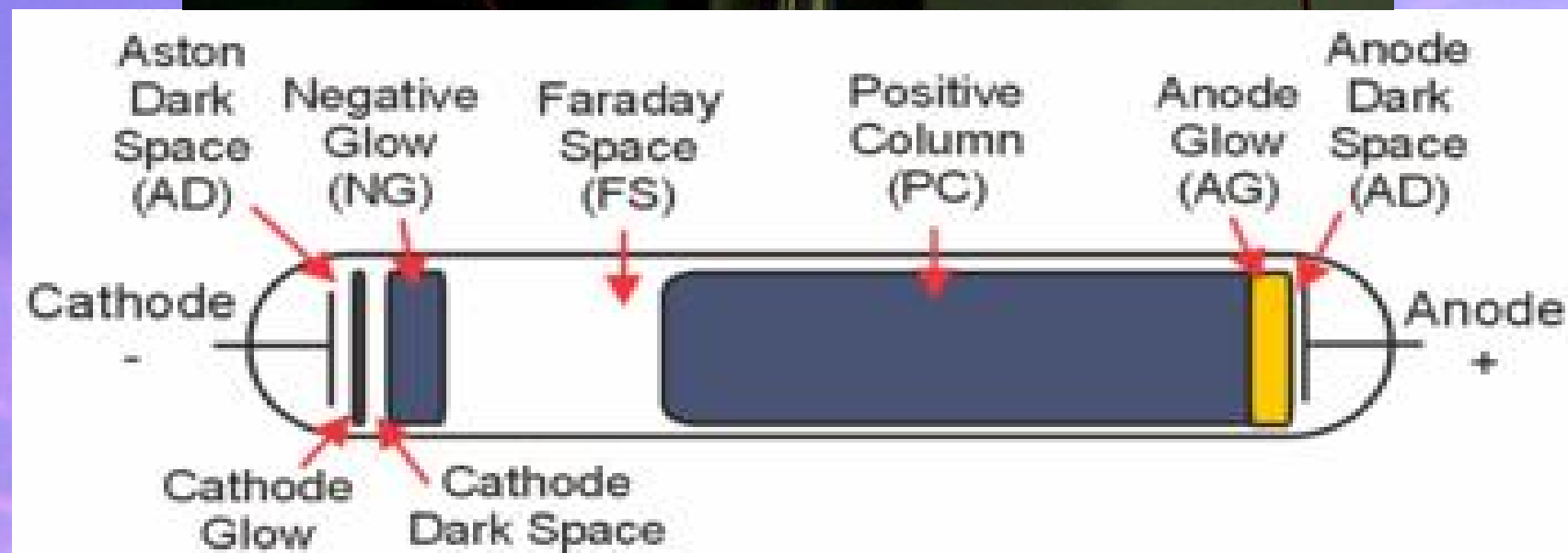
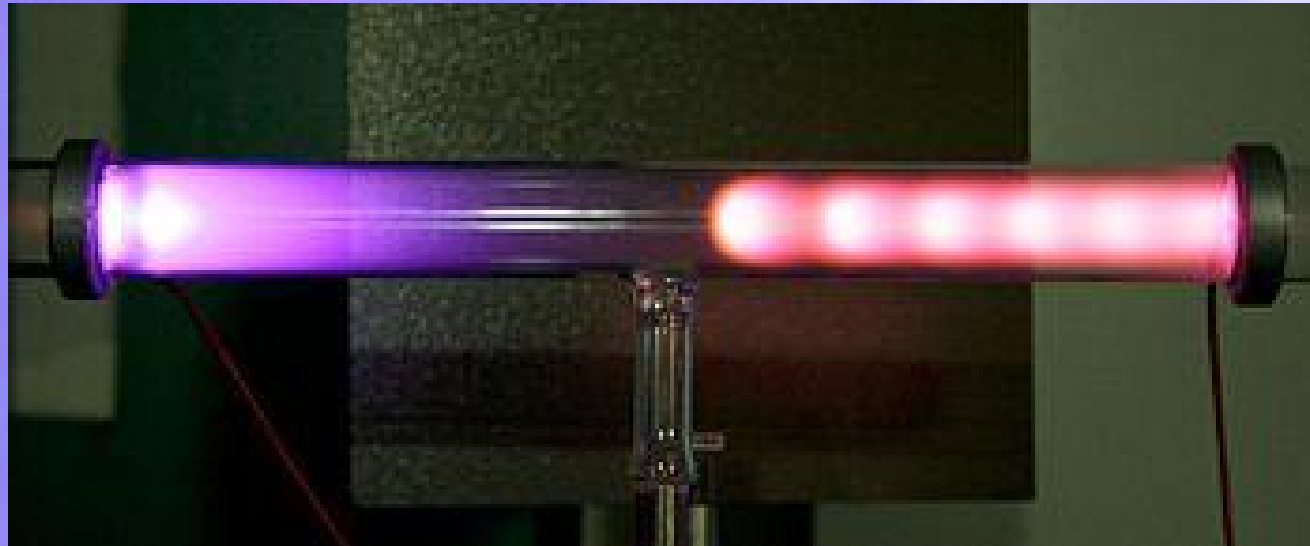


Fig. 2. Przykłady plazmy z widocznymi efektami. (a) plazma w kuli plazmowej, (b) plazma w kuli plazmowej, (c) plazma w kuli plazmowej, (d) plazma w kuli plazmowej. (a) plazma w kuli plazmowej, (b) plazma w kuli plazmowej, (c) plazma w kuli plazmowej, (d) plazma w kuli plazmowej.

Wyładowanie elektryczne



Piorun, iskra, łuk spawalniczy

https://physics.aps.org/articles/v12/29?utm_campaign=weekly&utm_medium=email&utm_source=emailalert

Physics ABOUT BROWSE PRESS COLLECTIONS Search articles

Focus: Muons Reveal Record-Breaking Thunderstorm Voltage

March 15, 2019 • Physics 12, 29

March 15, 2019 • Physics 12, 29

A thunderstorm probed with atmospheric muons had an electric potential exceeding one billion volts, much higher than values measured previously.



Measurement of the Electrical Properties of a Thundercloud Through Muon Imaging by the GRAPES-3 Experiment

B. Hariharan, A. Chandra, S. R. Dugad, S. K. Gupta, P. Jagadeesan, A. Jain, P. K. Mohanty, S. D. Morris, P. K. Nayak, P. S. Rakshe, K. Ramesh, B. S. Rao, L. V. Reddy, M. Zuberi, Y. Hayashi, S. Kawakami, S. Ahmad, H. Kojima, A. Oshima, S. Shibata, Y. Muraki, and K. Tanaka (GRAPES-3 Collaboration)

Phys. Rev. Lett. 122, 105101 (2019)

Published March 15, 2019

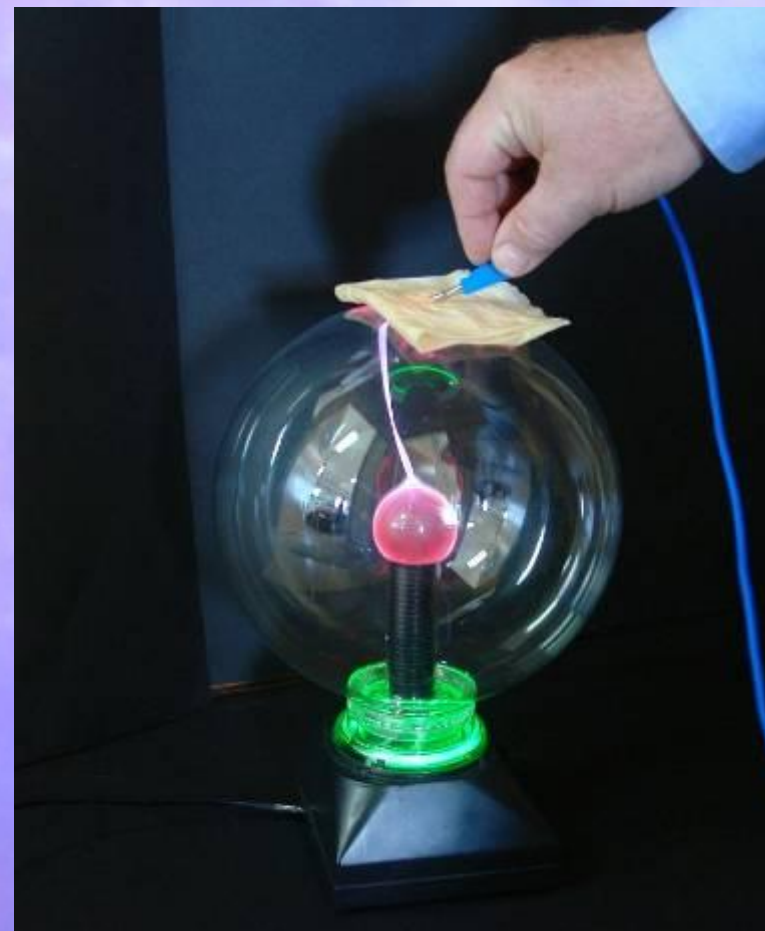
Features

How to Get Raves for Your Reviews

At a celebration for the 90th anniversary of Reviews of Modern Physics, physicists speak of the

Researchers have documented a thunderstorm producing an electric potential of about **1.3 billion volts (GV)**, 10 times greater than the largest value ever reported.

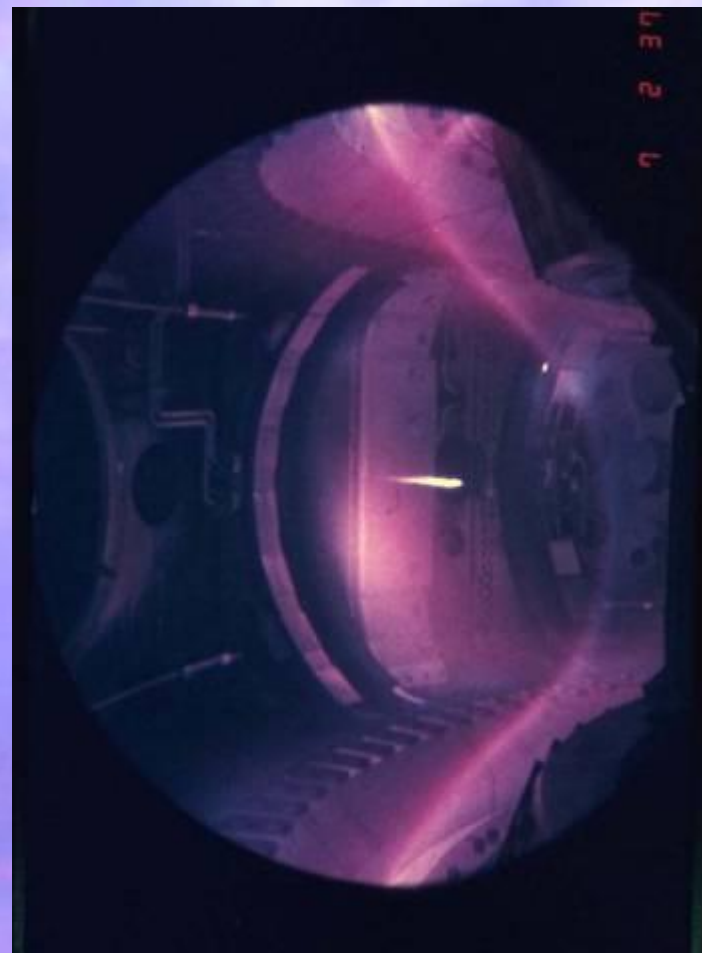
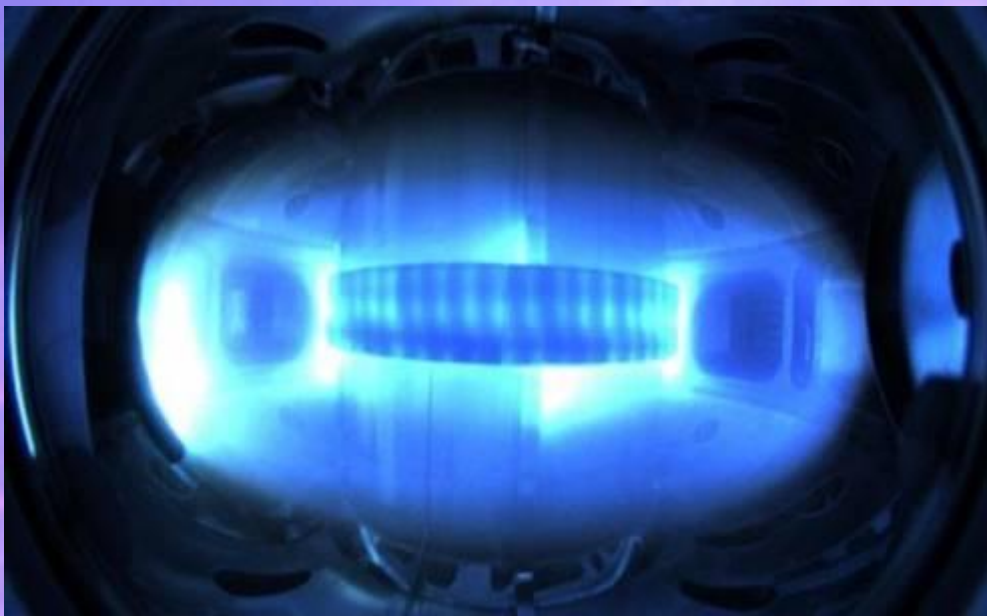
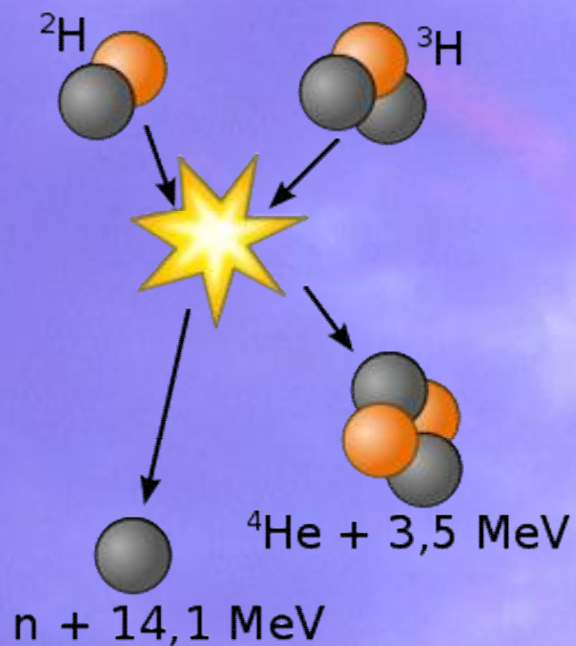
10 doświadczeń z kulą plazmową i jedno, którego absolutnie nie wolno robić



Synteza termonuklearna

1GWy: 2,7 mln t węgla
lub 250 kg $^2\text{H} + ^3\text{H}$

150 mln °C



4 i pół stanów skupienia



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) nitinol – 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.

Szkło, ciekłe kryształy, guma do żucia itd..

„Materia”

ii) 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 ciągłym 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 *próżnią*).

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 „mikroblysk” bardzo przenikliwego promieniowania elektromagnetycznego (promieniowania gamma).

Wniosek? Masa każdej cząstki elementarnej w skutek 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:

$$E = mc^2$$

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 nieznamy nam forma materii, wypełniająca Wszechświat, zwana *ciemną materią*. O tej ostatniej wiemy, że istnieje, bo tak wynika z obserwacji i obliczeń, ale dziś (w 2009 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 wszystkie przykłady materii. Woda w rzece, para wodna w saunie i lód w zamrażalniku, choć chemicznie takie same, różnią się *staniem skupienia*.

Wyróżniamy (zasadniczo) trzy stany skupienia:

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

1^o Przykładem ciał stałych jest 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. Niektóre, jak 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.

2^o 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 średowiecznym fresku na fotografii 1.7 (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 średowieczny artysta); c) manometr w cieczy – powierzchnia wody podnosi się w narozmiarach plastikowego poidła dla kanarek. 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.

Budowa atomowa materii

Objętość, jaką zajmuje ciecz zależy np. od temperatury, ale w niewielkim stopniu. Słupek 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.

3° 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”. 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 (doskonale) to zbiór 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 przyzwołości, palny gaz wodor, jest upakowany w zbiorniku jak woda w gąbce; b), c) gazy, jak np. wodor 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 małe kropelki cieczy (wody).

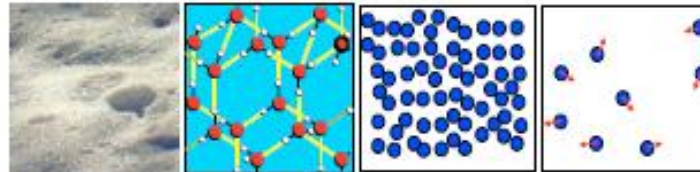
1.6. Siły między cząsteczkami i atomami w różnych stanach skupienia

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 ciepłej wody – mgła. Tak samo w chmurach, widoczna jest nie para wodna, ale kropelki wody lub kryształki lodu).

Dlaczego lód jest twardy, a woda przelewa się „na życzenie”? Otóż w lodzie cząsteczki wody H_2O 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 po-ręcznika).

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. Kropelki 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 sniegu lub lodu cząsteczki wody są ułożone w ściśle określonych położeń; c) w wodzie (i szkło) 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 zawieszina 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) najmniejsze struktury widoczne na powierzchni kryształu nowoczesnego półprzewodnika. Zauś, to skupiska kilkudziesięciu zaledwie *atomów* (złoty - P. Gethy, Centre Spatial de Liège, Belgium).

„elektron”



Fot. 1.13 a) elektrony przepływające między biegunami baterii Volty wytwarzają prąd elektryczny; 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, wchodzić 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

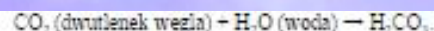
Krucha i biała sól kuchenna, NaCl, składająca się z atomów (metalu) sodu i atomów (gazu) chloru nie przewodzi prądu elektrycznego, ale woda z dodatkiem soli kuchennej prąd przewodzi. Dlaczego? Otóż w roztworze wodnym obojętne elektrycznie atomy Na i Cl wymieniają między sobą *ładunki elektryczne*. Sód 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.

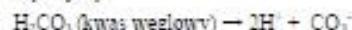
W roztworze wodnym sól kuchenna, NaCl, rozpada się na jony według reakcji jak poniżej



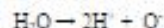
Wiele substancji rozpada się w podobny sposób w roztworach wodnych. W wodzie mineralnej rozpuszczony zostaje gaz zwany dwutlenkiem węgla, CO_2 . Gaz ten przyłącza się do cząsteczek wody, H_2O .



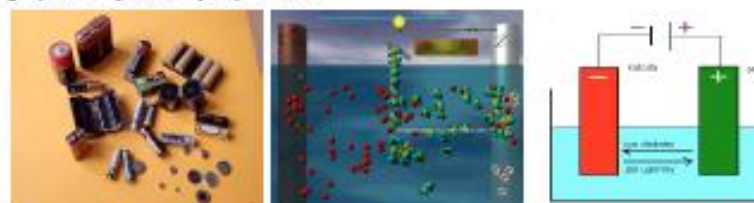
Utworzoną substancję chemicy nazywają *kwasem*. W tym przypadku jest to kwas węglowy. Cząsteczki kwasu znajdują się w środowisku wodnym i z tego powodu część z nich rozpada się na jony



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 „kwasowaty” smak. Jony H^+ są również w occie i innych substancjach zwanych *kwasami*. Wróćcie do tematyki kwasów na kursie 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) Przykłady „baterii” czyli ogniw Volta’ych; b) Działanie ogniw Volta’ych - siarcelek 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^{2-} w przeciwnych kierunkach, jon H^+ (O^{2-} 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.

Plazma

Gaz, w którym obok cząsteczek elektrycznie obojętnych występują jony nazywamy *plazmą*. Plazma świeci na przykład w tzw. lampie neonowej – białej, podłóżnij rurkę nad swoją 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.

Inne stany skupienia



Fot. 1.15 a) W kuli „plazmowej” część za atomów gazu traci ładunki elektrycznej – elektrony i jony umożliwiają przepływ prądu; b) płomień świecy to też przykład gazu *jonizowanego* czyli plazmy – maszyna elektrostatyczna rozładowuje się natychmiastowo w obecności płomienia; c) powierzchnia Słońca to też przykład plazmy, ale o wysokiej (5500°C) temperaturze; d) zosza polarna to przykład zimnej i bardzo rozrzedzonej plazmy. Przyczyną jej świecenia są zderzenia elektronów z cząsteczkami tlenu 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 baterijce, 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 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, zob. fot. 1.16a.

Inne materiały są jeszcze bardziej zadziwiające. Kolorowa „guma”, nazywana po angielsku „glutun kitem” (silly putty) raz jest plastyczna, jak gumka do żucia, ale jeśli ulepiemy 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. Wymyślił 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. foto 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. Najprostszy tego typu metal jest stop niklu i tytanu w proporcjach 50:50. Druć 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.



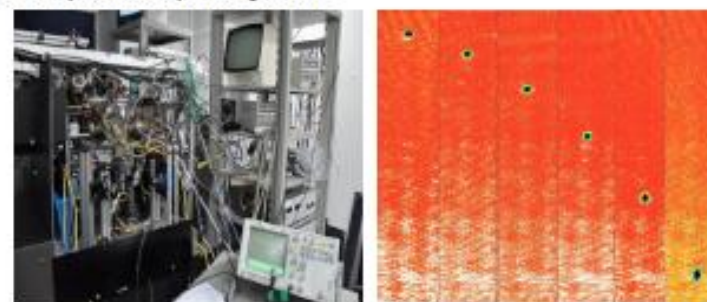
Fot. 1.16 Nietypowe stany skupienia: a) szkło nie ma struktury kryształowej, stąd jest czasem klasyfikowane jako ciecz „przechłodzona” (tu witraż średniowieczny z Hotel de Cluny); b) ciekłe kryształy, stosowane w niektórych wyświetlaczach telefonów i monitorach TV; c) „silly putty” – polimer silikonowy,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

Współczesne technologie zacierały 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 najnowszych modelach świecące elementy poliprowadnikowe (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

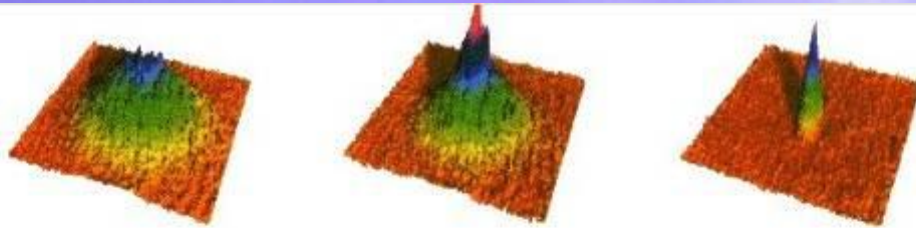
Pisaliśmy, że w gazach atomy są w ciągłym chaotycznym ruchu i pozostają w dużych odległościach od siebie. Atomy są niezmiernie małe (typowe rozmiary to 10^{-10} m) [1] ale składają się na obiekty *makroskopowe*, jak ziarenko piasku, kropla wody, czy balonik z helem. W ciele stałym atomy są uporządkowane i rozmieszczone w odległościach niewielkich.

Jest opisywany przez równania fizyki kwantowej. Już dzisiaj służy np. do pomiarów sił na bardzo małych, atomowych odległościach.

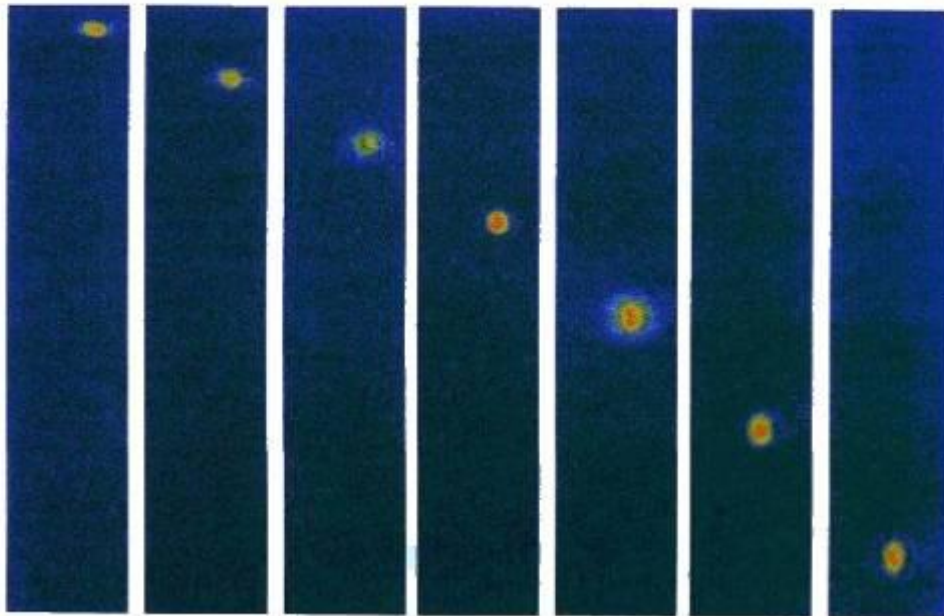


Fot.1.17 a) Aparatura służąca wytworzeniu najzimniejszego stanu skupienia – kondensatu Bosego-Einsteina (laboratorium FAMO w Toruniu); b) spадanie kondensatu podlega tym samym prawom grawitacji, co spадanie kamienia.

Kondensat Bosego-Einsteina



Jak rośnie **kondensat Bosego-Einsteina**?: rekonstrukcja trójwymiarowa absorpcji optycznej w chmurze atomowej; przejście od próbki termicznej do czystego kondensatu.



Fizyka klasyczna, Galileusz:
spadek swobodny $s = \frac{1}{2} at^2$

Fizyka kwantowa, Heisenberg:
zasada nieoznaczoności

$$\Delta p \Delta x > h/2\pi$$