

Powietrze

Nauka nie oparta na doświadczeniach jest pusta i obarczona błędami.

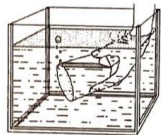
Leonardo da Vinci

TEORIE DOTYCZĄCE POWIETRZA. OBJĘTOŚĆ I MASA POWIETRZA. GĘSTOŚĆ POWIETRZA. WYSOKOŚĆ ATMOSFERY. ALCHEMIA POWIETRZA. DWUTLENK WĘGLA. WODÓR. AZOT. TLEN. INNE GAZY ATMOSFERYCZNE. CZĄSTECZKI GAZÓW. SKŁAD POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO. STRUKTURA ATMOSFERY. POCHODZENIE ATMOSFERY. KLIMATY PRZESZŁOŚCI.

TEORIE DOTYCZĄCE POWIETRZA. Co to jest powietrze? Czy jest to ostatecznie materialny? Czy zajmuje jakąś przestrzeń? Czy ma masę? Dziś odpowiedzi na te i inne pytania są nam doskonale znane. Warto jednakże pamiętać, że jeszcze 250 lat temu w kwestiach tych opierano się jedynie na spekulacjach.

Grecy pierwsi doszli do wniosku, że powietrze jest substancją. Wierzyli, że stanowi ono podstawowy składnik Wszechświata. Anaksymenes (550–475 p.n.e.) twierdził, że ochładzanie powietrza da w wyniku wodę, a sprężanie – ziemię. Sądził, że powietrze niezbędne dla życia na Ziemi, zawiera tak zwaną *pneumę*, czyli pewien rodzaj esencji podtrzymującej istnienie Wszechświata. Anaksymenes wierzył także, że im wyżej, tym powietrze jest chłodniejsze, ponieważ wraz ze wzrostem wysokości zmniejsza się natężenie promieni słonecznych odbitych od powierzchni Ziemi. W modelu stworzonym przez greckiego uczonego nie zabrakło także eteru – jako substancji odpowiedzialnej za powstawanie błyskawic i gromotów. Eter miał być substancją ognistą, która począwszy od pewnej wysokości, stanowi podstawowy składnik powietrza.

OBJĘTOŚĆ I MASA POWIETRZA. W IV wieku p.n.e. Arystoteles udowodnił, że powietrze zajmuje jednak pewną objętość (doświadczenie 2.1 jest bardzo podobne do rozumowania Arystotelesa). Ważąc pusty i napełniony pęcherz, próbował także wykazać, że powietrze ma masę, jednakże z powodu niedokładności w pomiarach nie odniósł sukcesu. Uznał więc, że powietrze nie ma masy, a jego nieważkość jest stała i niepodważalna.



2.1. Powietrze ma objętość

Materiały: akwarium lub duża miednica, szklanka, woda.

Wykonanie: Napełnij akwarium wodą do mniej więcej 3/4 objętości. Trzymając szklankę spodem do góry, zanurz ją w akwarium. Woda nie wypełni szklanki, gdyż znajduje się w niej inna substancja, czyli powietrze. Jeśli przekreślisz

szklankę i pozwolisz powietrzu ujść, zauważysz unoszące się ku powierzchni wody bąble, wskazujące na obecność powietrza.

Ludzie jeszcze przez wiele stuleci wierzyli w nieważkość powietrza. W 1638 roku Galileusz, słynny włoski filozof i matematyk, udowodnił, że powietrze ma masę. Używając pompki, sprężył powietrze w dużej szklanej kolbie zamkniętej specjalnym zaworem. Zachowując ostrożność, zważył naczynie, a następnie wypuścił nadmiar powietrza i zważył kolbę ponownie. Masy różniły się, co włoski uczoney uznał za dowód, że powietrze ma masę.

Fakt udowodniony przez Galileusza jeszcze przez wiele dziesięcioleci wydawał się większości ludzi niewiarygodny. Kiedy król Anglii Karol II wizytował Towarzystwo Królewskie w 1664 roku, został zaproszony do udziału w doświadczeniu, podczas którego zmierzono masę powietrza. Pokaz wywołał śmiech, gdyż dla dworzan i samego króla było oczywiste, że „w powietrzu nie ma nic doważenia”.



Wizyta królewska

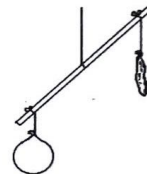
Rząd Stanów Zjednoczonych opracował specjalny dokument, zatytułowany *Atmosfera standardowa*, określający właściwości idealnej atmosfery w funkcji wysokości. Dokument ten zawiera stwierdzenie, że przy powierzchni Ziemi 1 m^3 powietrza ma masę 1,225 kg. Oznacza to, że 1 litr powietrza waży 1,225 grama.

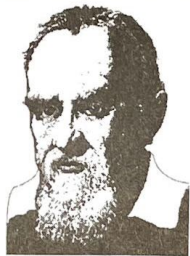
2.2. Powietrze ma masę

Materiały: dwa balony, drewniany drążek, sznurek.

Wykonanie: Nadmuchaj dwa duże balony do tych samych rozmiarów. Przymocuj je do końców drążka, po czym zawieś go na nitce tak, by pozostawał w równowadze. Upewnij się, że w pokoju nie ma przeciągów, i przebij igłą jeden z balonów. Drugi koniec listewki opadnie.

Wyjaśnienie: Drążek się przechylił, gdyż wypełniony balon zawierał sprężone powietrze. Pamiętaj, że doświadczenie jedynie pośrednio prowadzi do wniosku, iż powietrze ma masę. Bezpośrednio dowodzi, że sprężone powietrze ma większą masę niż powietrze nie sprężone o identycznej objętości.





GALILEUSZ (1564–1642)

Galileusz urodził się 15 lutego 1564 roku w Pizie, we Włoszech. Studiował, a następnie wykładał na tamtejszym uniwersytecie. Był energicznym mężczyzną niskiego wzrostu o rudawych włosach. Z powodu swoich śmiałych poglądów naukowych nie był akceptowany przez niektórych kolegów z uniwersytetu. W 1592 roku przeniósł się do Padwy, gdzie pozostał przez 18 lat. Podczas pobytu w Padwie związał się z Weneccją imieniem Maria Gamba, z którą miał dwie córki i syna. W 1610 roku przeniósł się do Florencji, gdzie otrzymał stanowisko filozofa na dworze Wielkiego Księcia

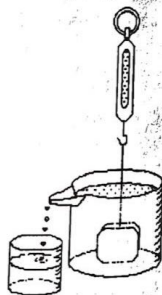
Toskanii, Ferdynanda II Medycejskiego. W 1632 roku ukazało się najważniejsze dzieło Galileusza *Dialog o dwu najważniejszych układach świata, ptolemeuszowym i kopernikowym*. Dzieło miało formę dysputy pomiędzy Sagredem i Salviatim, którzy bronili poglądów Galileusza, i Simpliciem, reprezentującym idee Arystotelesa. *Dialog* został napisany za przyzwoleniem świeżo wybranego papieża, Urbana VIII, którego Galileusz znał osobiście i który zniósł wydany w 1616 roku dekret zakazujący uczoneму pisania na temat systemu kopernikańskiego. W 1633 roku Galileusz został jednak oskarżony przez Rzymską Inkwizycję o propagowanie idei kopernikańskich. Proces spowodował dysputę naukową pomiędzy największymi autorytetami Kościoła katolickiego i najwybitniejszym uczonego ówczesnych czasów. Pod groźbą tortur Galileusz publicznie wyparł się głoszonych przez siebie poglądów jako fałszywych i sprzecznych z Pismem Świętym. Musiał ukorzyć się przed kardynałami, ale gdy tylko podniósł się z klęczek, wymamrotał podobno słynne słowa: *Eppur si muove!*, co znaczy: „a jednak się porusza”. Galileuszowi udało się uniknąć śmierci, ale resztę życia spędził w areszcie domowym. Na cztery lata przed śmiercią stracił wzrok. Zmarł we Florencji w 1642 roku. Wielki Książę Ferdynand II zamierzał wnieść dla Galileusza okazały grobowiec, przestrzeżono go jednak, aby nie robił nic, co mogłoby wzbudzić gniew Świętej Inkwizycji.

Minęło kilka stuleci, zanim Watykan uznał swoje ówczesne stanowisko za błędne. W 1757 roku *Dialog* skreślono z listy publikacji zakazanych przez Kościół. Galileusz został ostatecznie oczyszczony z zarzutów przez papieża Jana Pawła II w 1992 roku, czyli 359 lat po procesie.

GĘSTOŚĆ POWIETRZA. Stosunek masy ciała do jego objętości zwany jest gęstością. Pojęcie to jest dość stare. Wprowadził je w 1025 roku arabski uczone Al-Biruni, który mieszkał w Persji. Przeprowadzone przez niego doświadczenia umożliwiały wyznaczenie ciężaru właściwego, który jest stosunkiem ciężaru ciała i wody o równej mu objętości. Ciężar właściwy ma tę własność, że pozostaje stały dla danej substancji, niezależnie od tego, jakie jednostki miar użyte zostały do jego pomiaru. Stosunek

$$s = \frac{\text{masa wody równa objętości ciała}}{\text{masa ciała}}$$

określa, ile razy gęstość danego ciała jest większa od gęstości wody.



Przepelniająca się puszka

Ciepło wpływa na gęstość powietrza. Ogrzewanie powietrza powoduje zmniejszanie się jego gęstości. Fakt ten może mieć w pewnych warunkach duże znaczenie dla lotnictwa. Przy wyższej temperaturze powietrze jest rzadsze, co wydłuża długość drogi startowej. Jeśli pasy startowe są zbyt krótkie, duże samoloty mogą mieć trudności ze startem. Taka sytuacja miała miejsce pewnego gożącego lata w Phoenix w Arizonie. Na lotnisku Sky Harbour temperatura osiągnęła 45°C i większość samolotów ze względu na zbyt krótkie pasy startowe nie mogła odlecieć.

Metoda arabskiego uczonego Al-Biruniego nie może być, niestety, zastosowana do pomiaru gęstości powietrza, gdyż jest ono lżejsze od wody. Wypelniona samym powietrzem butelka nie zanurzy się – będzie unosić się na powierzchni. A zatem: jak zmierzyć gęstość powietrza?

Odpowiedzi na to pytanie udzielił Otto von Guericke (1602–1686), niemiecki uczone, którego zainspirowały prace Galileusza. W 1654 roku za pomocą skonstruowanej według własnego pomysłu pompy usunął powietrze z dużego, szklanego naczynia. Zważył naczynie, wpuścił powietrze z powrotem i stwierdził, że naczynie stało się cięższe. Następnie porównał otrzymane wyniki z ciężarem naczynia napełnionego wodą. Mając te wszystkie dane, wyznaczył ciężar właściwy powietrza, uzyskując wynik $s=1/947$. Wynika stąd, że powietrze jest 947 razy lżejsze od wody. Pamiętając, że gęstość wody wynosi 1000 kg/m³, można wyliczyć, iż gęstość powietrza jest równa 1,05 kg/m³. Współcześnie przyjmuje się, że w standardowych warunkach (to znaczy na poziomie morza w temperaturze topnienia lodu) gęstość powietrza wynosi 1,29 kg/m³.

OTTO VON GUERICKE (1602–1686)

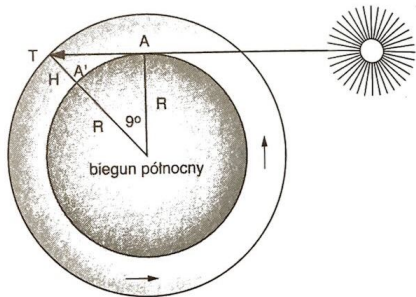
Otto von Guericke urodził się 12 listopada 1602 roku w Niemczech. Uczęszczał na wykłady na Uniwersytecie w Lipsku (1617–1620) i w Helmstedt (1620). W Jenie (1621–1622) studiował prawo, a w Lejdzie – prawo, matematykę i inżynierię. W 1626 roku został rają w Magdeburgu. W latach 1618–1648 Niemcy przeżywały krwawy i dramatyczny okres swojej historii, zwany wojną trzydziestoletnią. Bezpośrednią przyczyną tej wojny pomiędzy protestantami a katolikami był spór o to, kto ma zostać królem Czech – książę katolicki czy protestancki. Jakkolwiek do konfliktu włączyły się Szwecja, Dania, Hiszpania i Francja, działania wojenne toczyły się głównie na ziemiach niemieckich. W 1631 roku von Guericke, popierający protestantów, został głównym kwatermistrzem króla szwedzkiego Gustawa Adolfa I. W 1635 roku objął podobne stanowisko na dworze elektora Saksonii. W 1646 roku został burmistrzem Magdeburga.





Doświadczenie von Guerickego

WYSOKOŚĆ ATMOSFERY. Wysokość atmosfery została obliczona w 1025 roku przez arabskiego uczonego Alhazena (965–1036). Obserwując zachody Słońca, doszedł on do wniosku, że zmierzch jest efektem rozpraszania promieni słonecznych w atmosferze.



Obliczenia Alhazena

Wykonał więc szereg pomiarów czasu trwania zmierni i uzyskał średnią długość około 36 minut (czyli 0,6 godziny). Następnie obliczył, że w tym czasie Ziemia wykonała obrót o 9° : $(0,6 \text{ godz.} / 24 \text{ godz.}) \times 360^\circ = 9^\circ$.

Spójrzmy na rysunek powyżej: stosunek $R/(R+H) = \cos 9^\circ$, gdzie R jest promieniem Ziemi, wynoszącym (według Eratostenesa; wtedy nie znano innych pomiarów) 6115 km, a H to domniemana wysokość atmosfery. Używając kalkulatora obliczamy, że $\cos 9^\circ = 0,988$, a zatem

$$H = \frac{R(1 - \cos 9^\circ)}{\cos 9^\circ} = 6115 \frac{1 - 0,988}{0,988} \text{ km} = 74,3 \text{ km.}$$

Obecnie uznajemy, że nie ma określonej granicy atmosfery. Ponieważ gęstość powietrza spada wraz z wysokością, można założyć, że wyimaginowana granica

znajduje się na takim poziomie, na którym gęstość atmosfery jest bardzo mała, na przykład 10 000 (wielkość zupełnie dowolna) razy mniejsza od gęstości przy powierzchni Ziemi. Ten poziom znajduje się na wysokości około 70 kilometrów, co wskazuje, że oszacowanie arabskiego uczonego miało sens.

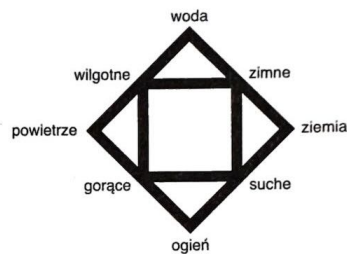
ALCHEMIA POWIETRZA. Nauka zajmująca się naturą i składnikami substancji nosi nazwę *chemii*. Pierwotną jej formą była *alchemia*. Słowo „alchemia” pochodzi od arabskiego *alkima*. *Al* oznacza podstawową cząstkę, słowo *kima* zaś ma dwa prawdopodobne źródła: może pochodzić od greckiego *chyma* oznaczającego „odlewanie żelaza” lub od egipskiego słowa *chem*, będącego starożytną nazwą Egiptu, a oznaczającego „ciemny ład”. Alchemia narodziła się zapewne w hellenistycznym Egipcie. Jednakże niektóre z pierwiastków były znane jeszcze wcześniej, na przykład miedź Egipcjanie wykorzystywali już w 3000 roku p.n.e.; brąz (stop miedzi i cyny) wytapiany był przez mieszkańców starożytnej Mezopotamii i Egiptu; żelazo zaś znali już w 2000 roku p.n.e. Hetyci.

Arystoteles wierzył, że cały ziemski obszar składa się z 4 podstawowych żywiołów: *ziemi, wody, powietrza i ognia*, ułożonych w następujących po sobie powłokach. Wszystkie ziemskie byty były według niego utworzone z tych składników. Ogień i woda były dla siebie przeciwieństwami, a woda i powietrze łączyły się ze sobą. Arystoteles zdefiniował także piąty element, *quinta essentia* (co oznacza właśnie „piąty element”), rezerwując go dla sfer niebieskich.

Cztery podstawowe żywioły stworzone były z czterema podstawowymi cechami: *gorącem, zimnem, wilgocią i suchością*. Żywioły mogły się przemieniać jeden w drugi, a każdy potencjalnie skrywał się w pozostałych. Czynnikiem transformującym było Słońce. Mogło ono wydobyć wilgotną i zimną substancję z wody oraz gorącą i suchą z ziemi. Tak wyjaśniano powstawanie wiatru. Zimne i mokre substancje formowały powietrze, to zaś mogło być przetransformowane na chmury, deszcz, śnieg, mróz lub rosę.

Inny grecki uczony, Anaksagoras (ok. 500–428 p.n.e.), nie wierzył, że struktura materii opiera się na czterech żywiołach. Według niego materia pozostawała sobą niezależnie od swoich rozmiarów. Na przykład rozbity w proch kawałek skały w dalszym ciągu był skałą. Podobnie Leukippos z Miletu (ok. 440 p.n.e.) i jego uczeń Demokryt (460–370 p.n.e.) sądzili, że materia jest zbudowana z małych, niepodzielnych cząstek, zwanych *atomami* (greckie słowo *atoma* znaczy niepodzielny). Demokryt utrzymywał, że atomy pozostają w ciągłym ruchu, lecz różnią się od siebie kształtem i rozmieszczeniem.

Po podboju Egiptu, dokonanym w 640 roku n.e. przez muzułmanów, greckie traktaty alchemiczne zostały przetłumaczone na arabski. Do Europy Zachodniej dotarły w XII i XIII wieku dzięki tłumaczeniom na język łaciński wykonanym w Hiszpanii.



Cztery żywioły Arystotelesa

Idea transformacji jednej postaci materii w drugą była bardzo silnie zakorzeniona w Europie, gdzie alchemicy starali się otrzymać „metal idealny” (złoto) z mniej wartościowych składników. Poszukiwali też *panaceum* – uniwersalnego leku znaczących odkryć. Na przykład Niemiec Johann Friedrich Böttger, który w 1709 roku na polecenie księcia Saksonii rozpoczął poszukiwania metody produkcji złota, opracował sposób wytwarzania białej porcelany, surowca w tamtych czasach znacznie cenniejszego niż złoto.

Żyjący w XVI wieku angielski filozof Francis Bacon napisał: „Alchemia może być porównana do człowieka, który powiedział swoim synom, że gdzieś w winniskarbu oczywiście nie znaleźli. Ale dzięki poruszeniu gleby wokół korzeni winorośli przyczynili się do powstania wspaniałego wina”.



Alchemik przy pracy

Jeszcze dziewiętnaście stuleci po Arystotelesie alchemia nadal była terenem badań i poszukiwań. René Descartes (1596–1650) w swoim dziele *Rozprawa o metodzie* wyraził pogląd, że powietrze (a także wszystkie ziemskie substancje) składa się z jednego, podstawowego materiału. Jego cząsteczki mają różny kształt i są różnie ułożone. Na przykład ciecz stanowi śliszkie i luźno rozmieszczone cząstki; w ciele stałym elementy te są połączone ze sobą. Idee Kartezjusza wzbudziły tak duże zainteresowanie w Europie, że wielu alchemików przystąpiło do poszukiwania owych cząstek.

Niemiecki profesor nauk medycznych i chemii z Halle, Georg Ernst Stahl (1660–1734), wysunął hipotezę, że każdy materiał ulegający spaleniowi musi zawierać substancję, zwaną *flogistonem* (od greckiego słowa *flogistikos*, oznaczającego „coś, co się pali”). Miała to być substancja powodująca gaśnięcie płomienia po

RENÉ DESCARTES (1596–1650)

René Descartes (Kartezjusz; w zlatynizowanej postaci jego nazwisko brzmi Renatus Cartesius) urodził się w La Haye, we Francji, 31 marca 1596 roku. Po ukończeniu studiów prawniczych na uniwersytecie w Poitiers w 1618 roku (na początku wojny trzydziestoletniej) wstąpił jako ochotnik w szeregach armii księcia Maurycego z Nassau. Pod koniec tego samego roku został przydzielony do armii księcia Bawarii nad Dunajem. Nie brał udziału we właściwych działaniach wojennych, lecz pracował nad zagadnieniami (kartezjańskiej) filozofii i geometrii. 10 listopada 1619 roku, podobno w wyniku mistycznego objawienia, Kartezjusz doszedł do zasadniczych wniosków. Zrozumiał, że aby zdobyć prawdziwą wiedzę, musi pracować samodzielnie i metodycznie, zaczynając niejako od podstaw, podając w wątpliwość wszystko z wyjątkiem swego istnienia (słynne *Cogito ergo sum* – „Myślę, więc jestem”). W 1649 roku Kartezjusz udał się do Szwecji, gdzie zaproponowano mu stanowisko nadwornego filozofa królowej Krystyny. Umarł na zapalenie płuc pierwszej zimy spędzonej w Sztokholmie, 11 lutego 1650 roku. Jego ciało (z wyjątkiem głowy) wróciło do Francji. Czeszka pozostała w Szwecji do 1809 roku.



uwalnianiu do powietrza podczas spalania bądź utleniania materii. Według teorii Stahla flogiston może być na przykład przekazywany z obfitującego weń węgla drzewnego rudzie metalu (ubogiej we flogiston) w procesie spalania węgla i wytopiania metalu z rudy. W produktach spalania nie występuje flogiston, są one zatem niepalne. Ponieważ podczas utleniania przedmioty zyskują na wadze, a podczas spalania – tracą, waga flogistonu była uważana jednocześnie za dodatnią i ujemną.

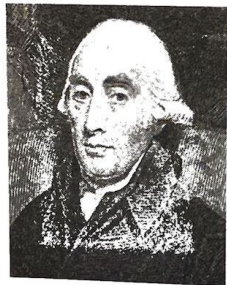
Rycerskość filozofa. Kartezjusz był Cyranem de Bergerac swej epoki. Mieszkał w Paryżu w czasach kardynała Richelieu, tak barwnie opisanych przez Aleksandra Dumas (1824–1895) w *Trzech muszkietierach*. Pewnego razu jakiś nietrzeźwy młodzieniec obraził jego przyjaciółkę. Descartes wytrącił mu miecz z ręki, po czym wielkodusznie darował życie, gdyż w jego odczuciu grubiaństwem byłoby zgładzić lajdaka na oczach damy.

W początkach XVIII wieku niektórzy uczeni zaczęli kwestionować słuszność doktryny czterech elementów i udowodniła, że zasadniczą rolę odgrywają tylko dwa z nich: woda i ogień. Wierzone, że woda może ulegać przemianom w ziemię (bo po jej odparowaniu pozostaje stały osad), że powietrze stanowi połączenie wody i ognia (ponieważ woda na skutek ogrzewania przechodzi w stan gazowy) oraz że powietrze jest „wbudowane” w strukturę różnorodnych form zwierzęcych i roślinnych.

Gaz. Terminu *gaz* po raz pierwszy użył w 1632 roku chemik flamandzki, Johann Baptist van Helmont (1580–1644), w książce *Ortus medicinae* (w jego czasach gazy mówiono „powietrza”). W trakcie przeprowadzania jednego z doświadczeń zauważył, że spalając w szczelnie zamkniętym naczyniu 62 funty węgla drzewnego, uzyskuje się 1 funt popiołu, ale waga naczynia wraz z zawartością się nie zmienia. Wymniósował więc, że pozostałe 61 funtów przeistacza się w „nieokreślonego ducha”, któremu nadał nazwę *gaz*, od greckiego słowa *chaos* (w języku flamandzkim „ch” czyta się jak „g”). Z powodu tego odkrycia *chaos* (w języku łacińskim) przez 13 lat był prześladowany przez Inkwizycję (przebywał w więzieniu i w areszcie domowym). Zmarł w 1644 roku.

Naturę powietrza atmosferycznego poznano dopiero pod koniec XVIII wieku. Antoine Lavoisier (1743–1794), czołowy chemik tamtej epoki, napisał: „Czy istnieją różne odmiany powietrza? Czy te różne powietrza, których dostarcza nam natura lub które udaje nam się otrzymać, są odrębnymi substancjami czy tylko zmodyfikowaną postacią powietrza atmosferycznego?”.

DWUTLENEK WĘGLA. W 1753 roku Joseph Black badał właściwości wapienia (kredy lub węglanu wapnia CaCO_3) oraz węglanu magnezu MgCO_3 . Odkrył, że gdy badane substancje poddać działaniu kwasu, powstaje dziwny rodzaj „powietrza”. Gasi ono płonący papier i może doprowadzić do uduszenia się małych zwierząt. Black odkrył ponadto, że takie samo „powietrze” jest obecne w ludzkim oddechu oraz w fermentującym piwie, a zatem musi być składnikiem atmosfery. Ponieważ ten tajemniczy gaz mógł być absorbowany przez magnez, różne zwierzęta, rośliny i substancje mineralne, otrzymał nazwę powietrza stałego. Dziś nazywamy go dwutlenkiem węgla.



JOSEPH BLACK (1728–1799)

Joseph Black urodził się 16 kwietnia 1728 roku w Bordeaux, we Francji, w szkockiej rodzinie katolickiej. Miał jedenaścioro rodzeństwa. Studiował medycynę na uniwersytecie w Glasgow, gdzie uczęszczał na wykłady Williama Cullena. Później został jego asystentem i wykładał chemię. Prowadzone przez niego zajęcia cieszyły się ogromnym powodzeniem, nawet wśród studentów nie zainteresowanych szczególnie tym przedmiotem. Był wysoki, szczupły i elegancki. Miał jasną cerę i ciemne oczy. Nosił czarne ubrania, jedwabne pończochy, srebrne sprzączki. Chodząc, podpie-

rał się wytorną brązową laską lub zielonym parasolem. Cierpiał na przewlekłą niewydolność serca. Black nigdy się nie ożenił. W 1766 roku przeniósł się do Edynburga i został profesorem na tamtejszym uniwersytecie. Jego główne osiągnięcia związane są z chemią ilościową oraz z odkryciem ciepła utajonego przemian fazowych i ciepła właściwego. Umarł w Edynburgu 6 grudnia 1799 roku.

Dwutlenek węgla jest bezbarwnym i bezwonym gazem. Rozpuszczony w wodzie daje kwas węglowy (H_2CO_3), obecny w piwie lub wodzie sodowej. Stanowi ognio w globalnym cyklu obiegu węgla pomiędzy jego trzema aktywnymi zbiornikami: atmosferą, ziemią i oceanami. Dostaje się do atmosfery głównie w procesie rozpadu substancji organicznej, a także na skutek wybuchów wulkanów, spalania paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny, oraz jako produkt oddychania zwierząt.

Doświadczenia chemiczne. Przeprowadzanie prostych doświadczeń chemicznych może przynieść nieprzewidziane korzyści. W 1856 roku osiemnastoletni uczeń, William Henry Perkin (1838–1907), usłyszawszy w szkole, że bardzo ważne byłoby otrzymanie syntetycznej chininy, postanowił przeprowadzić w domu samodzielne próby. Co prawda nie udało mu się zsyntetyzować chininy, lecz przez przypadek otrzymał fioletowy barwnik, anilinę. Perkin otworzył fabrykę i stał się milionerem.

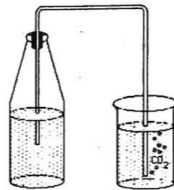
Zawsze należy jednak pamiętać, że przy przeprowadzaniu doświadczeń chemicznych konieczne jest zachowanie ostrożności. Wielu naukowców przekonało się o tym na własnej skórze. Oto, co zdarzyło się chemikowi osiemnastoletniemu Christianowi Friedrichowi Schönbeinowi (1799–1868), odkrywcy ozonu. Pewnego dnia Schönbein, korzystając z nieobecności żony, postanowił przeciwnej tego typu eksperymentom, przeprowadzić w kuchni doświadczenia z mieszaniną kwasu azotowego i siarkowego. Już miał kończyć, gdy usłyszał kroki powracającej żony. W poplochu wyłał na stół kilka kropli otrzymanej przez siebie mikstury. Chcąc szybko posprzątać po sobie, wytarł plamę bawełnianym fartuchem żony. Następnie powiesił fartuch przy ogniu, aby wyschł. Pani Schönbein nie musiała nawet otwierać drzwi do kuchni, aby przekonać się, że mąż złamał wydany przez nią zakaz. Po kilku sekundach domem wstrząsnęła potężna eksplozja, wywołana reakcją mikstury z bawełną. Ciepło płomienia odegrało w tym procesie rolę zapalnika. I tak to właśnie Schönbein wynalazł proch bezdymny!

2.3. Otrzymywanie dwutlenku węgla (1)

Materiały: soda spożywcza, pół szklanki octu, litrowa butelka, zatyczka.

Wykonanie: Wsyp do butelki 1/4 łyżeczki sody. Powoli wlej ocet. Zamknij butelkę i wstrząśnij. Jeżeli umieścisz plastikową rurkę tak, aby jej jeden koniec był zanurzony w cieczy w butelce, a drugi w szklance z wodą, będziesz mógł zaobserwować przedostające się do szklanki bąbelki CO_2 .

Wyjaśnienie: Soda spożywcza (NaHCO_3) jest związkiem składającym się z sodu (Na), węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O). Ocet to słaby kwas (CH_3COOH). Po dodaniu octu do sody następuje reakcja chemiczna, w której uwalniany jest dwutlenek węgla: $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$.



2.4. Otrzymywanie dwutlenku węgla (2)

Materiały: kreda, pół szklanki octu, litrowa butelka, świeczka, małe szklane naczynie na świeczkę.

Wykonanie: Rozkruszoną kredę wsyp do butelki. Powoli wlej ocet i zamknij butelkę. Zapal świeczkę i umieść ją w małym szklanym naczynku. Otwórz butelkę, w której produkujesz dwutlenek węgla, i pozwól mu wydostać się do naczynia ze świeczką. Spowoduje to zgaśnięcie płomienia.

Wyjaśnienie: Kreda (CaCO_3) reaguje z octem (CH_3COOH), w wyniku czego powstaje dwutlenek węgla: $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Dwutlenek węgla jest cięższy niż powietrze. Można go zatem „przelać” do naczynia, z którego wypiera tlen, powodując zgaśnięcie płomienia (który nie może utrzymać się bez tlenu).



Człowiek wydycha przeciętnie około 0,9 kg CO_2 dziennie. Ponieważ jest nas blisko 6 miliardów, wszyscy razem wydechamy jakieś 4 500 000 000 kg dwutlenku węgla dziennie. Usuwaniem go zajmują się rośliny w procesie fotosyntezy. Rośliny używają CO_2 do produkcji substancji organicznej i tlenu. Duża część dwutlenku węgla pozostaje w oceanach. Ilość ta podlega okresowym wahaniom ze względu na odwrotnie proporcjonalną zależność rozpuszczalności gazu w wodzie od temperatury.

Jeszcze przed dwustu laty średnie roczne stężenie CO_2 w jednostce objętości atmosfery wynosiło około 280 ppm (części na milion, 1 ppm = 0,0001%) w objętości powietrza. Od tamtych czasów, na skutek spalania węgla i ropy naftowej ilość dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery gwałtownie wzrosła. W 1994 roku średnie roczne stężenie CO_2 w atmosferze szacowano na 335 ppm. Naukowcy przywiązują dużą wagę do tej tendencji, gdyż dwutlenek węgla (podobnie jak para wodna, metan, ozon i tlenek azotu) pochłania promieniowanie emitowane przez powierzchnię Ziemi i ogranicza jej emisję promieniowania cieplnego w przestrzeni kosmicznej, przyczyniając się tym samym do ogrzania atmosfery. Zjawisko to zwane jest efektem cieplarnianym lub szklarniowym (patrz s. 72).

Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, związany z produkcją przemysłową i wypalaniem lasów, może przyczynić się do globalnego ocieplenia, które z kolei pociągnęłoby za sobą dalszy wzrost ilości CO_2 w atmosferze, gdyż zmniejszałaby się rozpuszczalność dwutlenku węgla w oceanach. Jest jednak nadzieja, że ocieplenie wywołane efektem cieplarnianym zostanie zniwelowane w procesie radiacyjnego wychładzania górnych warstw atmosfery w wyniku rozpraszania energii słonecznej przez aerozole pochodzenia antropogenicznego (ciekłe i stałe drobinny zawieszony w powietrzu, emitowane podczas produkcji przemysłowej).

Rośliny, mając do dyspozycji zwiększone ilości dwutlenku węgla, który mogą wykorzystać do fotosyntezy, otrzymują bodziec do wzmoczonego wzrostu. Ekspansja roślin przyczynia się do skuteczniejszego usuwania CO_2 z atmosfery, a nawet może powstrzymać dalszy wzrost jego stężenia.

WODÓR. Wodór został odkryty w 1766 roku przez angielskiego uczonego Henry'ego Cavendisha (1731–1810), który poddawał metal działaniu kwasu siarkowego lub solnego. Cavendish, sądząc, że otrzymał z metalu czystą postać flogistonu, nazwał nowy gaz niepalnym powietrzem.

Antoine Lavoisier (1743–1794) wykazał, że niepalne powietrze można uzyskać, przepuszczając wodę przez rozgrzaną do czerwoności łufę armaty ($3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$). Lavoisier w doświadczeniu, które przeprowadził w swoim laboratorium w marcu 1784 roku, wyprodukował 82 miary po pół kwarty niepalnego powietrza. To on zdecydował się zmienić nazwę tego gazu na wodór, co oznacza „pochodzący od wody”.

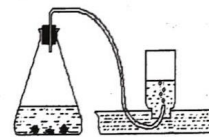
Wschodził mniej więcej w 90% zbudowany jest z atomów wodoru. Jednakże w atmosferze ziemskiej wodór nie występuje w dużej obfitości. Przyczyna leży w tym, że jest on około 11 razy lżejszy od powietrza i łatwo ucieka w przestrzeń pozaziemską. W atmosferze wodór obecny jest głównie w postaci wody.

2.5. Otrzymywanie wodoru (1)

Materiały: ocet, drut żelazny, kolba ze szkła żaroodpornego, zatyczka, rurka plastikowa, słoik, lejek, drewniana drzazga, płyta do podgrzewania.

Wykonanie: Przez lejek nalej do kolby trochę octu. Potnij drut na małe kawałki i umieść je w kolbie. Zatkaj kolbę i przy użyciu plastikowej rurki połącz ją ze słoikiem odwróconym do góry dnem. Ostrożnie podgrzewaj kolbę, aż ciecz zacznie wrzeć. Zobaczysz bąbelki H_2 gromadzące się w słoiku. Podpal drzazgę i umieść ją w słoiku. Gaz w słoiku zacznie „strzelać”. Nie zbliżaj się zano do słoika – połączenie wodoru i tlenu stanowi mieszanekę wybuchową. Ponieważ jednak ilość używanego wodoru jest niewielka, doświadczenie jest w pełni bezpieczne.

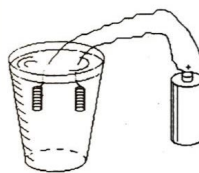
Wyjaśnienie: Żelazo jest potrzebne do przeprowadzenia reakcji z octem, w wyniku której zostaje uwolniony wodór: $\text{Fe} + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 + \text{H}_2$. Właściwość wodoru polegająca na eksplozowaniu z trzaskiem (gdy zbliżymy do niego zapaloną drzazgę czy zapalną) jest wykorzystywana do jego wykrywania.



2.6. Otrzymywanie wodoru (2)

Materiały: szklanka wody, dwa kawałki drutu miedzianego, baterijka 6 V od latarki, dwie łyżeczki soli.

Wykonanie: Rozpuść dwie łyżeczki soli w szklance z wodą. Uformuj krótkie spirale na końcu obu kawałków drutu miedzianego, okręcając go kilkakrotnie wokół ołowka. Proste końce przytwierdź do biegunów baterii. Umieść w szklance spiralne końce drucików.



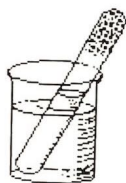
Mozesz zaobserwować pęcherzyki wodoru, pojawiające się przy ujemnej elektrodzie. Gdybyśmy chcieli je zebrać, musielibyśmy umieścić nad elektrodą odwróconą do góry dnem probówkę.

Wyjaśnienie: Doświadczenie nosi nazwę *elektrolizy*. Po raz pierwszy przeprowadził je Michael Faraday (1791–1867). Elektroliza jest to metoda rozkładu (analizy) związku chemicznego przez przepuszczanie prądu elektrycznego. Sól (NaCl), rozpuszczając się w wodzie, rozkłada się na dodatnio naładowane cząsteczki sodu (Na^+) i ujemnie naładowane cząsteczki chloru (Cl^-) – jony dodatnie i ujemne. Elektroda ujemna przyciąga dodatnie jony sodu. Jony sodu, docierając

do elektrody, oddają swój ładunek i natychmiast reagują z wodą: $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$. W ten sposób na elektrodzie ujemnej wydziela się wodór. Dodatnio naładowana elektroda przyciąga ujemne jony chloru, które tracą ładunek i stają się obojętnymi cząsteczkami chloru gazowego. Chlor reaguje z wodą w wyniku czego powstają chlorowodor i tlen: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCl} + \text{O}$. Na elektrodzie dodatniej wydziela się zatem zarówno chlor, jak i tlen.

Co nieco o atmosferze. Atmosfera obraca się wraz z Ziemią z prędkością około 1667,6 km/h (na równiku). Grubość warstwy atmosfery w porównaniu z promieniem Ziemi jest znikoma (około 1%). Mniej więcej 50% masy atmosfery skupia się w jej pierwszych 6 km przy powierzchni Ziemi.

AZOT. Szkocki botanik, Daniel Rutherford (1749–1819) (student Josepha Blacka na uniwersytecie w Edynburgu), w 1700 roku przeprowadził następujące doświadczenie: w naczyniu z wodą umieścił odwrócony słoik z niewielką ilością powietrza. W słoiku spalił kawałek fosforu. Fosfor, całkowicie pochłonawszy tlen, wydzielał opary, które rozpuszczały się w wodzie. W wyniku tego poziom wody w słoiku wzrósł. Ponadto Rutherford użył potażu kaustycznego (wodorotlenku potasu, KOH) do absorpcji „powietrza stałego” (dwutlenku węgla) w słoiku. Pozostały gaz, zajmujący około 3/4 objętości wyjściowej próbki, błyskawicznie gasił płomień. Rutherford nazwał go „szkodliwym gazem”. Obecnie gaz ten nosi nazwę **azotu**.



2.7. Otrzymywanie azotu

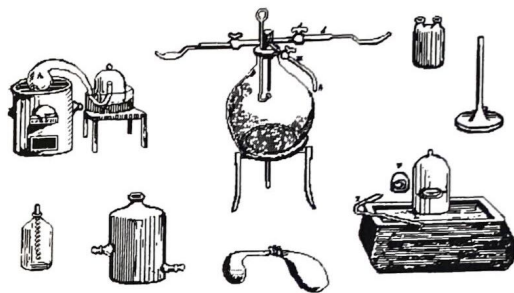
Materiały: próbówka (lub butelka), wata stalowa (lub wiórki), słoik.

Wykonanie: Umieść w próbówce kłębek waty stalowej. Odwróć próbówkę i zanurz ją w słoiku z wodą. Tlen wchodzący w skład powietrza w próbówce będzie zużywany do utleniania stali. Poziom wody podniesie się po upływie dnia lub dwu do około 1/5 wysokości próbówki. Aby usunąć z próbówki również parę

wodną, możesz ją skropić, wrzucając do słoika kostki lodu. Gaz, który pozostał w próbówce, to w 99% czysty azot.

Azot jest bezbarwnym, bezwonym, pozbawionym smaku, nietoksycznym gazem, niezbyt czynnym chemicznie. Bierze udział w obiegu globalnym, podlegającym wymianie pomiędzy atmosferą i ziemią. Na skutek podgrzewania (pod działaniem promieni słonecznych lub wyładowań atmosferycznych) cząsteczki azotu łączą się z tlenem i w postaci azotków dostają się do gleby podczas opadów. Jako składnik gleby, azotki są przyswajane przez żywe organizmy. Z kolei związki azotu pochodzące z obumarłych roślin i zwierząt są rozkładane do amoniaku. Mikroorganizmy przekształcają amoniak w azotany (sole lub estry kwasu azotowego), azotki (tlenki azotu) oraz czysty azot, powracający do atmosfery.

TLEN. Tlen odkryli – niezależnie od siebie – szwedzki aptekarz, Karl Wilhelm Scheele (1742–1786), i brytyjski uczony, Joseph Priestley (1733–1804).



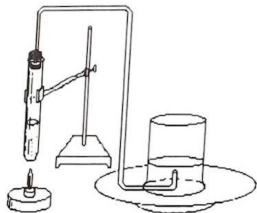
Wczesne instrumenty chemiczne

JOSEPH PRIESTLEY (1733–1804)

Priestley urodził się 13 marca 1733 roku w Birsal Fieldhead, w Anglii. Po śmierci matki do 19 roku życia mieszkał z ciotką, bezdzietną wdową. Uczęszczał do miejscowej szkoły parafialnej. Miał też prywatnych nauczycieli. Uczył się łaciny, greki, hebrajskiego, arabskiego, francuskiego, włoskiego i niemieckiego. W latach siedemdziesiątych XVIII wieku mieszkał w pobliżu browarów w Leeds, które zaopatrywały go w ogromne ilości dwutlenku węgla, potrzebne do eksperymentów. W 1772 roku opublikował formułę „nasykania wody stałym powietrzem”. Miał nadzieję, że metoda ta okaże się przydatna w leczeniu szkorbutu. Opracowana przez Priestleya receptura nie znalazła zastosowania w medycynie, ale napoje gazowane zyskały wkrótce ogromną popularność. Priestley cenił to odkrycie wyżej niż odkrycie tlenu. W 1784 roku został wybrany na zagranicznego współpracownika Akademii Nauk w Paryżu (a następnie w Bostonie, Filadelfii, Sztokholmie i Sankt Petersburgu). Do 1789 roku mieszkał w Londynie, następnie przeprowadził się do domu swego szwagra w Birmingham. Znany był ze swoich liberalnych poglądów, protestów przeciwko politycznej dyskryminacji środowisk odchodzących od teologii, a także zdecydowanego poparcia dla rewolucji francuskiej (1789–1799). W drugą rocznicę zburzenia Bastylii reakcyjny tłum spalił laboratorium Priestleya. Po tym incydencie przeniósł się on z powrotem do Londynu. W 1794 roku wyjechał do Stanów Zjednoczonych, gdzie spotkał się z życzliwym przyjęciem i otrzymał stanowisko profesora chemii na Uniwersytecie Pensylwanii. Jego najmłodszy, ukochany syn zmarł w 1795 roku; żona umarła w 1796 roku. Priestley, chory i samotny w ostatnich latach życia, pożegnał się z tym światem 6 lutego 1804 roku. Tym, co pozostało z jego laboratorium, opiekuje się obecnie Smithsonian Institution w Waszyngtonie.



Priestley przeprowadził swoje doświadczenie 1 sierpnia 1774 roku. Kawałek wonego tlenku rtęci (HgO) umieścił w pojemniku, z którego wypompowano powietrze, i ogrzewał za pomocą soczewki skupiającej światło słoneczne. Towarzystwo mu wydobywane się nieznanego gazu. Początkowo Priestley sądził, że otrzymuje szkodliwy gaz (azot). Zmienił jednak zdanie, kiedy stwierdził, że otrzymuje się gazie świeca płonie żywym płomieniem. Nadal gazowi nazwę powietrza bez flogistonu. Obecnie wiemy, że gaz, który otrzymał Priestley, to tlen. Priestley odkrył również zasadniczą rolę, jaką tlen odgrywa w życiu zwierząt. Priestley badał jego wpływ na oddychanie. Uczony zaobserwował także, że gaz ten jest produkowany pod działaniem promieni słonecznych przez rośliny.



2.8. Otrzymywanie tlenu (1)

Materiały: soda spożywcza, woda utleniona (nac-bówka, stawy, zatycka, drzazga drewniana, słoik, talerz, rurka plastikowa, źródło ciepła).

Wykonanie: Napełnij probówkę wodą utlenioną do 1/4 wysokości. Dodaj ćwierć łyżeczki sodę spożywczej. Lekko zatkać probówkę korkiem i umieść ją w statywie, tak aby otwór był oddalony od ciebie. Połącz plastikową rurką probówkę i słoik. Podgrzewaj płyn w probówce aż do wrzenia. Zapal drzazgę i zdmuchnij płomień. Zarzucić drzazgę w słoik. Drzazga stanie w płomieniu.

Wyjaśnienie: Woda utleniona (H_2O_2) składa się z wodoru (H) oraz tlenu (O). Jest związkiem bardzo nietrwałym, gotowym łatwo rozpaść się na wodę (H_2O) i tlen (O_2). Soda ($NaHCO_3$) ułatwia rozpad cząsteczki H_2O_2 . Gdy jednocześnie podgrzewamy wodę utlenioną i sodę, pojawiają się bąbelki tlenu. Zarzucić drzazgę użyto do przeprowadzenia testu na obecność tlenu. Środowisko bogate w tlen sprzyja utlenianiu do tego stopnia, że tłące się przedmioty stają w ogień.

Symbole chemiczne. Literowe oznaczenia pierwiastków chemicznych (wodoru - H, tlen - O itd.) wprowadził szwedzki chemik, Jöns Jacob Berzelius (1779-1848). Wcześniej substancjom chemicznym przypisane były znaki alchemiczne. Takim przykładem byłby symbol miedzi:

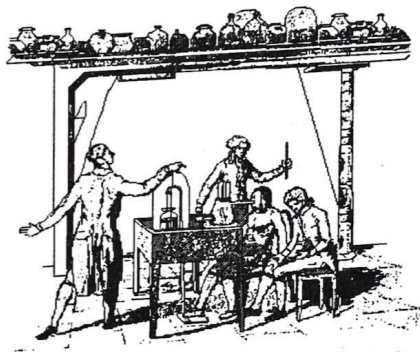


W październiku 1774 roku Joseph Priestley spotkał się w Paryżu z Lavoisierem i innymi francuskimi chemikami. W czasie spotkania zrelacjonował im przebieg swojego doświadczenia z czerwonym tlenkiem rtęciowym. Po powrocie Priestleya do Anglii Lavoisier powtórzył jego eksperyment w obiegu odwracalnym, badając proces ilościowo. Najpierw poddał spalaniu rtęć, a więc połączył ją z tlenem, otrzymując tlenek ($2Hg + O_2 \rightarrow 2HgO$). Jednocześnie Lavoisier zmierzył dokładną ilość tlenu pobraną z zamkniętego naczynia w procesie spalania. Następnie od-

wrócił proces, intensywnie ogrzewając powstały związek. Produktem reakcji była rtęć i dokładnie taka sama ilość tlenu, jaka została poprzednio pochłonięta ($2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$). Objętość tlenu pochłoniętego, a następnie uwolnionego, Lavoisier zmierzył metodą obniżenia kolumny płynu. Wyniki doświadczenia Lavoisier podsumował w opublikowanym w 1789 roku dziele *Traité élémentaire de chimie*: „Nic nowego nie powstaje czy to na skutek naszych eksperymentów laboratoryjnych, czy też w naturalnych procesach zachodzących w przyrodzie. Można przyjąć za pewnik, że idealnie taka sama ilość substancji występuje przed reakcją i po jej zakończeniu, ilość i jakość składników elementarnych pozostaje bez zmian, możliwe są jedynie ich różne zmiany i kombinacje”.

Najlepszy proch strzelniczy. W 1775 roku Lavoisier uczestniczył w pracach czteroosobowej Komisji ds. Prochu. Komisja miała za zadanie przeprowadzenie kontroli w Fabryce Prochu, rządowej korporacji, będącej monopolistą w dziedzinie produkcji i sprzedaży prochu strzelniczego. W 1788 roku Lavoisier, wykorzystując swój geniusz chemiczny, zaczął pracować nad poprawą jakości prochu. W efekcie wyprodukowano najlepszy proch na świecie. Zasięg ognia muszkietu wzrósł z około 150 do 250 metrów. Można przypuszczać, że jakość prochu strzelniczego przyczyniła się do zwycięstw armii napoleońskiej.

Lavoisier wykazał, że powietrze bez flogistonu stanowi mniej więcej 1/5 składu powietrza atmosferycznego. Wprowadził również dla tego gazu nową nazwę – *oxygen*, pochodzącą od greckiego słowa oznaczającego „produkcujący kwas”. Jednakże, jak się okazuje, nie jest to nazwa do końca uzasadniona. Lavoisier mylnie sądził, że nowy gaz jest podstawowym składnikiem wszystkich kwasów (więcej informacji o naturze kwasów uzyskano dopiero 40 lat później).



Lavoisier i jego asystenci przeprowadzają doświadczenie oddychania

* Polska nazwa „tlen” została wprowadzona przez Jędrzeja Śniadeckiego (1768-1838) (przyp. tłum.).



ANTOINE LAURENT LAVOISIER (1743–1794)

Antoine Lavoisier jest uważany za ojca współczesnej chemii. Opracował on metody ilościowej analizy chemicznej i rozpoczął systematyzowanie nazewnictwa związków chemicznych na podstawie pierwiastków wchodzących w ich skład. Lavoisier urodził się 26 sierpnia 1743 roku w Paryżu, gdy Francją rządził Ludwik XV. W latach 1754–1763 uczęszczał do Collège des Quatre Nations. W 1768 roku zakupił jedną trzecią udziałów Generalnej Dzierżawy, instytucji posiadającej królewską licencję na

pobieranie podatków od wyrobów tytoniowych i soli, a także na pobieranie ceł od towarów sprowadzanych do Paryża. Jak się później okazało, ta działalność finansowa miała poważne konsekwencje. W 1771 roku, w wieku 28 lat, Lavoisier poślubił Marie Anne Pierrette Paulze, czternastoletnią córkę prezesa Generalnej Dzierżawy, Jacques'a Paulze'a. Małżeństwo było bezdzietne, ale szczęśliwe. Pani Lavoisier pełniła rolę naukowej asystentki męża. Nauczyła się angielskiego, aby pomagać mu w tłumaczeniach. Ponadto studiowała rysunek u sławnego francuskiego malarza Jacques'a Louisa Davida (który również ją portretował) i wykonywała ilustracje do niektórych książek Lavoisiera. Była gospodynią odbywających się co tydzień naukowych spotkań. Lavoisier został wybrany do Akademii Nauk w 1768 roku, w bardzo młodym wieku. Brał udział w pracach komisji ustalającej metryczny system miar. W 1791 roku został powołany do zarządu nowo powstałego Narodowego Ministerstwa Finansów. Podczas rewolucji francuskiej, mimo swego znaczącego wkładu w rozwój nauki, był ostro atakowany przez rewolucyjnych dziennikarzy, takich jak Jean-Paul Marat. 24 grudnia 1793 roku, w okresie rządów terroru, Lavoisier został aresztowany wraz ze swoim teściem i innymi udziałowcami Generalnej Dzierżawy. Jego proces odbył się 8 maja 1794 roku. Jako osoba związana z instytucją pobierającą podatki Lavoisier został skazany na karę śmierci przez ścięcie. Zrzeszenie Sztuki i Rzemiosł przysłało do sądu list, mający wykazać wkład Lavoisiera w rozwój nauki. Jednakże sędzia, rzuciwszy nań okiem, powiedział podobno: „Republika nie potrzebuje uczonych”. Antoine Lavoisier został stracony około godziny 6 po południu, 8 maja 1794 roku, wraz z 27 innymi więźniami. Znany matematyk, Joseph Louis Lagrange, na wiadomość o jego śmierci miał powiedzieć: „Strącenie jego głowy zajęło im chwilę, a pewnie nie wystarczy stu lat, by doczekać podobnej!”.

Około 1772 roku paryski jubiler o nazwisku Maillard poinformował Lavoisiera, że diament nie może płonąć bez obecności powietrza. Uczony przeprowadził eksperyment mający zweryfikować to twierdzenie. Przez wiele godzin intensywnie ogrzewał dostarczone mu przez Maillarda trzy diamenty, umieszczone w glinianej rurze wypełnionej węglem drzewnym. Diamenty nie spłonęły. Opierając się na tym i na wielu innych eksperymentach, Lavoisier dowiódł, że tlen odgrywa zasadniczą rolę podczas spalania (wchodzi w reakcję ze spalaną substancją). Wykazał również, że w procesie korozji nie powstaje metal *minus* „coś”, jak to wy-

nikalo z teorii flogistonu, lecz metal *plus* „coś”, i że tym „czymś” jest tlen. W ten sposób teoria flogistonu została ostatecznie obalona.

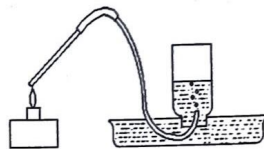
Zgubna konfrontacja. W 1780 roku szwajcarski lekarz, Jean-Paul Marat (1743–1793), prowadzący w Paryżu dochodową praktykę, opublikował traktat *Recherches physiques de la feu* (*Badania fizycznej natury ognia*). Swoją pracę złożył we Francuskiej Akademii Nauk, mając nadzieję, że zostanie przyjęty do grona jej członków. Wnioski Marata podważały teorię spalania Lavoisiera. Lavoisier skrytykował pracę, zwracając uwagę na brak wystarczającego materiału doświadczalnego, który mógłby potwierdzić hipotezy Marata. Wkrótce w prasie paryskiej ukazała się wzmianka, że traktat Marata został oficjalnie zaaprobowany przez Akademię. Lavoisier publicznie temu zaprzeczył. W efekcie Marat znenawidził Lavoisiera. Spokali się ponownie 12 lat później. Marat został radykalnym jakobińskim przywódcą rewolucji francuskiej, odpowiedzialnym za wrzesniową masakrę 1792 roku, w której zginęło ponad 1200 osób. W 1791 roku wydawana przez Marata gazeta „L'Armée du Peuple” („Przyjaciel Ludu”) przypuściła na Lavoisiera pierwszy polityczny atak, który, jak wiemy, miał tragiczne konsekwencje.

2.9. Otrzymywanie tlenu (2)

Materiały: probówka, nadmanganian potasu (dostępny w aptece), słoik, talerz, kawałek drutu.

Wykonanie: Wsyp łyżeczkę nadmanganianu potasu do małej probówki. Drugą probówkę włóż do słoika umieszczonego ponad wodą w talerzu. Połącz rurką obie probówki. Starannie podgrzej probówkę z nadmanganianem potasu. Uwalniający się tlen będzie się gromadził w słoiku. Trzymaj koniec drutu w płomieniu, aż zacznie się żarzyć.

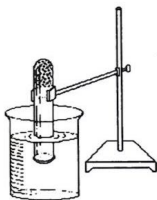
Wyjaśnienie: Nadmanganian potasu (KMnO_4) jest związkiem chemicznym, składającym się z potasu (K), manganu (Mn) i tlenu (O). Pod wpływem ogrzewania nastąpi reakcja analizy z uwolnieniem tlenu: $2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2$.



2.10. Tlen jako składnik powietrza

Materiały: probówka (lub butelka), wata stalowa, słoik, statyw.

Wykonanie: Probówkę z watą stalową odwróć do góry dnem i zanurz w słoiku z wodą. Zaznacz poziom, do którego sięga woda w probówce. Po kilku dniach na żelaznych opilkach zauważysz czerwone ślady rdzy. W procesie korozji (utleniania) żelaza zostanie zużyta część tlenu ze słoika, co spowoduje podniesienie się poziomu wody w probówce.



Wyjaśnienie: Tlen reaguje z żelazem, w wyniku czego powstaje tlenek żelaza. Ślupki wody w probówce podniósł się do około 1/5 wysokości probówki, gdyż tlen stanowi mniej więcej piątą część składu powietrza. Jeżeli w probówce jest niewystarczająca ilość żelaza, poziom wody może wznieść się nieco niżej.

Tlen jest bezbarwnym, bezwonnym i pozbawionym smaku gazem. Jest bardzo aktywny chemicznie, może wchodzić w reakcje z większością pierwiastków w atmosferze tlen występuje w postaci dwuatomowej O_2 , trójatomowej O_3 , zwanej ozonem (od greckiego słowa oznaczającego zapach, ze względu na jego specyficzną woń), a także jako tlen atomowy O , w górnych warstwach atmosfery. Ozon został odkryty przez Christiana F. Schönbeina (1799–1868) w latach czterdziestych XIX wieku, ale jego obecność w atmosferze potwierdzono dopiero w 1913 roku.

Przeważająca część ozonu znajduje się w górnych warstwach atmosfery, na wysokości około 30 km nad powierzchnią Ziemi. Ozon obecny na tej wysokości powstaje z procesów naturalnych i tworzy warstwę ozonową. Pochłania ona większość ultrafioletowego promieniowania słonecznego, które jest szkodliwe dla organizmów żywych. Zatem obecność warstwy ozonowej chroni życie na Ziemi przed tym promieniowaniem.

W 1974 roku naukowcy amerykańscy, Mario Molina i Sherwood Rowland stwierdzili, że pewne wytwarzane przez człowieka substancje powodują niszczenie warstwy ozonowej. Wśród nich istotną rolę odgrywają związki chloro-fluoro-oro-węglowe, CFC, tzw. freony, pochodzące głównie z pojemników chłodziarek i urządzeń wentylacyjnych. Naukowcy przewidywali, że w związku z niszczeniem warstwy ozonowej wzrośnie liczba zachorowań na raka skóry wśród ludzi i nasila się różne niepożądane efekty działania nadmiernych ilości promieniowania ultrafioletowego na zwierzęta i rośliny. Ponad 40 krajów uprzedzonymi posłuchało ostrzeżeń Moliny i Rowlanda i zobowiązało się do 2000 roku całkowicie wycofać z użycia związki chemiczne niszczące warstwę ozonową (zgodnie z tzw. Protokołem Montrealskim z 1987 roku oraz umową z czerwca 1990 roku). Za swoje badania Molina i Rowland w 1995 roku otrzymali Nagrodę Nobla za chemii.

INNE GAZY ATMOSFERYCZNE. W 1892 roku profesor Royal Institution w Londynie, lord Rayleigh (John William Strutt, 1842–1919), odkrył, że czysty azot otrzymany z amoniaku waży około 0,5% mniej niż azot atmosferyczny. Fakt ten zdawał się wskazywać na istnienie nieznanego składnika atmosfery. W 1894 roku Rayleigh wraz z innym chemikiem, Williamem Ramsayem, zdołał wyizolować niewielką ilość tego gazu. Nadali mu nazwę *argon*, co oznacza „nieaktywny”. Dowiedli, że argon stanowi nie więcej niż 1% powietrza atmosferycznego. Za swoje osiągnięcia, między innymi za badania nad właściwościami gazów atmosferycznych, Rayleigh otrzymał w 1904 roku Nagrodę Nobla z fizyki.

Spektroskopia. Metodę zastosowaną przez Rayleigha i Ramsaya do wykrycia argonu nazwano spektroskopią. Prototyp spektroskopu zbudował dziewiętnasto-wieczny optyk niemiecki, Joseph Fraunhofer. Naukowe podstawy spektroskopii stworzyli dwaj fizycy, Robert Bunsen i Gustav Kirchhoff, którzy w 1859 roku odkryli, że światło przechodzące przez różne gazy obserwowane jest jako wiązka różnokolorowych pasm, zwanych widmem.

Podczas zaćmienia Słońca w 1868 roku dwaj astronomowie: Francuz Pierre Jules César Janssen (1824–1907) oraz Anglik Joseph Norman Lockyer (1836–1920), zaobserwowali jaskrawożółte pasmo w widmie światła słonecznego. Linia ta

związana była z nieznanym wcześniej pierwiastkiem występującym na Słońcu. Otrzymał on nazwę hel – od greckiego słowa *helios* oznaczającego Słońce. Blisko 30 lat później William Ramsay badał minerały występujące na Ziemi i znalazł ten sam pierwiastek. Ramsay wraz z brytyjskim chemikiem, Morrisem W. Traversem (1872–1961), odkrył, posługując się metodą spektroskopii, jeszcze trzy inne gazy atmosferyczne: krypton, neon i ksenon.

CZĄSTECZKI GAZÓW. W 1808 roku francuski chemik, Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850), badając reakcje zachodzące między gazami, odkrył ciekawą prawidłowość. Gdy poddawał reakcji tlen z wodorem, mierząc objętości gazów, zauważył, że w reakcji wzięło udział dwukrotnie więcej wodoru niż tlenu (łącznie 2 objętości wodoru i 1 objętość tlenu, uzyskał 2 objętości pary wodnej). Po przeprowadzeniu serii eksperymentów, sformułował twierdzenie: „Przy stałym ciśnieniu i temperaturze stosunek objętości gazów biorących udział w reakcji chemicznej wyraża się niewielkimi liczbami całkowitymi”.

Odkrycie Gay-Lussaca zaintrygowało włoskiego profesora fizyki, Amadea Avogadra (1776–1856). Starając się wyjaśnić zagadkę, w 1811 roku wysunął hipotezę, że: „Liczba cząsteczek dowolnego gazu w danej objętości jest zawsze stała lub – inaczej mówiąc – jest ona proporcjonalna do objętości”. Avogadro stwierdził również, że aby dwie objętości wodoru połączyły się z jedną objętością tlenu, każda cząstka tlenu musi „rozdzielić się” pomiędzy cząsteczki wodoru. Teza ta była trudna do przyjęcia, gdyż cząsteczki uważano za niepodzielne. Aby usunąć tę sprzeczność, Avogadro sformułował drugą hipotezę: „Cząsteczki gazów nie muszą być pojedynczymi atomami, mogą składać się z dwu lub więcej identycznych atomów”. Przyjął więc, że cząstki związków chemicznych mają złożoną budowę.

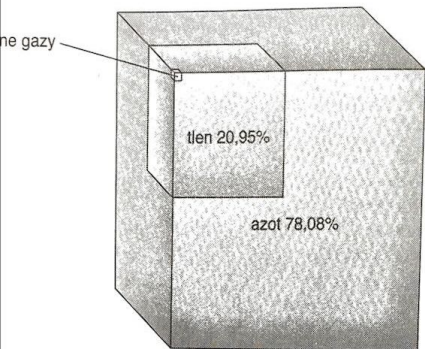
Zakładając dwuatomową budowę cząsteczki wodoru i tlenu, Avogadro stwierdził, że w reakcji wodoru z tlenem biorą udział dwie cząsteczki wodoru i jedna cząsteczka tlenu: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$.

Wilgotne powietrze jest lżejsze. Kiedy do stałej objętości powietrza dodamy pewną liczbę cząsteczek pary wodnej, taka sama liczba cząsteczek powietrza zostanie (zgodnie z prawem Avogadra) wyparta z tej objętości, jeżeli ciśnienie i temperatura się nie zmienią. Przyjmijmy, że 10 moli pary wodnej (mol to stała liczba cząsteczek) wyprze 10 moli powietrza, czyli 8 moli azotu i 2 mole tlenu. Masa cząsteczkowa pary wodnej, azotu i tlenu wynosi, odpowiednio, 18 g, 28 g i 32 g. Można zapisać równanie bilansu: $(10 \times 18 \text{ g}) - (8 \times 28 \text{ g} + 2 \times 32 \text{ g}) = -108 \text{ g}$ (strata). To dowodzi, że powietrze wilgotne jest lżejsze od suchego przy tej samej temperaturze i ciśnieniu.

Wiele lat po śmierci Avogadra jego imieniem nazwano stałą fizyczną określającą liczbę cząstek gazu (liczbowo $6,02 \times 10^{23}$) zawartych w 1 molu. Jeden mol w standardowych warunkach ciśnienia i temperatury zajmuje objętość $22,4 \times 10^3 \text{ cm}^3$.

SKŁAD POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO. W tabeli zestawiono procentowy objętościowy udział (stały lub zmienny) poszczególnych gazów wchodzących w skład atmosfery ziemskiej (do wysokości 80 km):

Składniki stałe	Symbol	% objętości	Składniki zmienne	Symbol	% objętości
Azot	N ₂	78,8	Para wodna	H ₂ O	0-4
Tlen	O ₂	20,95	Dwutlenek węgla	CO ₂	0,0351
Argon	Ar	0,93	Ozon	O ₃	0,000004
Neon	Ne	0,0018	Tlenek węgla	CO	0,00002
Hel	He	0,0005	Dwutlenek siarki	SO ₂	0,000001
Metan	CH ₄	0,0001	Dwutlenek azotu	NO ₂	0,000001
Wodór	H ₂	0,00005			
Ksenon	Xe	0,000009			



Skład atmosfery

dwutlenek azotu i tlenek węgla są emitowane do atmosfery w wyniku spalania paliwa w wysokiej temperaturze przez pojazdy spalinowe. Dwutlenek węgla i dwutlenek siarki powstają przy spalaniu drewna i węgla. Dwutlenek siarki (SO₂) łatwo utlenia się, przechodząc w trójtlenek siarki (SO₃), ten zaś w wilgotnym powietrzu reaguje z wodą, dając kwas siarkowy (H₂SO₄). Kwas siarkowy bywa przenoszony przez chmury na tysiące kilometrów. Jest wypłukiwany z chmury w postaci tzw. kwaśnego deszczu.

Spośród wszystkich składników powietrza w największym stopniu do utrzymania życia na Ziemi przyczyniają się: tlen, ozon pochodzenia naturalnego, para wodna, azot i dwutlenek węgla pochodzenia naturalnego. Bez tlenu udusilibyśmy się. Bez ozonu zniszczyłoby nas promieniowanie słoneczne. Bez pary wodnej i wody umarlibyśmy z pragnienia. Gdyby zabrakło dwutlenku węgla i azotu, groziłby nam głód.

STRUKTURA ATMOSFERY. Pionową budowę atmosfery badano najpierw podczas lotów balonowych. Pierwszy lot załogowy odbyli w listopadzie 1783 roku bracia Montgolfier, francuscy producenci papieru. Użyli balonu zrobionego z papieru, napełnionego gorącym powietrzem. Francuski fizyk, Jacques

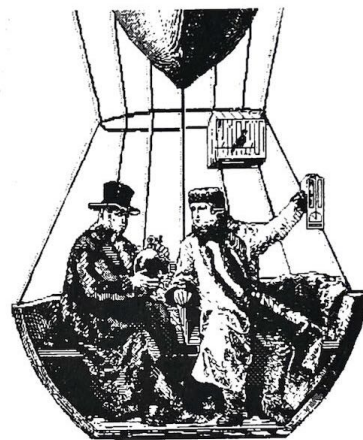
Najobficiej w powietrzu występują azot i tlen. Łącznie stanowią około 99,03% suchego powietrza. Zawartość pary wodnej zmienia się w czasie i przestrzeni w ramach naturalnego obiegu wody. Koncentracja CO₂ wykazuje cykliczne zmiany związane z rocznym cyklem wegetacji. Na ilość SO₂ wpływa aktywność wyziewów wulkanicznych do górnej atmosfery. Do zmiany zawartości niektórych składników atmosfery przyczynia się przemysłowa działalność człowieka. I tak na przykład ozon

Charles (1746–1823), zbudował duży (o średnicy 9 m) balon z gumowanego jedwabiu. Nazwał go *Glob*, a do jego napełnienia użył wodoru. Pierwszego grudnia 1783 roku Charles w towarzystwie Nicolasa Roberta odbył pierwszy załogowy lot balonem tego typu. W celu uzyskania potrzebnej ilości wodoru Charles użył 540 kg opilków żelaznych i 270 kg rozcieńczonego kwasu siarkowego. Cztery dni trwało napełnianie balonu. Start odbył się w Ogrodach Tuileries. Po 25 minutach lotu Charles i Roberts wylądowali na łące, 44 kilometry na północny wschód od Paryża. Kolejnym razem Charles wystartował sam. Udało mu się wznieść na wysokość ponad 1000 m. Zmierzona tam temperatura wynosiła -5°C i była o 13 stopni niższa niż temperatura przy powierzchni Ziemi.

27 sierpnia 1804 roku dwaj naukowcy francuscy, Jean Biot i Joseph Louis Gay-Lussac, odbyli balonem napełnionym wodorem pierwszy lot naukowo-badawczy. Uчени wznieśli się na wysokość 7 km i przeprowadzili obserwacje atmosfery. Starannie zapisywali uwagi dotyczące wpływu wysokości na zachowanie zwierząt, które towarzyszyły im podczas lotu. Pobrali również próbki powietrza, aby po powrocie poddać ją analizie. Okazało się, że skład powietrza nie zmienia się z wysokością. Biot i Gay-Lussac stwierdzili w badanej próbce obecność tlenu i azotu w takich samych proporcjach jak przy powierzchni Ziemi. Po raz pierwszy stwierdzono wtedy, że powietrze jest mieszaniną, w której proporcje składników pozostają stałe niezależnie od wysokości (do około 80 km). W trzy tygodnie po pierwszym locie Gay-Lussac wzniósł się znowu, tym razem samotnie. Pobrał próbki powietrza i zbadał pionowe zmiany temperatury.

Inny francuski uczonec, Leon Philippe Teisserenc de Bort (1855–1913), przez trzy lata badał skład atmosfery (1899–1902), wykorzystując bezzałogowe balony napełnione wodorem. Lot balonów śledził dwoma teodolitami, przyrządami używanymi przez mierniczych do pomiaru kątów poziomych i pionowych. Badania doprowadziły go do stwierdzenia, że właściwości atmosfery, a w szczególności temperatura, zmieniają się z wysokością. Najniższą warstwę atmosfery, w której temperatura maleje z wysokością, de Bort nazwał troposferą, od greckiego słowa *tropos*, oznaczającego „zawracać”, i *sphaira* – powłoka. Wyższą warstwę, w której spodziewał się obecności lekkich gazów, nazwał stratosferą.

Z czasem wysyłanie bezzałogowych balonów stało się rutynową metodą sondowania górnej atmosfery. Standardowy zestaw pomiarowy składał się z balonu napełnionego helem lub wodorem oraz pojemnika zawierającego mierniki, zwa-



Biot i Gay-Lussac podczas lotu balonem

nego *radiosondą*. Pierwsze radiosondy zaprojektował i przetestował w 1939 roku rosyjski meteorolog, Paweł A. Mołczanow.

Radiosonda może wznieść się na wysokość 30 km. Mierzy ona ciśnienie, temperaturę i wilgotność i przekazuje te dane do stacji naziemnej za pomocą fal radiowych. Około 950 stacji aerologicznych na całym świecie dwa razy na dobę wysyła radiosondy, rutynowo badając pionową strukturę atmosfery zgodnie z międzynarodowym programem Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO).

Rekordy lotów balonowych. Rekord wysokości lotu badawczego balonem ustanowił w 1960 roku kapitan Amerykańskich Sił Powietrznych, Joseph W. Kittinger (junior). Lecąc nad pustynią w Nowym Meksyku balonem z otwartą gondolą, Kittinger osiągnął wysokość 34,3 km. Na tej wysokości pilot ubrany w skafander ciśnieniowy wyskoczył z balonu. Gdy był 6 km nad ziemią, jego prędkość spadania osiągnęła 380 km/h; wtedy automatycznie otworzył się spadochron i w 9 minut później Kittinger bezpiecznie wyładował na Ziemi.

Dwadzieścia lat później pewien młody Amerykanin podjął próbę wzniesienia się wyżej. Użył do tego kilku balonów napełnionych wodorem. Na wysokości 10 km temperatura powietrza spadła do -30°C . Czując, że zamarnie na śmierć, pilot zestrzelił część balonów, co pozwoliło mu powrócić na Ziemię. I jakby sam lot nie był dość emocjonujący, na dole czekała na niego policja, aby ukarać go za złamanie przepisów odnoszących się do użytkowania amerykańskiej przestrzeni powietrznej.

Badania z użyciem radiosond i raket meteorologicznych wykazały, że na podstawie charakteru pionowych zmian temperatury atmosferę Ziemi można podzielić na kilka warstw. Najniżej, do wysokości około 10 km, rozciąga się *troposfera*. Jest to najcieńsza warstwa atmosfery, zarazem mająca największą gęstość. W położonej ponad nią *stratosferze* temperatura wzrasta wraz z wysokością na skutek absorpcji promieniowania słonecznego przez warstwę ozonową. Granica między tymi dwoma warstwami nosi nazwę *tropopauzy*. Stratosfera rozciąga się do wysokości 50 km; warstwa przejściowa przylegająca do stratosfery to *stratopauza*. Ponad nią leży *mezosfera*, której nazwa pochodzi od greckiego słowa oznaczającego „środek”. Mezosfera sięga do wysokości 80 km. W jej obrębie wartość temperatury maleje z wysokością. To tutaj spala się większość meteorów docierających do atmosfery. *Mezopauza* oddziela mezosferę od najwyższej położonej *termosfery* (od greckiego słowa „ciepło”). W warstwie tej energia słoneczna powoduje silny wzrost temperatury (to znaczy prędkości cząsteczek powietrza), a gęstość powietrza jest bliska zeru. Jest to zatem poziom, na którym zwykły termometr zaokieniony jest mało przydatny.

Zagubieni baloniarze. Pewnego pochmurnego dnia w Kolorado dwóch mężczyzn odbywało lot balonem na gorące powietrze. Z powodu złej pogody stracili orientację. Gdy dryfowali nad terenem pewnego instytutu meteorologicznego, jeden z nich krzyknął do zauważonego w dole człowieka:

– Czy byłby pan uprzejmy powiedzieć nam, gdzie właściwie jesteśmy?

Po chwili zastanowienia mężczyzna odkryknął:

– Jesteście panowie w balonie na gorące powietrze!

Piloci wymienili spojrzenia. Jeden z nich skonstatował:

– Ten facet na dole musi być naukowcem – jego odpowiedź jest idealnie precyzyjna i doskonale bezużyteczna!

POCHODZENIE ATMOSFERY. Naukowcy uważają, że przed miliardami lat atmosfera ziemską była całkowicie odmienna od obecnej. Pierwotna atmosfera składała się z wodoru, helu i innych prostych gazów. Sądzi się, że atmosfera ta rozprzyszczała się w przestrzeni kosmicznej, gdyż jej składniki były zbyt lekkie. W początkowym stadium istnienia Ziemi liczne kolizje z meteoritami spowodowały wielki wzrost temperatury powierzchni planety, a to doprowadziło do roztopienia znacznej części skał. W trakcie tego procesu topiąca się Ziemia emitowała wiele różnych gazów. Po pewnym czasie planeta zaczęła stygnąć i krzepnąć. Roztopione skały i towarzyszące im gazy czasem jeszcze wydobywały się na powierzchnię przy okazji wybuchów wulkanów. Gazy te, gromadząc się ponad powierzchnią Ziemi, tworzyły wtórną prymitywną atmosferę. Uzupełniały ją gazy dostarczane przez spadające na Ziemię meteority.

Prehistoria Ziemi. Wiek najstarszej skały znalezionej na Ziemi określa się na cztery miliardy lat. Niektóre meteority prawdopodobnie liczą sobie 4,5 miliarda lat. Na tej podstawie sądzi się, że Ziemia oraz Układ Słoneczny powstały około 4,5 miliarda lat temu. Najstarsza znaleziona roślina kopalna, jednokomórkowy zielony glon, pochodzi ze skał odkrytych w Afryce Południowej, których wiek oblicza się na około 2,5 miliarda lat. Glony spotyka się w wielu rejonach Ziemi, gdzie tworzą kolonie.

Czynne obecnie wulkany prawdopodobnie emitują gazy tego samego rodzaju i w takich samych proporcjach jak wulkany prehistoryczne. Można sobie wyobrazić, że działalność dawnych wulkanów dostarczała dwutlenku węgla, tlenku węgla, pary wodnej, azotu i dwutlenku siarki. Wydaje się, że w pierwotnej atmosferze tlen praktycznie nie występował, o czym świadczy fakt, iż niektóre spośród najstarszych odkrytych skał są ubogie w związki tlenu. Gdyby tlen był wówczas obecny w atmosferze, tworzyłby w skamieniałościach związki z żelazem. Początkowo przeważająca część tlenu, jaka trafiała do atmosfery, pochodziła z procesu fotosyntezy zachodzącego w jednokomórkowych organizmach zielonego glonu, który żył w oceanach 3 miliardy lat temu. Wraz z gromadzeniem się tlenu w atmosferze mogły zacząć pojawiać się pewne ilości ozonu, który uformował warstwę chroniącą przed ultrafioletowym promieniowaniem Słońca. Woda oceanów działała jak dodatkowa tarcza, chroniąca przed śmiertelnościami promieniowaniem z kosmosu. Dlatego właśnie życie narodziło się pod powierzchnią oceanów. Gdy warstwa ozonowa stała się wystarczająco gruba, rośliny i zwierzęta mogły bezpiecznie opuścić ocean i zasiedlić kontynenty.

KLIMATY PRZESZŁOŚCI. Klimat opisuje dynamiczny stan układu atmosfera–Ziemia w długim przedziale czasowym (lata, dekady, stulecia, tysiąclecia itd.) i na dużym obszarze (kontynent, glob). Klimat determinują takie czynniki, jak wzajemne oddziaływanie Ziemi i Słońca, zmiany orbity ziemskiej, układ konty-

mentów i oceanów, wybuchy wulkaniczne, działalność człowieka i inne. Naukowcy analizują zmiany klimatu, do których doszło w przeszłości, i starają się prognozować przyszłe.

Badacze klimatu analizują elementy biologiczne (kopalne rośliny i zwierzęta), chemiczne (bąbelki powietrza uwięzione w pokrywie lodowej) i geologiczne (osady z dna oceanów). Opierając się na takich wskazówkach, wysunięto hipotezę, że 65 milionów lat temu wielka planetoida, być może rozmiarów komety Halleya, uderzyła w Ziemię z prędkością ponad 150 000 km/h. Energia zderzenia spowodowała lokalnie wzrost temperatury do 20 000°C. Dwadzieścia tysięcy kilometrów sześciennych gleby i skał dosłownie wyparowało, a w Zatoce Meksykańskiej utworzył się gigantyczny krater Chicxulub o średnicy 300 km. Zastłona Ziemia, czego efektem było znaczne ochłodzenie. Kolizja prawdopodobnie spowodowała powstanie wysokich na 100 metrów fal pływowych na oceanach i wywołała trzęsienia ziemi w miejscach odległych o setki kilometrów od zderzenia. Sądzi się również, że spowodowane katastrofą zmiany klimatyczne doprowadziły do wyginięcia dużych zwierząt, takich jak dinozaury.

Odpowiedzialność za zmiany klimatyczne przypisuje się także trzem cyklicznym, nakładającym się na siebie zmianom orbity ziemskiej. Według teorii stworzonej w latach trzydziestych naszego wieku przez jugosłowiańskiego uczonego, Milutina Milankovicia (1879–1958), pierwszy cykl (trwający około 100 000 lat) związany jest ze zmianą kształtu orbity ziemskiej. W trakcie tego cyklu orbita staje się w większym, a następnie w mniejszym stopniu kołowa. W drugim cyklu (długości około 41 000 lat) nachylenie osi Ziemi zmienia się w zakresie od 22,5° do 24,5° (aktualnie wynosi 23,5°). Trzeci cykl (długości 22 000 lat) spowodowany jest precesją osi ziemskiej w przestrzeni kosmicznej. Na skutek tych czynników zmienia się orientacja Ziemi względem Słońca, co również ma wpływ na klimat.

W przeszłości na klimat mogła również oddziaływać przebudowa układu kontynentów. Zgodnie z teorią tektoniki płyt zewnętrzna skorupa Ziemi zbudowana jest z ogromnych, ruchomych płyt. Kontynenty są w nie wbudowane i poruszają się wraz z nimi. Niegdyś płyty te tworzyły całość – ogromną wyspę o nazwie Pangea, otoczoną oceanem, zwanym Panthalaasa. Taką hipotezę wysunął w 1912 roku niemiecki geolog, Alfred L. Wegener (1880–1930).