

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

Nr 45/2017

**WIELKIE
PYTANIA 7**

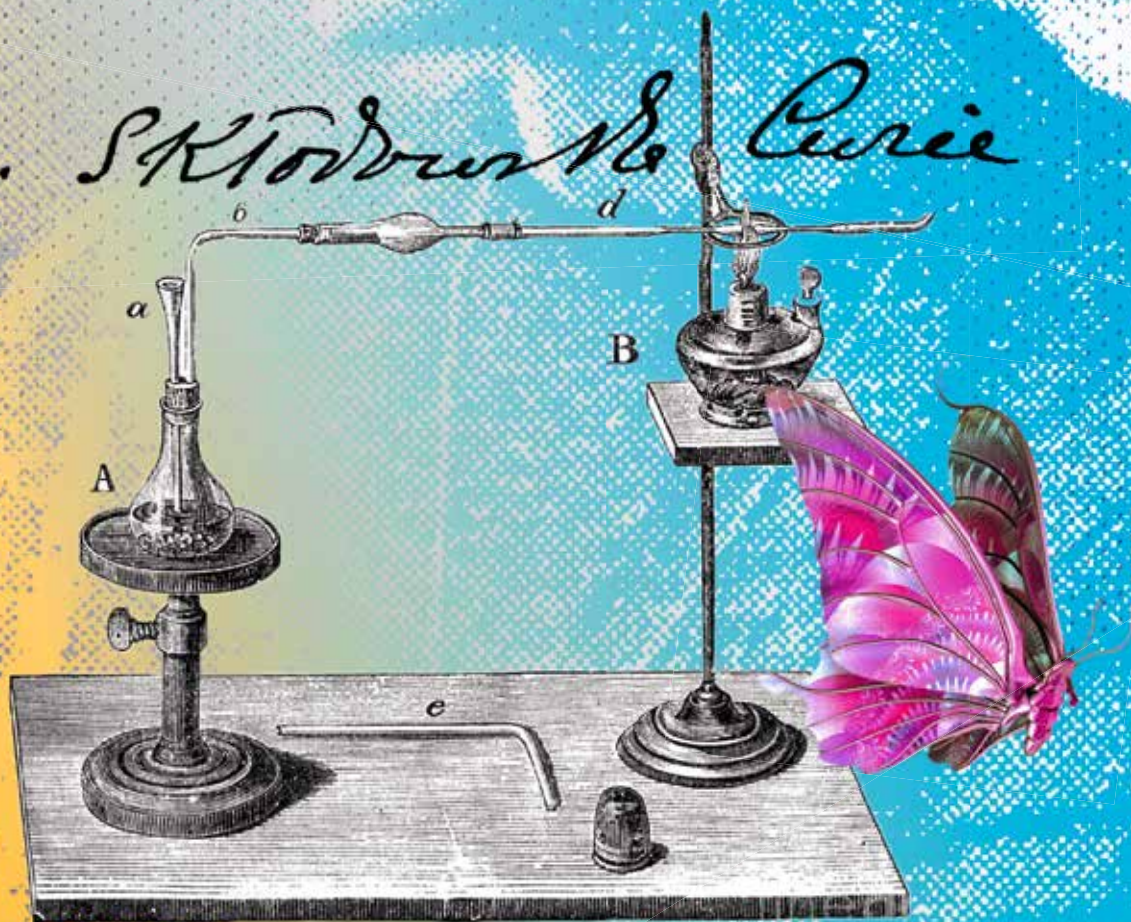


**Copernicus
Center**

**PRZEŁOMY
W CHEMII**

P O 8 4
R a 8 8

M. Skłodowska-Curie





03 Alchemia jako ćwiczenie duchowe
ŁUKASZ LAMŻA
Doskonałość materii – doskonałość duszy



07 Ojciec założyciel
MARCIN ŁOBEJKO
O Lavoisierze, flogistonie i ciepłoci



10 Wiedza o materii
INFOGRAFIKA
Chemia od XVII do XIX w.



12 Jak powstają związki
MIROSŁAW DWORNICZAK
O rozmaitych atomów związkach



15 Siła dwóch siostr
ROZMOWA Z NATACĄ HENRY
Rodzinna historia Marii i Broni Skłodowskich



18 Władza nad materią
INFOGRAFIKA
Chemia od XX w.



20 Człowiek, który uporządkował chemię
MIROSŁAW DWORNICZAK
Mendelejew i jego tablice



24 Pożegnanie z palnikiem
MIROSŁAW DANACH
Narodziny nowoczesnego laboratorium

Redakcja: Łukasz Kwiatek, Łukasz Lamża
Projekt graficzny: Marek Zalejski
Fotoedycja: Grażyna Makara, Edward Augustyn

Skład: Andrzej Leśniak, Marta Bogucka
Okładka: Marek Zalejski
Współwydawca: Fundacja Centrum Kopernika



ŁUKASZ LAMŻA

Rozpoczynamy serię czterech dodatków poświęconych wielkim wydarzeniom w historii czterech dyscyplin naukowych: chemii, biologii, fizyki i kognitywistyki. Jak zawsze, interesować nas będzie nie tylko sam aspekt naukowy i technologiczny tych przemian, ale ponadto – a może nawet przede wszystkim? – ich wpływ na nasze myślenie o świecie i nas samych.

Tematem pierwszego dodatku jest historia chemii. Zdajemy sobie sprawę, że mało którą naukę trzeba tak bardzo „odczarować”, jak właśnie tę. A przecież jest to nauka o otaczających nas substancjach, w tym również materii życia i cywilizacji ludzkiej. Chemia stanowi ogniwo pośrednie między fizyką teoretyczną, badającą atomy i ich elementy składowe, a dziedzinami „makroskopowymi”, jak biologia czy nauki o materiałach. To chemia

podarowała nam antybiotyki, supermocne kleje kontaktowe i nylonowe pończochy.

Nasz przegląd wielkich przełomów w chemii rozpoczynamy od próby zrekonstruowania logiki i metody średniowiecznych i renesansowych mistrzów alchemii; kończymy zaś rzutem oka na współczesne laboratorium chemiczne, w którym próżno szukać osmolonych od płomienia kolb, a chemicy wpatrują się z uwagą nie w kolorowe probówki, lecz wyświetlacze ciekłokrystaliczne. Po drodze zajrzemy przez ramię bohaterom i bohaterkom chemii – takim jak Antoine Lavoisier, Dymitr Mendelejew i wszystkie wybitne przedstawicielki rodu Skłodowskich – podglądając ich w momencie dokonywania wielkich odkryć.

Niech więc bulgocze i dymi. Niech się destyluje, rozdziela i oczyszcza! Robimy chemię. ©

„Wielkie Pytania: cz. II: Przełomy w nauce”

– zadanie realizowane przez Fundację Centrum Kopernika, finansowane w ramach umowy 538/P-DUN/2017 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.



Alchemia jako ćwiczenie duchowe



Adriaen van Ostade (1610–1685), Alchemik, 1661 r.

ŁUKASZ LAMŻA

Określa się ją często jako „protochemię” – wczesną, prymitywną postać tego, co później stało się porządną, rozwiniętą nauką. To nie tak. Alchemia i chemia to dwie odrębne, dojrzałe dyscypliny.

Alchemii nie da się zrozumieć z perspektywy współczesności. Rozumienie jakiegoś zjawiska przez pryzmat tego, czym się kiedyś stanie, to zresztą podejście intelektualnie nieuczciwe, anachroniczne. Równie dobrze można by próbować zrozumieć impresjonizm poprzez postimpresjonizm; albo Święte Cesarstwo Rzymskie poprzez Trzecią Rzeszę. Alchemia nie jest protochemią – chemią zalążkową, naiwną

i niedoskonałą. To już raczej chemia jest postalchemią – alchemią uproszczoną, strywalizowaną i wykastrowaną.

To też jednak uproszczenie; niepotrzebne zestawianie ze sobą zjawisk należących do różnych światów. Oddajmy więc może głos samemu alchemikowi. Co oni powiedzieliby nam o swojej sztuce, zaczepieni na ulicy starożytnej Aleksandrii, średniowiecznego Toledo czy renesansowej Pragi?

Substancje, elementy i esencje

Aby zrozumieć alchemiczną wizję świata, wystarczy uczciwie się rozejrzeć i podążyć za swoimi zmysłami, a nie teoriami, których nauczone nas w szkołach. Otaczają nas substancje, w tym najszerszym, intuicyjnym sensie, w którym leżący na ziemi liść to jasnożółta, elastyczna, ale już lekko trzeszcząca pod palcami, ciepła, ↔

↳ gładka substancja w kształcie liścia, przez którą przepływają ostatnie prądy życia. Woda jest substancją srebrzystą, ruchliwą, mokrą, bezwoną, dającą życie. A krew to dziwny płyn.

Na pierwszym roku geologii zapraszano nas, abyśmy się zaprzyjaźnili ze skałami i minerałami – wzięli je do ręki i zważyli, przyjrzyli się, jak odbijają światło; sprawdzili, czy ich powierzchnia jest matowa, tłusta czy perlistą, i jak się rozłamują. Pokrobaliby, powąchaliby, polizali. To piękna lekcja pierwotnej, czysto empirycznej metody poznawania świata. W ten właśnie sposób, od czasów pierwotnych, z pokolenia na pokolenie, rodziła się wiedza o otaczających nas materiałach. Wszystko ulepione jest wszak z jakiejś substancji.

W przemianach pomiędzy substancjami (ot, kłoda drewna przemienia się w popiół) różne ich składniki spotyka różny los – stąd przekonanie, że większość materiałów, z którymi mamy do czynienia, to mieszaniny czy może roztwory (znów w intuicyjnym, potocznym sensie) różnego typu podstawowych składników, które określa się czasem jako żywioły, ale o których znacznie lepiej myśleć jako o „elementach” – składnikach elementarnych. Jeszcze dziś angielskim słowem *element* obejmuje się żywioły, ale również i nowożytnie pierwiastki chemiczne.

Jednym z podstawowych zadań alchemika jest manipulowanie substancjami. Alchemik to ktoś, kto wie – a jeśli nie wie, to bardzo chce się dowiedzieć – jak zachowa się znalezione w górach łupki, gdy się go zmiażdży i podgrzeje; jaki kolor i zapach ma krew zagotowana ze śliną albo co się stanie, gdy liść klonu rozetrze się w miedzianym naczyniu i nasączy alkoholem. Dlaczego? O, to bardzo proste – ponieważ poprzez manipulowanie substancjami można osiągnąć wszystko. Wszystko. Szczególnie potężną techniką jest wyciąganie esencji – podgęszczanie. Substancję, która w danym przedmiocie występuje w śladowej ilości, alchemik potrafi doprowadzić do postaci koncentratu, czasem o potężnej mocy.

Przykład pierwszy: skały. „Góry Karyntii są jak solidna szkatuła: gdy otworzyć ją kluczem, odkrywa istne cuda”, pisał Paracelsus (ok. 1493–1541), słynny alchemik, medyk i astrolog renesansowy, do którego będziemy się często odwoływać. Świat podziemny był dla człowieka starożytnego i średniowiecznego Kosmosem samym w sobie – posiadającym swoje życie, choć wolniejsze od życia nadziemnego, swoją faunę i florę (w płytszych kopalniach – gnomy i koboldy; w gorących korze-



Tymczasem w Warszawie...

MICHAŁ SĘDZIWIÓJ (1566–1636) był jednym z najstojniejszych alchemików swej epoki. W 1604 roku jego kolega po fachu, Sethon, został uwięziony w Krakowie i torturami próbowano wyciągnąć z niego tajemnicę kamienia filozoficznego. Sędziwój pomógł mu w ucieczce, w zamian za co wdzięczny alchemik podarował mu ponoć uncję tajemniczej substancji pozwalającej na przemianę metali nieszlachetnych w złoto.

W niedługim czasie Sędziwój prezentował już swoje moce przed Zygmuntem III Wazą, a nawet cesarzem Rudolfem II. Polski król stał się później wielkim entuzjastą alchemii, inwestując majątek Rzeczypospolitej w niekończące się eksperymenty mające przynieść mu bogactwo i wieczne życie.

Sędziwój przyjął funkcję sekretarza króla i brał udział w licznych misjach dyplomatycznych w imieniu Rzeczypospolitej; pozwoliło mu to między innymi na regularne wyprawy do Pragi, będącej wówczas jedną ze stolic europejskiej społeczności alchemicznej. W późniejszych latach uwagę Sędziwoja przykuły badania powietrza i obecnej w nim „zasady życia”; czasem wymienia się go jako odkrywcę tlenu.

niach gór – salamandry) i swoje powiązanie z Makrokosmosem – o czym więcej za chwilę. Alchemicy kochali kamienie i wiele słynnych procedur alchemicznych polega na poddawaniu ich najprzeróżniejszym fizykochemicznym torturom: jak likwacja, czyli podgrzewanie do momentu, aż składnik o niższej temperaturze topnienia „wykrwawi się” z masy skalnej, albo kupełacja, czyli prażenie rudy w obecności środ-

ka redukującego, np. rozgniecionych kości zwierzęcych, co pozwala na oddzielenie metali szlachetnych od nieszlachetnych.

Wielki znawca mitologii i archaicznej duszy, rumuński etnolog Mircea Eliade, pisał w „Kowalach i alchemikach”, że procedury alchemiczne oznaczały w istocie przyspieszanie naturalnych procesów dojrzewania minerałów, prowadzących, jak każde dojrzewanie, od postaci mniej doskonałej do doskonalszej. Górnik, ryzykując życiem, schodzi do łona Ziemi, w którym dojrzewa mineralny embriom, wydiera go ze skalnej macicy i przynosi na powierzchnię. Alchemik, jeśli się odważy, może *in vitro* sztucznie przyspieszyć proces jego rozwoju.

Cesarz Kaligula przeznaczał niebagatelne środki na eksperymenty nad uzyskaniem złota z aurypigmentu – złotawego minerału znanego już w starożytności. Dziś patrzymy na to z poczuciem wyższości (aurypigment to siarczek arsenu, atomów złota więc w nim tyle, co kot napłakał), jednak złotawa barwa tego minerału pozwalała budzić nadzieję, że ów rozpuszczony w nim element złota, który po tysiącach lat i tak naturalnie wypęczkowałby w postaci grudek czystego minerału, można sztucznie, przemocą, na przekór naturze wycisnąć i przywłaszczyć. Alchemik to więc bluźnierca, który ma czelność rzucić wyzwanie światu i powiedzieć mu: „Świecie, nie jesteś doskonały, ale ja cię dla własnej korzyści, nawet wbrew tobie, uczynię doskonalszym!”.

Przykład drugi: rośliny. Paracelsus zwykł wyjeżdżać na całe dni na wieś, gdzie, jak sam wspomina, zdobywał prawdziwą wiedzę medyczną. „W poszukiwaniu lekarstw pytaj starych bab, a nie uczonych”, mawiał. Stosowane przez wiejskie uzdrowicielki rośliny zrywał całymi garściami, wrzucał na wóz i zwoził do miasta, aby potem w swoim laboratorium pracownicy je ucierać, wyciskać, podgrzewać, spalać i – przede wszystkim – macerować w alkoholu. W ten sposób otrzymywał esencje: zagęszczone destylaty będące czasem lekarstwami, a czasem truciznami. Pewien arabski alchemik pysznił się, że potrafi wyciągnąć esencję nawet z cegły. Bywało też, że jeden i ten sam ekstrakt w małej dawce leczył, a w większej – zabijał. *Sola dosis facit venenum* – jedynie dawka czyni truciznę – mawiał Paracelsus, zasługując sobie na miano ojca współczesnej toksykologii.

Alchemicy, wiecznie w ruchu, podróżowali więc od jednego majątnego protektora do drugiego, targając ze sobą strzeżoną pilniej niż życie skrzynkę wypełnioną tajemnymi buteleczkami, dzięki którym



Słynny półmityczny bohater alchemii, Hermes Trismegistos, był, jak głosi jego imię, Po Trzykroć Wielki. Owe trzy powody do chwały to: alchemia, astrologia i teurgia... Po lewej symbole różokrzyżowców z XVII w., związanych z alchemią,

potrafili – a przynajmniej tak twierdzili – uśmierzyć ból dręczonego przez reumatyzm króla, sprowokować poronienie u księżnej, której rosnący brzuch mógłby wywołać skandal dworski, albo dyskretnie podtruc nieznośnego markiza, który już piąty rok z rzędu nie potrafi załapać aluzji, że jego roszczenia do władzy książęcej są co najmniej niestosowne.

Jak na górze, tak na dole

Przyzwyczajenie każe nam od razu myśleć o tej działalności jako o protofarmakologii – ot, w roztworze etanolu zostają rozpuszczone obecne w tkance roślinnej alkaloidy, które potem wywierają określony skutek fizjologiczny. Nawet jeśli taka jest „prawda materialna” stojąca za działalnością medyczną alchemików, nie taka jest rzeczywistość „prawda ich sztuki”. Substancje roślinne i mineralne są skuteczne, ponieważ ciało ludzkie składa się z tych samych elementów, co one. Makrokosmos ciała ludzkiego jest obrazem Makrokosmosu świata przyrody. Komunikacja ta rozciąga się nawet na świat ponadksiężycowy, zbudowany – za Arystotelesem – z materii zupełnie innej niż ta, z której ulepieni jesteśmy my sami. A jednak planeta Mars, wykonująca swój wyrafinowany, cichy taniec na nieboskłonach, w tajemniczy sposób komunikuje się z wszystkim na Ziemi, co żelazne, i co pożąda żelaziste

w smaku krwi, co więc ciąży ku rozlewowi krwi i wojnie, niszczycielskiej sztuce, której patronuje bóg Mars. Podobnie Merkury, najszybciej poruszająca się planeta, tchnie życie we wszystko, co ruchliwe, żywe i ochocze – jak przynależny tej planecie pierwiastek rtęć albo handel, któremu patronuje bóg Merkury.

Znajomość tych powiązań to alfabet alchemika. Substancje i rytuały mają sens i skuteczność tylko wtedy, jeśli dostrojone są do ruchów niebios i jeśli są stosowane z szacunkiem wobec mocy, które nie skończoność przekraczają człowieka. Jedynie, na co może liczyć istota ziemiska, to nieśmiałość, a i tak bluźniercze skłonienie tych wielkich mocy, aby mu sprzyjały. W „Odrzuconym obrazie” C.S. Lewis pięknie opisuje warstwy średniowiecznego Kosmosu – od padołu ziemskiego (i leżącego pod nim Podziemia), przez kolejne strefy planetarne, aż po gwiazdy stałe, sferę pierwszego ruchu i Boga. Energia i ruch płyną z góry w dół. Bóg najpierw porusza sferę *primum mobile* (ponieważ nie ma części, nie popycha jej fizycznie, tylko raczej porusza tak, jak kochanek porusza ukochaną, *kai eromenon*, jak pisał Arystoteles); ta wprawia w ruch gwiazdy, te oddziałują na taniec planet, te zaś kierują naszymi losami. Nie jesteśmy przy tym tylko marionetkami Kosmosu – komicznie byłoby przypuszczać, że Saturn zechciałby osobiście pochylić się ze swej idealnej kolistej sfery i babrać się w losach tych ubrudzonych od pyłu i prochu mięsistych robaczek, któ-

rymi są ludzie. Mamy pewną wolność i to dlatego, nawiasem mówiąc, Bóg ma prawo nas osądzać. A jednak powolne ruchy kosmicznego żarna są nieublagane i gdy zbliża się panowanie Marsa, lepiej gromadzić zboże i ostrzyć żelazo.

Słynny półmityczny bohater alchemii, Hermes Trismegistos, był, jak głosi jego imię, Po Trzykroć Wielki. Owe trzy powody do chwały to: alchemia, astrologia i teurgia, będące w istocie trzema obrazami tej samej działalności. Alchemia to manipulowanie substancjami dla własnej korzyści. Astrologia to wiedza o gwiazdach, która pozwala na zrozumienie i wykorzystanie ich wpływu. Teurgia to moc przywoływania bóstw – najbardziej bluźniercza z trójcy magicznych aktywności alchemika i zasadniczy powód, dla którego Kościół, choć korzystający prywatnie z usług alchemików, publicznie ich potępiał. Istnieje cienka granica pomiędzy dostrojeniem się do kosmicznego przepływu a przeciąganiem kołderki w swoją stronę. Alchemicy igrali właśnie na tej granicy.

Lot ku najwyższym zasadom

Pomyślmy, jak niebywałą władzę daje rozpoznanie opisanych wyżej powiązań. Poprzez kolejne procedury laboratoryjne otrzymywany jest destylat, który zawiera w skoncentrowanej formie nie tylko pewną substancję naturalną, jak moglibyśmy naiwnie przypuszczać, ale również i esen-

→ cję przynależnego jej wpływu kosmicznego. Ot, sam alkohol. Preferowany przez alchemików był destylat winny, a więc jak najczystszy alkohol uzyskiwany poprzez podgrzewanie wina, a następnie ochładzanie unoszących się z niego oparów. Dlaczego winny? Ano dlatego, że winogrona zamknięte w swoich soczystych wnętrzach odrobinę Słońca, którego światło pobudza je wszak do wzrostu. Czysty alkohol jest więc, jak mawiał Paracelsus, „skondensowanym światłem słonecznym”.

Zauważmy przy okazji, że alkohol uzyskany z wina powinien być czymś zupełnie innym niż ten otrzymany z, przykładowo, ziemniaków. Ziemniaki rosną pod ziemią, jakim sposobem więc otrzymany z nich destylat miałby przenosić w sobie pierwiastek Słońca?! Już prędzej Ziemi. W świecie, w którym nie analizuje się substancji poprzez ich budowę mikroskopową, lecz poprzez ich historię, kontekst i powiązania kosmiczne, takie rozróżnienie jest rzeczą naturalną. Językoznawca Benjamin Whorf opisywał, że w języku rdzennych Amerykanów z plemienia Hopi istnieją dwa osobne słowa na wodę: jednym (*pahe*) określa się „żywą” wodę płynącą, np. znajdującą się w strumieniu, a drugim (*keyi*) wodę „martwą”, wyjętą z łona rzeki, zamkniętą w naczyniu. Jest zrozumiałe samo przez się, że te dwie wody mogą mieć zupełnie inne zastosowanie czy efekty medyczne – to wszak dwie różne substancje.

Destylat winny jest więc tak potężnym środkiem wyciągania esencji, ponieważ zawiera w sobie esencję samego Słońca – jest więc „wodą życia”, *aqua vitae*, skąd pochodzi zresztą staropolskie określenie na gorzałkę: okowita. Wypicie alchemicznej esencji oznacza zatem wprowadzenie do swojego organizmu – składającego się również z najprzeróżniejszych elementów, płynów czy humorów – życiodajnego elementu Słońca. Słońce, dodajmy, jest „planetą” stowarzyszoną z elementem złota – pierwiastkiem niezmiennym, nierdzewującym, niekorodującym, a więc po prostu wiecznym. Wspominałem już, że dojrzwające w łonie Ziemi minerały stają się z każdym rokiem coraz bardziej doskonałe: otóż złoto jest już formą ostateczną, najbardziej doskonałą, która nie przemieni się w nic dalszego. Słynna alchemiczna obsesja na punkcie złota – oprócz aspektu czysto finansowego – oznacza więc tak naprawdę dążenie do wieczności i nieśmiertelności. Starożytni alchemicy chińscy uważali, że spożywanie płatków złota może wydłużyć życie; renesansowi alchemicy europejscy spoglądali już na to zagadnienie szerzej. Chodzi raczej o to, abyśmy w sensie meta-

Merkury, najszybciej
poruszająca się planeta,
tchnie życie we
wszystko, co ruchliwe,
żywe i ochocze
– jak przynależny tej
planecie pierwiastek
rtęć, albo handel,
któremu patronuje bóg
Merkury. Znajomość
tych powiązań to
alfabet alchemika.

fizycznym stawali się coraz doskonalsi, aż w końcu staniemy się złotem.

Ostatecznym wyrazem tej tendencji do doskonalenia był kamień filozoficzny, który tylko w najbardziej trywialnej interpretacji – tej, która miała skłonić niecierpliwych się królów do finansowania przedłużających się badań – oznaczał substancję zdolną do przemieniania prostych metali w złoto. Kamień filozoficzny dostarczał też zdrowia i nieśmiertelności, ale przecież i wiedzy; przenosił w czasie i przestrzeni; zapewniał ciepło i sytość. Pomyślmy o tym nieco inaczej: w długim łańcuchu procedur alchemicznych każda kolejna, coraz bardziej doskonała substancja miała coraz większą moc. Prosta roślina lecznicza mogła zostać przekształcona w potężny lek na ból stawów, a ostatecznie w lek całkowicie pokonujący artretyzm. Punktem końcowym tej procedury miała być najdoskonalsza substancja – coś, co potrafi zdziałać wszystko.

Wysubtelnianie materii to tylko jedna „nóżka” procesu po trzykroć wspaniałego. Procedury alchemiczne muszą dokonywać się w sprzyjającym momencie. Niemożliwe jest osiągnięcie doskonałości na ziemi, jeśli gwiazdy nie są w idealnym położeniu. Wreszcie – również dusza alchemika musi zostać doprowadzona do alchemicznej czystości, aby spełniła się trzecia doskonałość: aby z góry zstąpiła istota niebiańska, wlewając w człowieka trochę ze swojej boskości. Intelktualni i duchowi

następcy Hermesa Po Trzykroć Wielkiego, czyli wyznawcy hermetyzmu, interesowali się więc angelologią i demonologią. Aby nawiązać połączenie z mieszkańcami Sfer Niebiańskich, należy poznać ich zwyczaje. Alchemia łączy się bowiem organicznie z inną wielką, niewspomnianą na razie sztuką: magią.

Magia występuje w wielu odmianach i nietrudno znaleźć przykłady alchemików, którzy eksperymentowali z przywoływaniem istot demonicznych. Szczególnie interesujące są jednak związki alchemii z białą magią. Hermetycy, do których należeli też ojcowie założyciele renesansowego humanizmu, jak Marsilio Ficino (1433–1499) – pierwszy tłumacz dzieł Platona na łacinę, ale też redaktor zbioru tekstów hermetycznych, *„Corpus Hermeticum”* – byli często ludźmi głęboko wierzącymi i pobożnymi. Ficino był księdzem katolickim, a Giovanni Pico della Mirandola (1463–1494), autor „O godności człowieka”, określanego czasem jako „manifest renesansu”, studiował zarówno teologię chrześcijańską, jak i magię. Choć papież Innocenty VIII potępił Mirandolę, to przecież tylko 13 spośród jego słynnych „900 tez” uznał za heretyckie (to niezły wynik, zważywszy, że tenże sam Innocenty znalazłby niechybnie znacznie więcej tez heretyckich w obowiązującym dziś Katechizmie Kościoła Katolickiego). Hermetycy uważali, że w każdym z nas znajduje się pierwiastek boski, jednak jest on rozcieńczony skutkiem naszego upadku w kondycję człowieczą. Tym, do czego dążyli ówczesni humanistyczni alchemicy, było uzyskanie najwyższej dającej się osiągnąć doskonałości: w zakresie substancji materialnych, ale też ciała ludzkiego i duszy ludzkiej, co miało pozwolić im nawiązać, choćby na chwilę, komuniję z Najwyższymi Zasadami.

Chemia powstała dzięki skoncentrowaniu się na najbardziej przyziemnym aspekcie tego projektu – manipulowaniu substancjami – z perspektywy ilościowej, i tworzeniu matematycznych teorii opisujących zaobserwowane przemiany. Paradoksalnie właśnie ten najbardziej, jak pewnie uznaliby alchemicy, trywialny aspekt badań alchemicznych doprowadził do uzyskania władzy nad materią, a za nią również nad zdrowiem i życiem ludzkim, pozwalając nam ostatecznie dosięgnąć planet i gwiazd.

©
ŁUKASZ LAMZA

Autor jest doktorem filozofii, nauczycielem akademickim, tłumaczem i popularyzatorem nauki. Członek Centrum Kopernika, redaktor działu naukowego „Tygodnika Powszechnego”.

Ojciec założyciel

MARCIN ŁOBEJKO

Eksperyment Antoine’a Lavoisiera był kamieniem węgielnym chemii: obalili teorię flogistonu i pozwolili sformułować fundamentalne prawo zachowania masy.



Jacques-Louis David, Antoine-Laurent de Lavoisier i jego żona, chemik Marie-Anne Pierrette Paulze, 1788 r. →

Choć ogień towarzyszy ludziom od setek tysięcy lat, dopiero nieco ponad 200 lat temu zrozumieliśmy, na czym polega proces spalania. Główna w tym zasługa Antoine'a-Laurenta de Lavoisiera, nazywanego ojcem współczesnej chemii.

Kiedy w drugiej połowie XVIII w. Lavoisier rozpoczynał badania nad naturą procesu spalania, wiedza chemiczna była bardzo uboga. Był to czas, kiedy z tradycji alchemicznej w bólach rodziła się chemia w dzisiejszym rozumieniu, czyli nauka przyrodnicza oparta na metodzie empirycznej. Wiele dzisiaj nam znanych oczywistości było wówczas nie do pomyślenia.

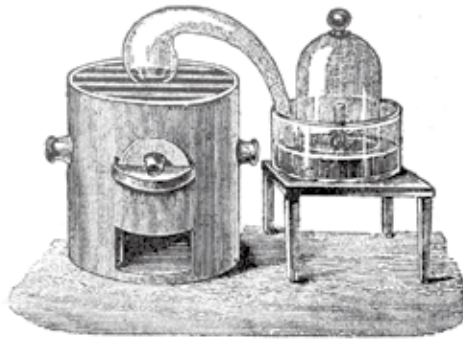
Każdy gaz nazywano powietrzem – nie istniały bowiem adekwatne metody, aby empirycznie gazy badać. Trudno się dziwić, skoro znane nam dzisiaj tlen, azot, hel, dwutlenek węgla czy argon są tak samo bezwonne oraz przezroczyste, a więc w istocie nieuchwytnie dla zmysłów. Innym popularnym poglądem ówczesnych (al)chemików była tzw. teoria flogistonu.

Substancja o ujemnej masie

Flogiston (od greckiego *flogistós* – spalony) miał być substancją, którą zawiera każde ciało palne. Szczególnie dużo flogistonu miały zawierać siarka, fosfor, węgiel i wódór. Spalając się, substancje te miały wydzielać flogiston. Ponieważ dla zwolenników tej teorii było jasne, że proces spalania jest szczególnie efektywny w obecności powietrza, uważano, że powietrze posiada zdolność do pochłaniania flogistonu (choć nie jest jedyną taką substancją).

Ważną przemianą chemiczną, która zachodzi bez udziału powietrza, jest „zamiana” rudy w metal. Proces ten polega na prażeniu rudy z dodatkiem węgla, które prowadzi do otrzymania płynnego metalu. Metoda ta znana jest ludzkości już od epoki brązu, jednak dopiero w XVII w. podjęto próby opisu tego zjawiska. Zgodnie z teorią flogistonu, jeśli zmiesza się węgiel z rudą żelaza, to w czasie prażenia flogiston przejdzie z węgla do rudy i ta ulegnie przemianie w metal – zatem metal to w istocie ruda oraz flogiston. Prażenie rudy musi się odbyć bez dostępu powietrza, które pochłonięłoby cały flogiston uwalniany z węgla – ruda nie mogłaby wówczas zamienić się w metal.

Ta prosta teoria natrafiała jednak na pewne problemy. Jeśli flogiston ma być „normalną” substancją, czyli taką jak metal czy ruda, to również, jak każda materia, powinien być obdarzony masą. Z równa-



Aparatura wykorzystana w eksperymencie

nia: metal = flogiston + ruda wynika więc, że metal powinien mieć większą masę niż sama ruda przed przemianą. Doświadczenie pokazuje jednak, że metal jest lżejszy. Przykład ten unaocznia, jak w bólach rodzi się teoria naukowa. Nawet najpiękniejsze i najprostsze hipotezy naukowe są zawsze tylko hipotezami, dopóki nie przejdą weryfikacji eksperymentalnej.

To zderzenie z rzeczywistością nie odwiodło wyznawców flogistonu od obowiązującej teorii – wystarczyło tylko założyć, że flogiston ma masę ujemną i teoria nadal będzie zgodna z doświadczeniem! Ten proces wynaturzania obowiązującej teorii wielokrotnie przewijał się w dziejach nauki. Na szczęście nie może on trwać wiecznie. Prędzej czy później na scenie zawsze pojawia się ktoś z całkowicie nowym eksperymentem i mówi: „sprawdzam!”. Tym kimś w naszej opowieści jest właśnie Antoine Lavoisier.

Odflogistonowane powietrze

Eksperyment Lavoisiera, który obalił teorię flogistonu, rozpoczyna się od informacji przekazanej mu w 1774 r. przez Josepha Priestleya, angielskiego chemika i duchownego, który stwierdził, że w wyniku rozkładu substancji dzisiaj znanej jako tlenek rtęci otrzymał nowy rodzaj powietrza. Ten nowy gaz Priestley określił jako „odflogistonowane powietrze”, czyli powietrze, które jest szczególnie zdolne do wyciągania flogistonu z innych substancji. Lavoisier postanowił w swoim eksperymencie wykorzystać czystą rtęć umieszczoną w dużym szklanym naczyniu (retorcie), które następnie podgrzewał nad piecem. Z retorty wystawała długa rurka, wyprowadzona do innego naczynia, które będziemy nazywać kloszem. Klosz ten był wypełniony powietrzem i zanurzony do góry dnem w wanience również wypełnionej rtęcią. Kluczowym elementem tak zaprojektowanego doświadczenia była izolacja gazów

obecnych pod kloszem i w retorcie od gazów w środowisku zewnętrznym. Lavoisier rozpoczyna swój eksperyment przez rozpalenie ognia w piecu w celu ogrzewania rtęci w retorcie. Piec ten będzie tak grzał przez następne dwanaście dni.

Po pierwszym dniu eksperymentu Lavoisier nie dostrzega nic szczególnego. Zgodnie z przewidywaniem rtęć w retorcie pod wpływem temperatury z pieca delikatnie paruje, tym samym jej opary trafiają do drugiego naczynia pod kloszem. Drugiego dnia zaczęło się już coś dziać. Na tafli rtęci w wanience pod kloszem pojawiły się drobne czerwone plamki, których liczba i wielkość wzrastała w ciągu kolejnych pięciu dni. Powstające „znikąd” czerwone plamki są oczywiście oznaką, że doszło do jakiejś przemiany chemicznej. W istocie plamki te były tlenkiem rtęci, za pomocą którego wcześniej Priestley (w reakcji odwrotnej) otrzymał ów „nowy rodzaj powietrza”. Oczywiście w czasach Lavoisiera nie wiadano, na czym polega reakcja chemiczna, którą dzisiaj rozumiemy jako łączenie lub oddzielanie się od siebie atomów różnych pierwiastków. Dla Lavoisiera i współczesnych mu uczonych nie było jasne, czy takie czerwone plamki, które pojawiają się nad taflą rtęci, powstają na skutek transformacji samej rtęci, czy tworzą się z niczego, a rtęć i ciepło są tylko swoistym katalizatorem w tym akcie stworzenia.

Pytania o prawdziwą naturę tego zjawiska mogłyby jeszcze długo pozostać bez odpowiedzi, gdyby nie to, że eksperyment Lavoisiera w tym miejscu jeszcze się nie skończył. Po dwunastu dniach prażenia francuski chemik ożebił całą aparaturę (gazy wewnątrz nadal były izolowane) i zaobserwował, że pod kloszem rtęć została wessana do góry o jedną piątą wysokości klosza, co było równoważne z tym, że jedna piąta gazu pod kloszem po prostu zniknęła! Lavoisier wykonał podstawową analizę gazu, który pozostał pod kloszem. Okazało się, że gaz ten nie podtrzymuje palenia (w przeciwieństwie do powietrza atmosferycznego), dlatego Lavoisier nazwał go azotem, od greckiego *azotikós* – niepodtrzymujący życia, nieżywy. Następnie odważył 45 granów (czyli ok. 2,92 gramów) czerwonego proszku (otrzymanego w pierwszym eksperymencie) i ogrzewał w małej retorcie połączonej z odbieralnikami i urządzeniem do zbierania gazu. Tym razem eksperyment trwał o wiele krócej, ponieważ już po kilku minutach czerwony proszek zniknął, w odbieralniku skropliło się 41,5 granów rtęci, a w cylindrze zebrało się 7-8 cali sześciennych gazu. W przeciwieństwie do wcześniej otrzymana-

DOMENA PUBLICZNA

Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
Lumière.....	Lumière.
Calorique.....	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu.
Oxygène.....	Matière du feu & de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital.
Azote.....	Gaz phlogistiqué. Mofete. Bafe de la mofete.
Hydrogène.....	Gaz inflammable. Bafe du gaz inflammable.
Soufre.....	Soufre.
Phosphore.....	Phosphore.
Carbone.....	

nego azotu ten gaz był przydatny do oddychania i dobrze podtrzymywał proces palenia. W dalszych eksperymentach Lavoisier wysnuwa również hipotezę, że jest to składnik obecny we wszystkich kwasach.

Prawo zachowania masy

Wnioski, które płyną z eksperymentów Lavoisiera, obalają teorię flogistonu. Pierwszy eksperyment wskazuje na to, że czerwone plamy tworzące się na powierzchni tafli rtęci powstają na skutek łączenia się oparów czystej rtęci z pewnym gazem obecnym pod kloszem, którego jedna piąta objętości ubywa w trakcie eksperymentu. Drugi eksperyment, odwrotnie, pokazuje, że czerwony proszek można zamienić z powrotem na rtęć i ten gaz. Priestley wcześniej nazwał go „odflogistonowanym powietrzem” – w obrębie teorii flogistonu reakcje te polegały na oddawaniu i przyjmowaniu flogistonu (rtęć oddaje flogiston do powietrza i zamienia się w czerwony proszek – tlenek rtęci, w drugiej to powietrze oddaje flogiston, stając się „odflogistonowanym”, i zamienia proszek w metaliczną rtęć).

Przełomowe w eksperymencie Lavoisiera było przeprowadzenie powyższych reakcji w izolowanym środowisku. Francuski badacz pokazał, że w pierwszej reakcji pewna część gazu znika, natomiast w drugiej rzeczywiście pewien gaz się tworzy, czego nie dałoby się zaobserwować, przeprowadzając reakcję w środowisku otwartym („na powietrzu”). Zwolennicy teorii flogistonu już wcześniej zdawali sobie sprawę z niezgodnego bilansu masyowego i dlatego wprowadzili koncepcję ujemnej masy flogistonu. Jednakże eksperyment Lavoisiera pokazał ponadto ubytek lub wzrost objętości, co wymuszało by wprowadzenie ujemnej objętości flogistonu i było już zupełnie nie do pomy-

ślenia. Lavoisier odrzuca więc pojęcie flogistonu, a „odflogistonowanego powietrza” nadaje nową nazwę – *oxygenium*, od greckich wyrazów *oxys* – kwaśny i *gemmao* – rodzą. Polskie tłumaczenie brzmi „kwasoród” i tak też nazwał go Jędrzej Śniadecki w pierwszym podręczniku do chemii po polsku, jednak później jego uczeń Jan Oczapowski zmienia tę nazwę na dobrze znany nam tlen.

W nowym spojrzeniu Lavoisiera mamy więc reakcje: tlen + rtęć → tlenek rtęci, natomiast nie jak dawniej: rtęć – flogiston → tlenek rtęci. Dzisiaj reakcja ta jest fundamentalnym przykładem reakcji syntezy. W drugim eksperymencie dokonuje się zaś typowa reakcja rozkładu (odwrotna do syntezy): tlenek rtęci → tlen + rtęć. Poza techniką izolowania reakcji chemicznej Lavoisier jako pierwszy wprowadził ilościowy pomiar w swojej metodzie. Mierzył, ile gazu zniknęło i ile się pojawiło, jaka była waga proszku poddawanego rozkładowi oraz jaka była waga i objętość produktów, które powstawały. Jego reakcje syntezy i rozkładu zostały powszechnie zaakceptowane jako prawdziwe nie tylko dlatego, że były zgodne ze zdrowym rozsądkiem (nie trzeba się było w nich odwoływać do absurdalnych pojęć, takich jak ujemna objętość), ale również dlatego, że empirycznie zostały potwierdzone stosunki masowe i objętościowe. Jeśli bowiem reakcje chemiczne rzeczywiście mają polegać na łączeniu się i rozpadaniu poszczególnych substancji, a nie pojawianiu się czegoś znikąd albo znikaniu, to masa wszystkich produktów reakcji musi być równa masie substratów, czyli bilans masy musi zostać zachowany. Lavoisier w swoich reakcjach rozkładu i syntezy stwierdził, że zawsze ta sama ilość tlenku rtęci, która powstaje z połączenia danej ilości rtęci i tlenu, później, w reakcji odwrotnej, taką samą masę produktów odtwarza. Tym samym sformułował (i potwierdził

LISTA PIERWIASTKÓW LAVOISIERA.

Druga pozycja to ciepłik. Na pierwszej znajduje się światło (nazwane przez Śniadeckiego świetlikiem). Na trzeciej i czwartej pozycji widnieją tlen i azot, odkryte w najstawniejszym doświadczeniu Lavoisiera.

Kariera ciepłika

Nie istniał jednak w historii naukowców, który we wszystkim miałby rację. Lavoisier miał błędne poglądy na istotę ciepła, które odgrywało kluczową rolę również w opisanych wyżej reakcjach syntezy i rozkładu (nie zaszyłyby one bez nagrzewającej mocy pieców). Podobnie jak poprzednicy, Lavoisier zakładał, że ciepło jest substancją, taką samą jak rtęć czy tlen, nazywaną wtedy ciepłikiem, który włącza do swojej listy pierwiastków podstawowych. W książce „Prawda i mity w fizyce” Andrzeja K. Wróblewski zauważa, że „koniec flogistonu to jednocześnie początek największej sławy fluidu ciepła. Lavoisier wyprzedził z chemii flogiston, ale niemal jednocześnie nobilitował fluid ciepła – ciepłik – na czołowym miejscu wśród pierwiastków chemicznych”.

Pogląd ten utrzyma się do poł. XIX w., kiedy to przeważająca część danych eksperymentalnych pokaże, że ciepłik nie jest wielkością zachowaną i może być produkowany praktycznie bez końca w pewnych układach fizycznych, co odróżnia go od standardowej materii. W końcu okazało się, że ciepło jest po prostu formą przekazywania energii, a nie materią obdarzoną masą. Ciekawe jednak, że na podstawie błędnego obrazu rzeczywistości nadal z powodzeniem można formułować owocne teorie. Tak właśnie było w przypadku ciepłika, na którym opiera się praca innego francuskiego inżyniera i fizyka – Nicolasa Léonarda Sadiego Carnota na temat silników cieplnych. Praca Carnota była tak samo rewolucyjna jak eksperymenty Lavoisiera. To właśnie za sprawą jego rozważań powstanie druga zasada termodynamiki, która w sposób ilościowy ujmuje nieodwracalność (kierunkowość) procesów w naturze. Dzisiaj zasada ta wymieniana jest nie tylko w fizyce i chemii, ale także biologii, kosmologii, geologii i wielu innych dziedzinach nauki. Znamienne, że tak genialna praca mogła powstać na bazie błędnego poglądu na naturę ciepła. ©

MARCIN ŁOBEJKO

Autor jest fizykiem i popularyzatorem nauki, specjalizuje się w mechanice kwantowej. Doktorant na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach.

Wiedza o materii

TEKST ŁUKASZ LAMŻA, MIROSLAW DANCH
INFOGRAFIKA LECH MAZURCZYK

W nowożytności chemia przeszła długą drogę od jakościowych, alchemicznych teorii opartych na metafizycznych założeniach do zmatematyzowanej dziedziny zainteresowanej ilościowymi cechami substancji i ich przemian.

1661

Robert Boyle publikuje „*The Sceptical Chymist*”, uznawane za „dzieło założycielskie” nowej dyscypliny. Ma ono formę dialogu między pięcioma przyjaciółmi, z których Karneades – *alter ego* Boyle’a – stwierdza na początku: „Nie jest całkiem absurdalne przyjąć, że [materia] podzielona jest w istocie na maleńkie cząsteczki o różnych rozmiarach i kształtach”. Zaiste, nie jest to całkiem absurdalne.

1770

Joseph Priestley – teolog i duchowny protestancki oraz chemik hobbysta – opisuje metodę wytwarzania mieszaniny wody i dwutlenku węgla, czyli **wody sodowej**. Odkrywa też tlen.

1783

Henry Cavendish otrzymuje wodę w reakcji spalania wodoru: pokazując, że nie jest ona fundamentalnym żywiołem („elementem”) natury; kilka lat wcześniej, w 1775 roku, **Antoine Lavoisier** (zob. str. 7) wykazał, że **postrze nie jest pierwiastkiem**. Badania te przyczyniły się do **upadku teorii żywiołów** i wykazały, że przemiany chemiczne mogą prowadzić do powstawania związków pod żadnym względem niepodobnych do substancji wyjściowych, wbrew fundamentalnym zasadom alchemii.

1808

John Dalton przedstawia **teorię atomową budowy materii** w traktacie „*A New System of Chemical Philosophy*”. Dzięki żmudnemu ważeniu związków chemicznych przed i po zachodzeniu reakcji Dalton ustalił, że różne pierwiastki łączą się ze sobą w stałych proporcjach, dających się wyrazić przez niewielkie liczby całkowite. Wynioskował stąd, że każdy związek składa się z maleńkich jednostek każdego z pierwiastków – atomów – które łączą się z innymi atomami w stałych proporcjach, a nie z nieskończenie podzielnej materii.

1814

Joseph von Fraunhofer, badając wykonane przez siebie przyrządy, dolicza się w widmie światła słonecznego aż 600 czarnych prążków i odnotowuje ich dokładne rozmieszczenie. Dzięki temu odkryciu zostanie później nazwany ojcem nauki o oddziaływaniu światła i materii, zwanej dzisiaj **spektroskopią**, która na wiele lat stanie się podstawową metodą wykrywania nowych pierwiastków, a współcześnie – nowych związków. Badania widma promieniowania słonecznego i wykrycie w nim śladu po pierwiastkach występujących na Ziemi (a w atmosferze ziemskiej gazowego helu, który miał być „gazem Stońca”; stąd jego nazwa) obaliły arystotelesowską teorię, że Ziemia i „niebiosy” zbudowane są z różnych typów materii.

1828

Friedrich Wöhler dokonuje syntezy mocznika (substancji organicznej) z cyjanianu amonu (wówczas uważanego za związek nieorganiczny), **podważając doktrynę witalizmu**, według której do powstania materii ożywionej potrzebna jest specjalna „siła życiowa” (*vis vitalis*), a substancje organiczne mogą powstawać wyłącznie w żywych organizmach. Wöhler pokazał, że organizmy żywe składają się ze związków, które można uzyskać z materii nieożywionej, co stało się motorem do odtwarzania w laboratorium „chemii życia”.

ok. 1835

Louis Daguerre odkrywa, że niektóre związki srebra wykazują się wielką czułością na światło – jego doświadczenia doprowadziły do powstania nowoczesnej **fotografii**.

1849

Ascanio Sobrero ogłasza odkrycie **nitrogliceryny**. W rzeczywistości wyizolował ją rok wcześniej, ale – przerażony mocą tej substancji – utrzymywał ją w tajemnicy. Jego kolegą ze studiów był Alfred Nobel.

1852

Ignacy Łukasiewicz dokonuje pierwszej **destylacji ropy naftowej**, stając się pionierem **petrochemii**. Oprócz oczywistego znaczenia tego kroku dla energetyki, produkty destylacji ropy naftowej są współcześnie punktem wyjścia w wielu ścieżkach syntezy chemicznej: od lekarstw po tworzywa sztuczne.

1858

Archibald Scott Couper publikuje jedną ze swych prac na temat **wiązań chemicznych**, używając powszechnej dziś konwencji, aby przedstawiać je jako kreski łączące litery symbolizujące atomy. Większość z nas do dziś tak sobie wyobraża związki chemiczne.

1865

Rudolf Clausius po raz pierwszy używa terminu „**entropia**” i podaje jego interpretację matematyczną. Entropia pełni dziś kluczową rolę w chemii, fizyce, a nawet kosmologii. W zbliżonym czasie wylania się nowoczesna termodynamika, czyli nauka o przemianach ciepła, pracy, energii, a także – w szerszym sensie – o porządku i chaosie w świecie.

1869

Dmitrij Mendelejew publikuje swój **układ okresowy pierwiastków** (zob. str. 20). Choć wielu chemików przed nim, zwłaszcza **Julius Meyer**, opisywało porządek we właściwościach pierwiastków, Mendelejew jako pierwszy pozostawił luki na „brakujące” pierwiastki, które dopiero czekały na odkrycie. Dzięki tej metodzie możliwe stało się przewidywanie masy i właściwości nieznanymi pierwiastków.

1883

Karol Olszewski i Zygmunt Wróblewski, pionierzy badań nad skrajnie niskimi temperaturami, jako pierwsi **skraplają tlen i azot**;

rok później: **argon**. Gdy już się posiada tak rewolucyjną technikę, odkrycia przychodzą same. Dwa lata później Wróblewski jako pierwszy na świecie dokona przemiany, że wodór przechodzi do stanu płynnego, choć dopiero w temperaturze zaledwie 33 kelwinów. W 1898 roku potwierdzi to eksperymentalnie James Dewar.

Jak powstają związki

MIROSLAW DWORNICZAK

Wiązanie to kluczowe pojęcie chemii. Kiedyś rozumiane intuicyjnie, dziś modelowane matematycznie, pozwala na zrozumienie struktury cząsteczek i ich reaktywności.

Niewiele wiemy o Leucypie, greckim myślicielu z V w. p.n.e. Nie wiadomo, gdzie się urodził – prawdopodobnie w Abderze lub w Milecie. Większość informacji o jego poglądach pochodzi od najsłynniejszego ucznia – Demokryta. Historycy nauki uznają jednak, że to właśnie Leucyp jako pierwszy głosił, że wszystko na świecie składa się z trwałych i niepodzielnych cząstek – atomów – oraz próżni. Koncepcję Leucypa rozwinął Demokryt, który jako pierwszy wspominał, że atomy mogą się wiązać. Na przykład komentując fakt, że żelazo jest twarde, głosił, iż atomy są tam ściśle połączone z sobą swoistymi haczykami. Atomy wody miały według niego być gładkie i śliskie, natomiast atomy soli spiczaste (skąd miał się brać ostry smak soli). Koncepcja Leucypa i Demokryta mówiła o czysto mechanicznych oddziaływaniach między atomami, w czym oczywiście nie ma niczego dziwnego – brakowało wówczas metod badawczych umożliwiających wgląd w świat mikro.

Kilkaset lat później Lukrecjusz, rzymski poeta i filozof z I w. p.n.e., w swoim poemacie „*De rerum natura*” („O naturze wszechrzeczy”) klarownie wyjaśnił ówczesne poglądy na temat atomów. Jednocześnie podkreślał, że istnieje wiele rodzajów atomów, a wszystkie mogą tworzyć związania (typu haczyk-ucho), które determinują właściwości materii.

W czasie, gdy w Grecji swoje poglądy głosił Leucyp, w Indiach powstawała szkoła filozoficzna wajsieszika. Jednym z jej najważniejszych uczonych był myśliciel Kanada Kaśjapa, zwany Uluka (Sowa). W koncepcji atomizmu wajsieszika najmniejsze dostrzegalne cząstki tworzące materię (*trasareṇu*) były skonstruowane z trzech części (*tryaṇukas*), a każda z nich ponownie mogła być podzielona na dwie części (*dvyanuka*). Najmniejsza część, już niepodzielna, nosiła nazwę *paramānu* – to właśnie był hinduski atom, który uznawano za wieczny. Podobnie jak w nauce greckiej, uznawano tam, że oddziaływania między atomami wynikają z ich zderzeń,

a wiązania między nimi wynikają z przyciągania się przeciwieństw. Uznawano istnienie dwóch rodzajów atomów – gładkich i „dodatnich” (*snigdha*) oraz chropowatych i „negatywnych” (*ruksha*). Moglibyśmy się tutaj doszukiwać podobieństw do znanego nam wiązania jonowego, które opisuje się dziś jako przyciąganie pomiędzy obiektami o przeciwnym ładunku.

Poglądy uczonych greckich, rzymskich i hinduskich przetrwały bez większych zmian przez ponad półtora tysiąca lat. W tym czasie rozwijała się alchemia, łącząca eksperymenty z mistycyzmem i astrologią.

Droga do wartościowości

W 1661 r. ukazała się jedna z najważniejszych książek naukowych, „*The Sceptical Chymist*”. Jej autor, filozof przyrody, chemik i fizyk, ale też przez długie lata alchemik Robert Boyle, odrzucił w niej wszelkie elementy ezoteryczne, pozostawiając w nauce chemii tylko to, co można było sprawdzić eksperymentalnie. Jednak alchemia jeszcze dość długi czas nie dawała za wygraną. Nawet jeden z najwybitniejszych umysłów tamtych czasów, Izaak Newton, obok klasycznych doświadczeń naukowych parał się alchemią.

Newton w swoich pracach odnosił się też do wiązań chemicznych, choć nie określał ich natury. Pisał: „Cząstki przyciągają się wzajemnie jakąś siłą, która w bezpośrednim kontakcie jest bardzo duża, w niewielkich odległościach pozwala na zachodzenie reakcji chemicznych, natomiast nie sięga ona daleko od cząstek”. Trzeba przyznać, że była to całkiem rozsądna koncepcja, pasująca do naszej współczesnej wiedzy o wiązaniach.

Badania nad istotą wiązań chemicznych są ściśle związane z rozwojem koncepcji atomistycznych. Pod koniec XVIII w. Francuz Joseph Proust sformułował prawo stałości składu. Głosi ono, że każdy związek, niezależnie od sposobu jego otrzymania, ma zawsze taki sam skład pierwiastkowy (lub

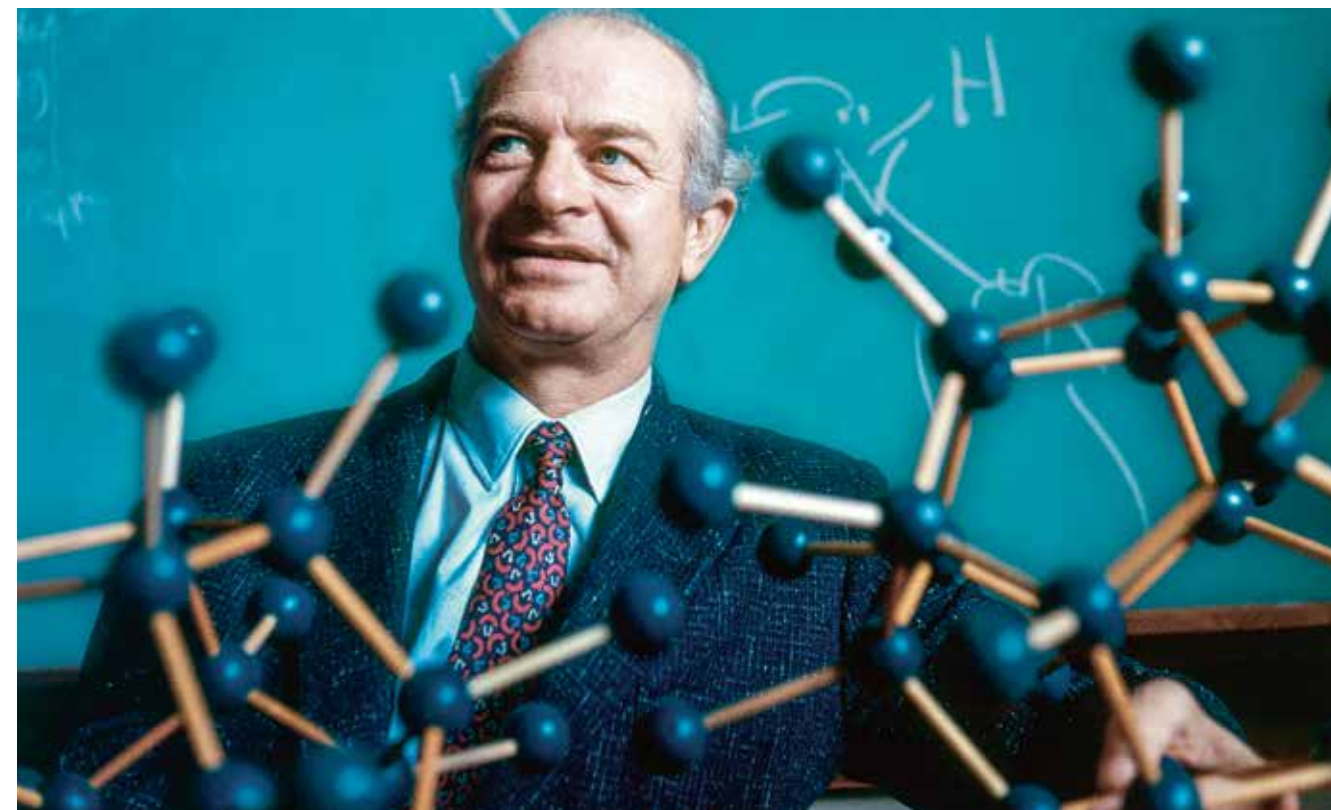
inaczej: atomy poszczególnych pierwiastków mają takie same masy, a w danej substancji na daną ilość masy/liczbę atomów jednego pierwiastka przypada stała ilość masy/liczba atomów drugiego pierwiastka).

Ustalenia Prousta pozwoliły Johnowi Daltonowi na sformułowanie na początku XIX w. prawa stosunków wielokrotnych, które określa, w jakich proporcjach łączą się z sobą atomy tych pierwiastków, które mogą tworzyć razem więcej niż jeden związek.

W tym samym czasie w Szwecji swoje prace prowadził Jöns Jacob Berzelius. Wprowadził notację chemiczną, podobną do tej, której używamy dziś, choć krotkość zapisywał w indeksie górnym („nasze” H₂O w jego notacji to H²O). Berzelius jako pierwszy odszedł od koncepcji czysto mechanicznych wiązań między atomami. Uważał, że wszystkie wiązania między atomami wynikają z klasycznego przyciągania elektrostatycznego. Intuicyjnie określił ładunek takich atomów jak tlen czy chlor jako ujemny, a sodu oraz wapnia jako dodatni. Uczciwie jednak przyznawał, że ta hipoteza nie wyjaśnia istnienia takich związków jak np. SO₂.

Dużym krokiem na drodze do pełnego rozumienia wiązań chemicznych było wprowadzenie pojęcia wartościowości. Z wdzięczamy je brytyjskiemu chemikowi, Edwardowi Franklandowi. To on w 1852 r. napisał, iż każdy pierwiastek ma określoną „zdolność nasycenia”, które determinuje to, z iloma atomami innego pierwiastka może się łączyć. Koncepcja Franklanda została uznana w 2015 r. przez Amerykańskie Towarzystwo Chemiczne za jedno z przełomowych odkryć w chemii.

Dziś wartościowość pierwiastka rozumiana jest już przez pryzmat mechaniki kwantowej (o której za chwilę) – z grubsza: jako liczba elektronów dzieląca dany atom czy jon od „idealnej”, szczególnie trwałej konfiguracji. Czasem danemu atomowi „brakuje” na przykład dwóch elektronów, aby osiągnąć tego typu preferowaną konfigurację (w takiej sytuacji jest choćby tlen, O) – chętnie więc stowarzyszy się on



Linus Pauling (1901–1994). Jego prace w dziedzinie chemii kwantowej doprowadziły do zmiany rozumienia tego, czym są wiązania chemiczne.

np. z dwoma innymi atomami, z których każdy pozbędzie się z kolei chętnie jednego swojego elektronu (tak z kolei zachowuje się wodór, H). Tlen będzie więc „szukał” dwójki partnerów do wiązania chemicznego, jest więc pierwiastkiem dwuwartościowym. Gdy partnerami tymi będą jednowartościowe atomy wodoru, powstanie cząstka wody, H₂O.

Bez XX-wiecznej fizyki wyjaśnić tego zjawiska nie sposób – pionierzy chemii musieli więc posługiwać się wyobrażeniami, jakie były wówczas dostępne. Dodajmy, że wartościowość przestała być dziś fundamentalnym pojęciem fizyki, gdy okazało się, że są problemy z jej precyzyjnym zdefiniowaniem. To właśnie jednak to pojęcie zainspirowało Ludwika Boltzmann'a do przedstawienia koncepcji, zgodnie z którą „w każdym atomie znajdują się »obszary wrażliwe«, a w chwili, gdy takie obszary sąsiadujących atomów stykają się lub nakładają, tworzy się między nimi oddziaływanie. Mówimy wtedy, że są one ze sobą związane chemicznie”. Dziś koncepcja Boltzmann'a odżyła w tym, co znamy pod nazwą orbitali atomowych.

Nowoczesne ujęcia

Na przełomie XIX i XX w. udowodniono w końcu nie tylko istnienie atomu, ale też wiadano już, że jego istotnymi elemen-

tami są elektrony. Na początku pierwszej dekady XX w. amerykański fizykochemik Gilbert N. Lewis, opierając się m.in. na wcześniejszych pracach Franklanda i Boltzmann'a, opracował oryginalny model sześciennego atomu, znany dziś pod nazwą modelu Lewisa. Elektrony były w nim rozmieszczone na powłokach o kształcie sześcianu, a dokładniej – w jego wierzchołkach. Zgodnie z postulatami Lewisa na takiej powłoce może się znajdować od 0 do 8 elektronów, a atom dąży do tego, aby mieć na powłoce parzystą liczbę elektronów, najlepiej osiem (zgodnie z proponowaną już wcześniej regułą oktetu). Koncepcja ta zakładała też, że powłoki, na których znajdują się elektrony, mogą się łączyć i przenikać, a wiązanie za każdym razem wymaga obecności pary elektronów. Dziś tego typu wiązanie znamy pod nazwą wiązania kowalencyjnego.

Wspomniane już wyżej wiązanie jonowe zgodnie z modelem Lewisa powstawało wtedy, gdy jeden z atomów przekazywał swój elektron do powłoki walencyjnej drugiego atomu. W tym procesie oba powstające indywidua chemiczne – jony – zyskiwały na powłoce walencyjnej strukturę oktetu. W tym przypadku powłoki walencyjne nie przenikają się, a jony są ze sobą związane klasyczną siłą elektrostatyczną. Uczony zdawał sobie sprawę, że jego model jest niekompletny, ponieważ nie wyjaśniał zachowania pierwiastków spoza

grup głównych. Tym niemniej sztandarowa publikacja z 1916 r., zatytułowana „Atom i cząsteczka”, stała się podstawą dalszych prac nad teorią wiązania chemicznego.

To właśnie Lewis wymyślił specjalny sposób notacji, czyli tzw. strukturę punktową, w której każdy elektron z powłoki walencyjnej oznacza się za pomocą kropki, a para kropek może tworzyć wiązanie chemiczne. Ten prosty i bardzo pożyteczny system notacji bywa stosowany do dziś. Lewis jest także autorem elektronowej teorii kwasów i zasad, to on także wyprodukował jako pierwszy ciężką wodę (D₂O). Pomimo tak wielu dokonań i 17 nominacji do Nagrody Nobla w latach 1922-46, nie został jej laureatem.

Chemia kwantowa

Niemal równoległe z pracami Lewisa duński uczony Niels Bohr pracował nad modelem atomu, który zawierał w sobie powłoki elektronowe podobne (ideowo, nie geometrycznie) do tych proponowanych przez Lewisa. Wszystkie uległo zdecydowanemu przyspieszeniu, ponieważ jednocześnie rozwijana była mechanika kwantowa, która miała w krótkim czasie zrewolucjonizować nauki ścisłe. W 1926 r. Austriak Erwin Schrödinger zaprezentował swoje słynne →

→ równanie falowe, pozwalające na opisanie układu kwantowego. Stało się ono bardzo szybko podstawowym narzędziem chemików-teoretyków. Równoległe swoją teorię, nazwaną mechaniką macierzową, rozwił Werner Heisenberg wraz z Maksym Bornem i Pascuałem Jordanem. Nieco później okazało się, że obie te koncepcje są tak naprawdę tylko dwoma różnymi opisami dokładnie tego samego.

W 1927 r. dwaj niemieccy uczeni – Heitler i London, bazując na koncepcji Schrödingera, zastosowali równanie falowe do formalnego opisu najprostszego wiązania kowalencyjnego, występującego w cząsteczce wodoru H_2 . Uzyskane przez nich rezultaty idealnie pasowały do wyników doświadczalnych, co było olbrzymim triumfem teorii kwantowej. Zgodnie z tzw. kopenhaską interpretacją funkcja falowa dla danego układu opisuje stan wiedzy o układzie kwantowym, a więc także to wszystko, co dotyczy rozmieszczenia elektronów (dokładniej mówiąc: opisuje gęstość elektronową, tzn. rozkład prawdopodobieństwa, z jakim w chwili pomiaru elektron znajdzie się w danym miejscu). W praktyce oznacza to, że o elektronie nie możemy już myśleć jako o „kropce” Lewisa – stąd obrazowe rozumienie tej cząstki jako „chmury” elektronowej.

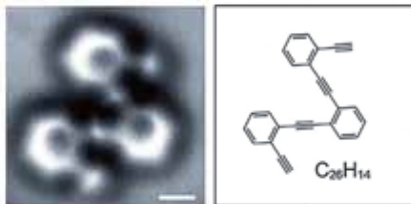
W 1939 r. Linus Pauling wydał dedykowaną Lewisowi książkę „Natura wiązania chemicznego”, którą bardzo szybko okrzyknięto najbardziej wpływową pozycją w dziedzinie chemii. Pauling na trwałe wprowadził do opisu wiązań chemicznych idee wywodzące się z mechaniki kwantowej. Bazując na wcześniejszych zastosowaniach fizyki kwantowej do opisu małych cząsteczek, opracował obowiązującą do dziś ogólną teorię wiązań, już nie klasyczną, a w pełni kwantową. Pozwoliło to między innymi na wyjaśnienie niezwyklej stabilności tzw. związków aromatycznych, w których elektrony tworzą typowo kwantową, „zdelokalizowaną” chmurę, stabilizującą cząsteczkę.

Imieniem Paulinga nazwano też empiryczną skalę elektroujemności, którą wprowadził, aby w prosty sposób można było oszacować charakter wiązania chemicznego między dwoma atomami. Elektroujemność jest miarą tendencji atomów danego pierwiastka do przyciągania elektronów. Im większa jest różnica elektroujemności między dwoma atomami, tym bardziej jonowy jest charakter wiązania. Jeśli pomiędzy atomami nie występuje różnica elektroujemności, wiązanie ma charakter kowalencyjny (różnica między jednym i drugim nie jest całkowicie ostra).

Typy wiązań

Prostym przykładem **WIĄZANIA JONOWEGO** jest oddziaływanie między sodem (Na) i chlorem (Cl) w swojej soli kuchennej (NaCl). Neutralny początkowo atom sodu (Na) oddaje jeden (ujemnie naładowany) elektron, stając się tym samym obiektem o pojedynczym ładunku dodatnim (jonem Na^+), zaś również neutralny początkowo atom chloru, który przyjmuje od sodu ów elektron, staje się tym samym obiektem o pojedynczym ładunku ujemnym (jonem Cl^-). Przeciwności przyciągają się zaś, o czym wiedzieli już – w szerokim sensie filozoficznym – również i starożytni.

Istotę **WIĄZANIA KOWALENCYJNEGO** można wyczytać z samego słowa. Przedrostek „ko-”, oznaczający wspólnotę, wyraża fakt, że elektron konstytuujący takie wiązanie „należy” do obu wiążących się ze sobą atomów. Dziś wiemy, że istnieje ciągłe przejście między wiązaniami kowalencyjnymi i jonowymi, a ponadto jeden elektron może się kwantowo „rozprzestrzenić”, oddziałując na wiele atomów składających się na daną cząsteczkę. Skrajnie „zdelokalizowany” w ten sposób elektron współtworzy wiązanie metaliczne, opisywane wręcz czasem jako „morze elektronów” obmywających atomy. Naukowcy badają też dziś zupełnie inne, nieklasyczne, czasem wręcz orientalne typy wiązań. ©



Dzięki mikroskopowi sił atomowych (AFM), który potrafi „wymacać” potożenia atomów i rozkład elektronów w przestrzeni, możliwe jest dziś wizualizowanie wiązań chemicznych. Tu widzimy niewielki związek organiczny, składający się z 26 atomów węgla, w postaci obrazu AFM (po lewej) i wzoru strukturalnego.

Metody kwantowe są cały czas rozwijane, czemu sprzyja zwiększenie na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat możliwości obliczeniowych komputerów. Chemia kwantowa, będąca dziedziną na pograniczu chemii i fizyki, wykorzystując metody matematyczne pozwala dziś na bardzo precyzyjny opis atomów i cząsteczek chemicznych, a co za tym idzie także wiązań, które występują między nimi.

Wiązania egzotyczne

Fizycy poszukują jednolitej teorii łączącej wszystkie oddziaływania w przyrodzie. Podobnie ma się rzecz z chemikami, którzy nie ustają w badaniach nad tym, co stanowi istotę chemii, czyli wiązaniem. Na początku lat 80. XX w. brytyjski chemik-teoretyk, David Clary, pracujący nad teorią kwantową reakcji chemicznych, sformułował hipotezę o istnieniu kolejnego typu wiązania chemicznego. Clary postulował, że będzie ono występować w sytuacji, w której pomiędzy dwoma bardzo dużymi atomami znajdzie się jeden bardzo mały. Obliczenia prowadził dla zespołów trójatomowych, w których pomiędzy dwoma atomami bromu znajdował się najlżejszy z atomów – wodór. Teoria była więc gotowa, ale chemia jest nauką eksperymentalną, więc wymagany jest jednoznaczny dowód doświadczalny tego, co istnieje na początku tylko jako zestaw równań na papierze.

We wczesnych latach 80. XX w. trudno było badać tego typu zjawiska. Szansa pojawiła się niemal dekadę później. Kluczem stał się niewystępujący w zasadzie w przyrodzie atom mionium. Mionium (Mu) to bardzo rzadki i bardzo nietrwały analog wodoru, w którego jądrze znajduje się cząstka elementarna o dodatnim ładunku, dziesięciokrotnie lżejsza od protonu, wokół której krąży klasyczny elektron. Badania nad nim prowadził zespół kanadyjskiego chemika, Donalda Fleminga. Stwierdzili oni, że reakcja bromu (Br) z mionium spowalnia, gdy temperatura zostaje podwyższona. Jest to efekt odwrotny od tego, który zwykle obserwujemy w chemii. Fleming bazując na postulatach Clary’ego stwierdził, że wszystko da się wyjaśnić, jeśli uznamy, że pomiędzy atomami bromu i mionium występuje nieznane dotąd wiązanie, które nazwał wibracyjnym. Na jednoznaczne potwierdzenie tego trzeba było poczekać aż do 2014 r., kiedy to wykazano, że w układzie $BrMuBr$ istotnie występuje takie właśnie wiązanie, jakie postulował David Clary.

W 2012 r. zaobserwowano też zupełnie nowego rodzaju wiązanie chemiczne, występujące wyłącznie w obecności silnego pola magnetycznego – można się więc spodziewać, że wiązania chemiczne ciągle skrywają przed nami pewne tajemnice. ©

MIROSŁAW DWORNICZAK

Autor jest chemikiem i dziennikarzem naukowym. Prowadzi blog starychemik.wordpress.com



Maria i Bronisława, ok. 1885 r.

SZYMON ŁUCYK: Pani książka „Uczone siostry” uświadamia nam, że w życiu polskiej noblistki niemal równie ważna jak jej mąż, Piotr Curie, była starsza siostra – Bronisława Dłuska. To ona, lekarka, dziś zapomniana, przetarła Marii drogę do Paryża i światowej kariery.

NATACHA HENRY: Bardzo często biografowie konstruują historię samotnych, wyjątkowych bohaterów. W ten sposób pomija się coś bardzo ważnego – solidarności ich otoczenia i kontekst historyczny epoki.

Dla większości Francuzów Maria i Piotr Curie to francuskie małżeństwo. Nie wiedzą, że Maria była Polką. Tym bardziej nie mają pojęcia o pozostałych członkach jej rodziny. Co prawda Ewa Curie, córka Marii i Piotra, w swojej biografii matki pisała o starszej siostrze – Broni, ale skupiała się na rodzinnych anegdotach. Ani ona, ani inni badacze nie wiązali Broni z działalnością naukową Marii. A przecież archiwa pokazują, że w każdym ważnym momencie obie siostry wszystko ze sobą dzieliły. Jak piszę w książce, ich więź była niezwykłą, nie tylko intymną, ale i naukową historią.

Maria Curie była najmłodszym dzieckiem państwa Skłodowskich – miała czworo rodzeństwa. Dlaczego zainteresowała Panią właśnie Bronisława?

W jednej z biografii Marii natrafiłam na informację, że jadąc na studia do stolicy Francji, dołączyła do swojej siostry Broni. Zaintrygowała mnie ta starsza o dwa lata siostra noblistki, o której nic nie słyszałam.

W rodzinie Skłodowskich nie zachowało się zbyt dużo informacji o Bronisławie. Korespondencja prywatna Broni i Marii, przechowywana przez jej córkę Ewę, zaginęła. Nie wiemy, co się stało z tymi rękopisami, choć fragmenty tych listów cytuję Ewa w biografii matki.

We Francji żyje jeszcze wnuczka Marii i Piotra – Hélène Langevin-Joliot. To jedyna żyjąca osoba, która pamięta Bronię. Mówiła mi, że jej ciotka przyjeżdżała przed II wojną światową do Francji i przywoziła swoim krewniakom polskie ludowe stroje dla dzieci. Zachowała w pamięci ciotkę jako bardzo energiczną osobę, co potwierdziło się w moich poszukiwaniach.

Zaskoczyło mnie to, że archiwa dotyczące Broni były bardzo rozproszone po wielu miejscach – szczególnie w Polsce, ale też we Francji. Niepublikowane dokumenty znalazłam m.in. w Muzeum Curie w Paryżu i Bibliotece Narodowej Francji. Z kolei w Muzeum Tatrzanskim natrafiłam na korespondencję między Bronią i Kazimierzem Dłuskimi a Marią Curie.

Gdyby nie Bronia, to młoda Maria do końca życia została by guwernantką?

Siła dwóch sióstr

NATACHA HENRY, HISTORYCZKA:

Maria i Bronia Skłodowskie są dla mnie wzorem wykształconych kobiet. Nie ograniczały się do swojej pracy, chciały pchać świat do przodu.

→ Obie siostry marzyły o studiach w Paryżu, były jednak ubogie. Zawarły więc umowę, którą nazywam najbardziej doniosłym paktem w historii nauki.

Szesnastoletnia Maria zaproponowała siostrze, że zatrudni się jako guwernantka w Warszawie i co miesiąc będzie jej wysyłać połowę swojej pensji. Dzięki temu Bronia pojechała do Paryża studiować medycynę, a potem została ginekologiem.

Bronia zrewanżowała się potem siostrze, gdy wraz ze swoim mężem Kazimierzem Dłuskim przyjęła do siebie Marię w Paryżu. Przyszła noblistka zamieszkała z małżeństwem jako studentka nauk ścisłych na Sorbonie.

Kiedy Bronia zaczęła paryskie studia, na Sorbonie studiowało niewiele kobiet, w większości były to cudzoziemki. Podaje Pani, że w 1887 r. na medycynie było 114 kobiet, w tym 70 Rosjanek i 20 Polek, a tylko 12 Francuzek. Skąd aż tyle Słowianek na medycynie?

W Królestwie Polskim kobiety nie miały wówczas prawa do studiowania. Wśród Rosjanek liczne były studentki pochodzenia żydowskiego, które wyjeżdżały w obawie przed pogromami.

Co istotne, rodzice polskich studentek, zwykle wykształceni, traktowali jednako edukację dziewcząt i chłopców. Nie wahali się zachęcać swoje córki do kształcenia się za granicą. A było to przecież duże wyzwanie: sama podróż pociągiem z Warszawy do Paryża, jak w przypadku Broni, trwała prawie trzy doby. Było to pokolenie dzielnych kobiet.

Polki miały w Paryżu reputację bardzo poważnych, sumiennych studentek. Nie przepuszczały pieniędzy na zabawy i bale. Głównie dlatego, że były na ogół biedne i musiały ciężko pracować; ich rodziny dokonywały dużych poświęceń, żeby wspierać je finansowo.

Z drugiej strony, na Sorbonie było mało Francuzek, gdyż edukacja dziewcząt była u nas zapóźniona – dopiero w 1880 r. formalnie otwarto szkoły średnie dla dziewcząt. Dla Francuzki zostanie w tamtym okresie lekarzem było niemal równie realne co lot na Księżyc.

Stynny wówczas neurolog, profesor Charcot, ostrzegał, że kobiety są zbyt delikatne, aby znieść widok krwi w trakcie operacji chirurgicznej. Co więcej – pisze Pani w książce – na widok studentek ich koledzy z medycyny na Sorbonie gdakali jak kury lub... obrzucali je jabłkami.

Bronia i Maria, jak i inne paryskie studentki, były otoczone mizoginami. Wydziały medyczne we Francji powoli i z wielkim trudem godziły się z myślą o dopuszczeniu kobiet na studia. Wielu wykładowców twierdziło, że uniwersytet nie jest dla nich właściwym miejscem i że jeśli poświęcą się nauce, to zostaną starymi pannami.

W tamtej epoce Polki były wolne od wielu problemów typowych dla Francji, bo w ich rodzinach nie zniechęcano ich do studiowania. Wychowane przez rodziców w duchu równości, Polki musiały być więc zdumione, kiedy po przybyciu do kraju rewolucji i praw człowieka mężczyźni witali je uwagami w rodzaju: o, jakie wy śliczne jesteście...!

Francja była w końcu XIX w. krajem bardzo katolickim i konserwatywnym. Dopiero później ruch feministyczny zmienił tę sytuację.

Jakimi matkami były siostry Skłodowskie? Miały czas dla dzieci?

Maria miała z Piotrem dwoje dzieci – Irenę i Ewę. Była bardzo oddaną matką. Brdzo zaangażowała się w edukację swoich córek. Wraz z grupą przyjaciół, także profesorów Sorbony, stworzyła rodzaj spółdzielni szkolnej, aby zapewnić córkom wysoki poziom nauczania. To była bardzo odważna decyzja. Wspólnymi siłami dorośli uczyli swoje dzieci w nowatorski sposób. Dopiero po dwóch latach tej przygody edukacyjnej Maria wysłała córki do zwykłej szkoły. Wybrała dla nich potem jedyną świecką szkołę dla dziewcząt we Francji – gimnazjum Sévigné. To szkoła wyjątkowa także dlatego, że program nauczania był taki sam dla chłopców i dziewcząt.

Można sądzić, że wzorem dla szkoły Marii był tajny Uniwersytet Latający, do którego chodziły w młodości obie siostry Skłodowskie. Także córka Broni, Helena, pobierała lekcje w domu, a nie w szkole.

Maria i Bronia, jak wiele ówczesnych kobiet z zamożnych rodzin, korzystały w karmieniu dzieci z pomocy mamek. Maria chciała sama karmić Irenę, ale jej zdrowie było zbyt słabe, więc zatrudniła kogoś do pomocy. Córkami Marii zajmował się z wielkim zaangażowaniem jej teść, były lekarz. Był świetnym dziadkiem, właściwie to on wychował Irenę. Dzięki niemu Maria i Piotr mogli spędzać tak wiele czasu w laboratorium.

Obie uczone siostry poślubiły ludzi nietuzinkowych: Maria – naukowca Piotra Curie, a Bronia – Kazimierza Dłuskiego, barwną postać: lekarza, rewolucjonistę, społecznika, dyploma-

tę... W książce odkrywa Pani na nowo zasługi Dłuskich dla polskiej medycyny i życia społecznego.

Kazimierz Dłuski działał na wielu polach: jako lekarz-społecznik walczył z gruźlicą, za młodu był socjalistą, współtworzył Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, brał udział w konferencji pokojowej w Wersalu. Znał blisko wielu ważnych ludzi: Ignacego Paderewskiego, Henryka Sienkiewicza, Józefa Piłsudskiego. Także Włodzimierza Lenina, któremu nawet pomógł wydostać się z austriackiego aresztu jeszcze przed wybuchem I wojny światowej.

Po powrocie z Paryża w 1902 r. Bronia i Kazimierz Dłuscy osiedli w Zakopanem i zbudowali największe wtedy na ziemiach polskich sanatorium dla chorych na gruźlicę w Kościelisku. Zwiedzili tam miejsce w czasie pracy nad książką. W sanatorium mieści się dziś wielki, dość surowy hotel. Jego dyrektor zaprowadził mnie do piwnicy, pokazał zdjęcia dawnych wnętrz, potem zniszczonych, z czasów pierwszych właścicieli. Na murach budynku zamieszczono tabliczkę upamiętniającą wizytę Marii Curie w tym miejscu.

Dłuscy zaangażowali się bardzo mocno w lokalne życie Zakopanego – współtworzyli też Muzeum Tatrzańskie. Naukowcy tamtych czasów nie zamykali się w wieży z kości słoniowej. To było typowe dla epoki: ludzie nauki uczestniczyli w życiu społecznym, artystycznym, także politycznym – tak było i w przypadku Dłuskich, i Marii Curie.

Rzadko mówi się o tym, że Maria Curie brała udział w pracach Ligi Narodów po I wojnie światowej. Była rzeczniczką naukowej współpracy na świecie w epoce, kiedy konferencje międzynarodowe były dla naukowców czymś wyjątkowym. Także w tej dziedzinie stała się pionierką.

Maria miała ogromne szczęście spotkać Piotra, który był odpowiednikiem postępowych Polaków, takich jak Dłuski. Pochodził z wyzwolonej świeckiej rodziny. Jego ojciec był lekarzem, który pomagał bezpłatnie bojownikom Komuny Paryskiej, a w jego rodzinie panowało rzadkie wówczas przekonanie o równouprawnieniu kobiet i mężczyzn.

Ale gdyby Maria poślubiła kogoś innego? Łatwo wyobrazić sobie, że usłyszałaby wtedy: zostaw tę naukę i zajmij się wreszcie domem, rodziną!

W książce przypomina Pani słabo znany rozdział biografii Marii: w czasie I wojny światowej organizowała połowę radiologii i sama

wielokrotnie jeździła na front. Zresztą pojazdy przewożące mobilne aparaty rentgenowskie przeznaczone do prześwietlania żołnierzy nazwano potem właśnie „małe Curie”.

Nawet wtedy Maria zmagiała się z mizoginią. Nie pomogło jej to, że miała już na koncie dwie Nagrody Nobla i że reprezentowała Czerwony Krzyż. Kiedy pojawiała się, żeby prześwietlać żołnierzy, mówiono jej: kobieta na froncie? To niemożliwe!

W tym samym czasie Bronia-lekarka wraz z mężem zamienili sanatorium w szpital wojskowy. Leczyli tam także rannych legionistów. Tak więc obie oddalone od siebie siostry angażują się w medyczną pomoc: jedna we Francji prześwietla rannych, druga opatruje żołnierzy w Polsce.

Siostry Skłodowskie są dla mnie wzorem wykształconych kobiet. Nie ograniczały się do swojej pracy, ale chciały pchać świat do przodu: medycynę, sprawy społeczne, humanizm, współpracę międzynarodową.

Co było największym zawodowym osiągnięciem Broni?

Wzniesienie Instytutu Radowego przy ulicy Wawelskiej w Warszawie, który został otwarty w 1932 r. [dziś część Centrum



Noblowska familia

RODZINA CURIE jest fenomenem na skalę światową. Owszem, zdarzało się, że dwie osoby w jednej rodzinie otrzymały Nagrody Nobla – jak choćby William Henry Bragg i jego syn, William Lawrence Bragg, którzy wspólnie otrzymali Nagrodę

w dziedzinie fizyki w 1915 r. za wynalazek spektroskopu, albo bracia Jan i Nikolaas Tinbergen, którzy niezależnie od siebie odebrali Nagrody w dziedzinie, odpowiednio, ekonomii oraz medycyny i fizjologii. Nic jednak nie może się równać z przypadkiem rodziny Curie. Piotr Curie i Maria Skłodowska-Curie otrzymali łącznie Nagrodę Nobla z fizyki w 1903 r. za

Onkologii – Instytutu im. Marii Skłodowskiej-Curie – red.]. Badano w nim i leczono choroby nowotworowe. Właśnie Broni, lekarce, Maria powierzyła pod koniec życia nadzór nad jego budową. Dziś na parterze, po lewej stronie, w budynku instytutu upamiętnia to sala im. Bronisławy Dłuskiej, gdzie można zobaczyć fotografie obu siostr.

W warszawskich archiwach odnalazłam listy dotyczące powstawania instytutu w Warszawie, wymieniane przez Bronię z sekretarką Marii.

Mówimy o nauce, medycynie i działalności społecznej, ale z Pani książki wynika, że starsza siostra była dla Marii oparciem w najtrudniejszych chwilach życia...

Pisząc tę książkę, myślałam o mojej najlepszej przyjaciółce od czasów nastoletnich. Za każdym razem, gdy nadchodzi burza, zawsze jest obok mnie. Tak jak Bronia obok Marii.

W czasie pracy nad książką wstrząsnęło mną odkrycie, że Maria Curie była normalną kobietą. Także wielki naukowiec o ascetycznym usposobieniu przeżywa okropne chwile, kiedy nie jest w stanie iść do laboratorium.

Po powrocie Dłuskich z Paryża do Polski Maria pisze do Broni: „Wraz z Wami obojgiem straciłam wszystko, na czym mi zależało w Paryżu, oprócz mojego męża i dziecka. Teraz mam wrażenie, że Paryż nie istnieje”. Potem, kiedy Piotr Curie zginął w wypadku, Maria się załamała. Szczęśliwie znowu Bronia pojawiła się od razu, żeby się nią zająć. Podobnie było później, kiedy wybuchł we Francji skandal wokół związku Marii z Paulem Langevinem. Jest wtedy w strasznej sytuacji, wdowa z dwójką dzieci, cała francuska prasa ultrapravicowa robi na nią niebywałą nagonkę.

W obliczu tej katastrofy Maria bije się z myślami, czy jechać do Szwecji po odbiór drugiej Nagrody Nobla. I co wtedy robi Bronia? Mówi po prostu: „Chodźmy kupić sukienkę i jedźmy do Sztokholmu”. Ten szczegół najlepiej ujmuje siłę więzi dwóch siostr.

© Rozmawiał SZYMON ŁUCYK

NATACHA HENRY jest francuską historyczką i eseistką, absolwentką London School of Economics oraz Sorbony. Autorka biografii wybitnych kobiet. Jej książka „Uczone siostry” (wydana po polsku w 2016 r. w przekładzie Anny Broczkowskiej-Nguyen) otrzymała we Francji nagrody, m.in. Prix Marie Curie 2017.

badania nad radioaktywnością. Ogłaszając tę Nagrodę, prezydent szwedzkiej Akademii Królewskiej stwierdził, że jest to nie tylko „znakomita ilustracja starego powiedzenia »coniuncta valent«, w jedności siła”, ale ponadto, jako „uczona para reprezentująca różne narodowości”, profesor i madame Curie stanowią „szczęśliwy omen dla ludzkości”. Maria została ponownie nagrodzona przez Akademię w 1911 r., za odkrycie radu i polonu, co stanowiło pierwszy w historii tej nagrody – i do dzisiaj jeden z zaledwie czterech takich – przypadek podwójnego laureata. To był jednak dopiero początek kariery rodziny Curie. Pierwsza córka państwa Curie, Irena, wraz z mężem Frédérikiem Joliotem (który przyjął po żonie nazwisko, stając się Frédérikiem Joliot-Curie) otrzymali w 1935 r. Nagrodę Nobla

z chemii za badania nad sztucznie wytworzonymi izotopami radioaktywnymi. Ówczesny prezydent Komitetu Noblowskiego, W. Palmaer nie mówił już o powiązaniach rodzinnych laureatów, jednak zażartował sobie, że o ile alchemicy przez wieki próbowali przemienić bezwartościowe metale w złoto, małżeństwo Joliot-Curie skutecznie przemieniło lata pracy nad pierwiastkami chemicznymi w złoty medal szwedzkiej Akademii. Druga córka państwa Curie, Ewa, nie wybrała kariery naukowej. Nie uniknęła jednak „przekleństwa noblowskiego” – jej mąż, Henry Richardson Labouisse, dyplomata i działacz polityczny, odbierał w 1965 r. Pokojową Nagrodę Nobla w imieniu UNESCO. © ŁŁ Na zdjęciu Maria Curie z córkami: Ireną i Ewą (1921).

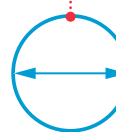
Władza nad materią

TEKST ŁUKASZ LAMŻA, MIROŚŁAW DANCH
INFOGRAFIKA LECH MAZURCZYK

Rozwój dwudziestowiecznej chemii umożliwił ogromny postęp cywilizacyjny, przyniósł nowe leki, technologie i tworzywa sztuczne.



1907
Alfred Berthel i Paul Ehrlich otrzymują pierwszy syntetyczny antybiotyk – uzyskany z arsenu „związek 606”, sprzedawany najpierw jako Salvarsan, dziś znany pod nazwą arsfenamina. W czasie I wojny światowej zrobił wielką karierę jako lek na syfilis i zastąpiła go dopiero wyizolowana w 1928 roku przez Fleminga penicylina. W tym przypadku produkty laboratoryjnej syntezy chemicznej wyprzedziły więc substancje pochodzenia naturalnego.

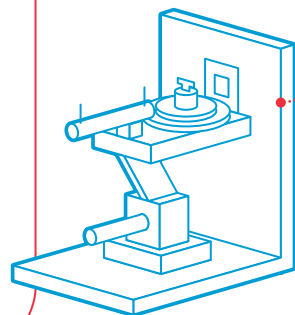


1908
Jean Baptiste Perrin, opierając się na pracach Einsteina na temat ruchów Browna, wykonuje swoje pierwsze doświadczenia pozwalające na oszacowanie rozmiaru cząsteczek i atomów. Obserwując ruch mikroskopijnych kuleczek z gumiguty, miękkiej substancji podobnej do kauczuku, zawieszonych w kropelce wody, poprawnie oszacował średnicę cząsteczek wody. Był to wielki krok na drodze do czysto teoretycznej zgody na teorię atomową.

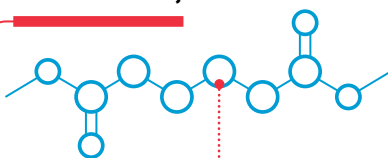
1911
Pierwszy kongres Solvaya – konferencje te do dziś zbierają najwybitniejszych przedstawicieli fizyki i chemii. Na pierwszy kongres zaproszono 24 naukowców, w tym jedną kobietę (zob. str. 15).



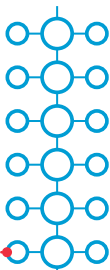
1914
William Lawrence Bragg i jego ojciec, William Henry Bragg, opisują strukturę przestrzenną soli kuchennej dzięki zastosowaniu rewolucyjnej metody – rentgenografii strukturalnej. Polega ona na analizie, jak promieniowanie rentgenowskie rozprasza się na kryształkach badanej substancji. W ten sposób da się wydedukować strukturę przestrzenną nie tylko minerałów, ale również organicznych związków chemicznych; odkrycie struktury DNA (zob. 1953 r.) nastąpiło właśnie dzięki tej metodzie.



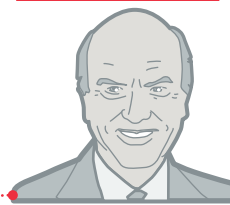
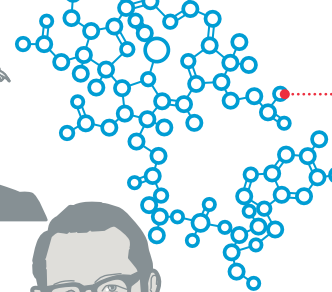
1927
Fritz London i Walter Heitler wyjaśniają wiązanie w cząsteczce wodoru (H₂) dzięki mechanice kwantowej. W ten sposób owa nowinka teoretyczna pokazała swoją przydatność, a dzisiejsze rozumienie związków chemicznych nie jest możliwe bez udziału chemii kwantowej.



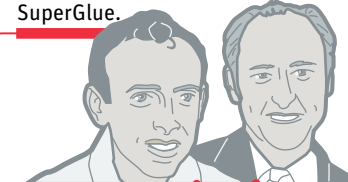
1935
W laboratorium firmy DuPont powstaje nylon – jeden z najstawniejszych polimerów XX wieku, obok teflonu (1938; też odkryty, choć przypadkiem, w laboratoriach DuPont) czy polietylenu (uzyskany w niewielkiej ilości, również przez przypadek, w 1898, ale na skalę przemysłową dopiero w 1933 roku). W 1938 roku na rynek trafia pierwsza szczoneczka do zębów z nylonowymi włóknami, a w 1940 – nylonowe pończochy, które szybko zrobiły furorę na całym świecie, reklamowane jako „tak wytrzymałe jak stal i tak delikatne jak pajęczak”, a przy tym „wyprodukowane z węgla, wody i powietrza”.



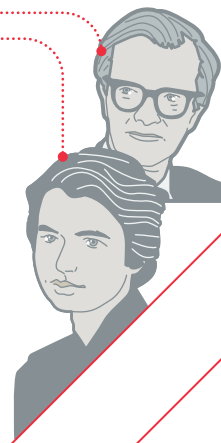
1939
Linus Pauling publikuje „The Nature of Chemical Bond”, jedno z ważniejszych dzieł w historii chemii, zawierające współczesny wykład teorii wiązania atomowego.



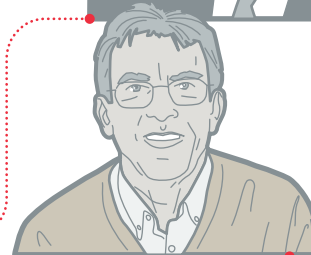
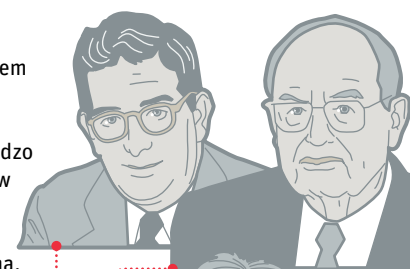
1942
Harry Coover ze współpracownikami odkrywa cyjanoakryl, który klei im się do wszystkiego; dziś sprzedawany jako SuperGlue.



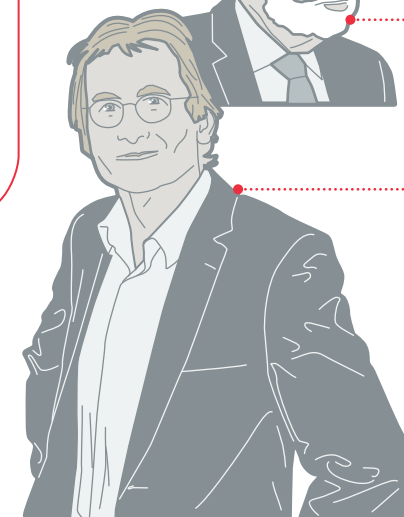
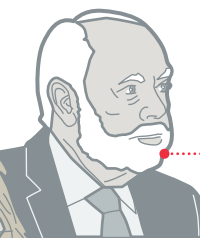
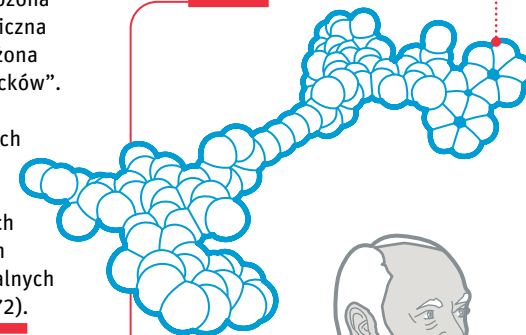
1953
James Watson i Francis Crick opisują strukturę trójwymiarową DNA (podwójna helisa), opracowaną przy współpracy z Maurice'em Wilkinsem i Rosalind Franklin. Jak pokazały dalsze badania, informacje zawarte w strukturze DNA to „chemiczna książka kucharska”, w której zawarto szczegółowe przepisy na syntezę większości białek produkowanych przez daną komórkę w organizmie. DNA wpływa pośrednio na funkcjonowanie całego organizmu.



1972
Zakończona sukcesem „synteza totalna” witaminy B12, czyli taka, w której z bardzo prostych substratów uzyskuje się skomplikowaną strukturę organiczną. Prace nad syntezą witaminy B12 prowadzone były wspólnie przez zespoły naukowe Roberta Burnsa i Alberta Eschenmosera. W 1993 roku Kenichi Akaji ze współpracownikami zsyntetyzuje od podstaw insulinę, składającą się z dwóch łańcuchów zawierających 51 aminokwasów – jedna cząsteczka insuliny składa się z prawie 800 atomów.



1983
Pionierskie prace Jeana-Pierre'a Sauvage'a prowadzące do utworzenia nanomaszyn (maszyn molekularnych) – obiektów, które zachowują się jak maszyny, jednak mają rozmiar rzędu nanometra (jednej miliardowej metra), składając się czasem zaledwie z kilkudziesięciu atomów. Sauvage łączy dwa pierścienie węglowe w strukturę nazwaną katenanem, przypominającą łańcuch. W 1991 roku Fraser Stoddart syntetyzuje związek przypominający śmigło – nazywa go rotaksanem. W 1999 roku Bernard Feringa opisuje pierwszy „silnik molekularny”, którego rotor obraca się w jednym kierunku. Za jego pomocą wprawia w ruch naczynie 10000 razy większe od samego silnika. Opisuje także projekt nanosamochodu.



1900

1950

2000

Człowiek, który uporządkował chemię

MIROŚLAW DWORNICZAK

Układ okresowy Mendelejewa był pierwszym, w którym znalazły się miejsca na nieodkryte jeszcze pierwiastki. Pozwalał też przewidzieć ich własności.

Wbrew rozpowszechnionym opiniom to nie Mendelejew ustalił, że najlepszym stężeniem wódki jest 40 procent. Napisał o prawda pracę doktorską dotyczącą mieszanin woda-etanol, ale interesowały go tylko te, które zawierają powyżej 70 proc. alkoholu. Wartość 40 proc. została ustalona w rosyjskich przepisach znacznie wcześniej, w 1843 r., gdy Mendelejew miał dopiero dziewięć lat.

Syberia

Na świat przyszedł w 1834 r. Do dziś biografowie spierają się, ile miał rodzeństwa. Szacuje się, że dzieci w rodzinie Mendelejewów było czternaścioro, ale niektóre źródła doliczają się nawet siedemnaściora. Dymitr był z pewnością ostatnim z nich. Część jego rodzeństwa zmarła młodo, niektórym nawet nie zdążono nadać imion na chrzcie. W roku narodzin Dymitra jego ojciec, Iwan Mendelejew, stracił wzrok, co zmusiło go do przejścia na rentę. Liczna rodzina utrzymywała się z dochodów, które przynosiła niewielka huta szkła należąca do rodziny matki.

Ojciec pochodził z niewielkiej wioski w guberni twerskiej. Studia odbył w Głównym Instytucie Pedagogicznym w Petersburgu, gdzie uzyskał uprawnienia nauczyciela. W 1807 r. przydzielono go do pracy w gimnazjum w Tobolsku, małym mieście w środku Syberii. Był tam jednym z pierwszych przedstawicieli inteligencji. W latach 20. XIX w. do Tobolska zaczęto zsyłać dekabrystów, wśród których było wielu ludzi wykształconych. Skupili się oni wokół nauczycieli gimnazjum i stanowili silny miejscowy ośrodek intelektualny. Żona Iwana, Maria, wprawdzie nie miała formalnego wykształcenia, ale wraz z bracią przerobiła cały kurs gimnazjalny.

W 1849 r., gdy Dymitr miał piętnaście lat, Mendelejewowie przenieśli się do Petersburga. Dymitr rozpoczął tam studia na wydziale matematyczno-fizycznym Instytutu Pedagogicznego. Po nich ze względów zdrowotnych wyjechał na Krym, gdzie uczył w gimnazjum, jednocześnie po godzinach zajmując się pracą naukową. Podratowawszy zdrowie, w 1857 r. wrócił do Petersburga, aby ostatecznie objąć stanowiska profesora w Instytucie Technicznym oraz docenta na uniwersytecie. Z uczelni odszedł w 1870 r. skonfliktowany z ministrem edukacji – po tym, jak stanął w obronie studentów. W późniejszych latach współpracował z wieloma krajowymi uczelniami, ale w dużym stopniu pozostał badaczem niezależnym.

Wybitny kaletnik

W czasie wojny krymskiej (1853-56) Mendelejew przebywał w Symferopolu. Gimnazjum, w którym wtedy uczył, zostało zamknięte z powodu bliskości frontu, więc miał dużo czasu na rozmaite inne działania. Ponieważ życie zmuszało go do częstych podróży wraz z całym dobytkiem – m.in. setkami książek, reprodukcji, fotografii i rozmaitych notatek, niezbędne było posiadanie odpowiedniej liczby waliz i toreb. Te, które były dostępne, niespecjalnie mu pasowały, więc postanowił sam się zająć ich wyprodukowaniem. Przeszkolony przez lokalnego kaletnika, rozpoczął pracę, kupując odpowiednie skóry, karton i okucia. W związku z tym był częstym gościem miejscowych sklepów oferujących takie towary. Podczas jednej z takich wizyt w sklepie przebywał inny człowiek wybierający towar dla siebie. Gdy uczyony wychodził, usłyszał zadane teatralnym szepcieniem pytanie do sprzedawcy: „Panie, a co to za człowiek?”. Na to sprzedawca odparł:

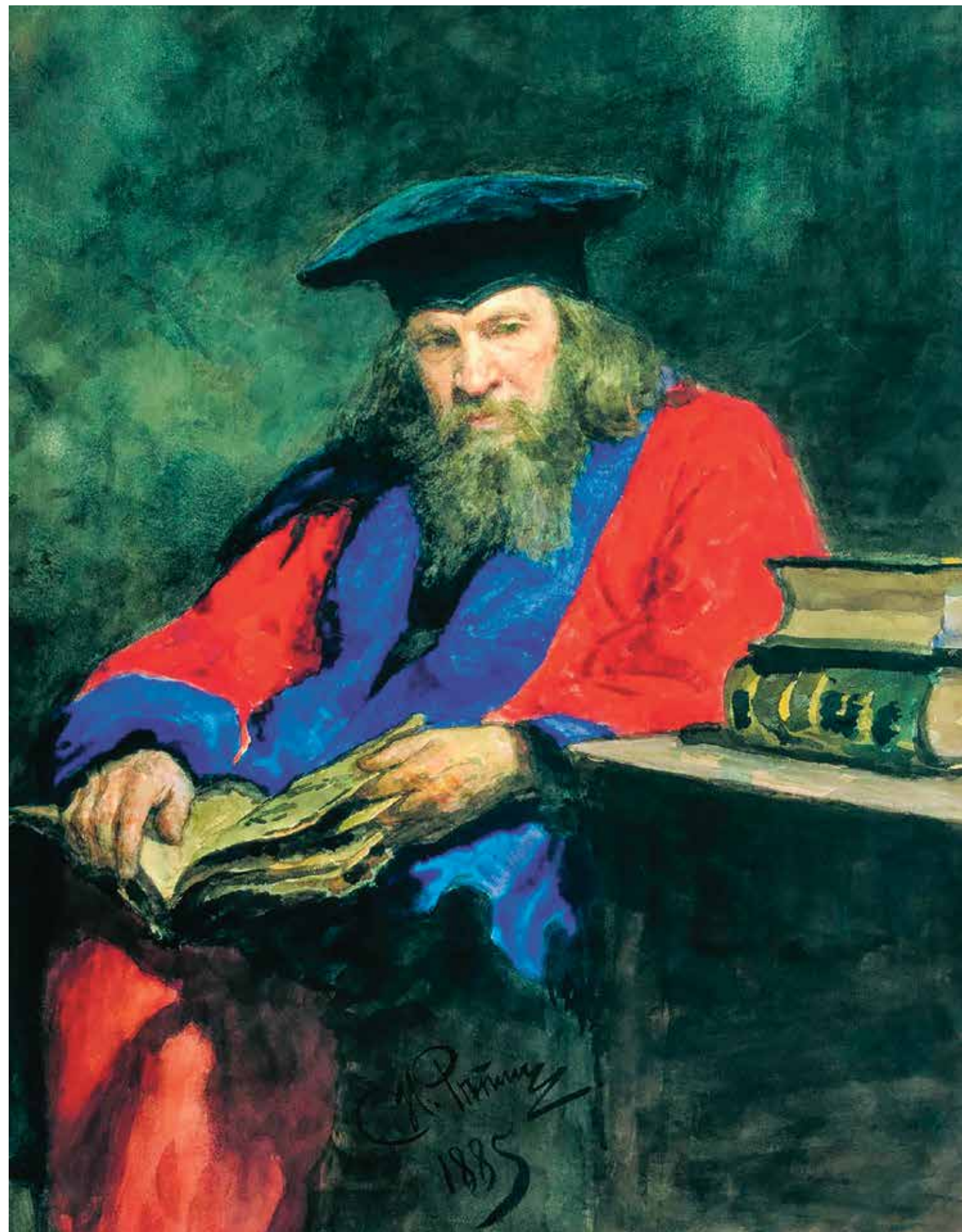
„Pan go nie zna? To wybitny kaletnik, pan Mendelejew”.

W 1862 r. Dymitr ożenił się ze starszą od siebie o sześć lat Teodozją, urodzoną w Tobolsku pasierbicą autora słynnego „Koniaka garbuska”, Piotra Jerszowa. Mieli trójkę dzieci, spośród których tylko najmłodsza, Olga, przeżyła rodziców. Małżonkom nie do końca się układało – dzieliła ich olbrzymia różnica charakterów. Żona Mendelejewa nie bardzo też rozumiała pracholizm męża, co było powodem częstych kłótni.

W 1876 r. 42-letni Dymitr poznał 16-letnią Annę Popową, córkę kozaka dońskiego. Połączyła ich szalona miłość od pierwszego wejrzenia. Olbrzymia różnica wieku oraz fakt, że uczyony nadal formalnie był żonaty, budziły wielkie kontrowersje nie tylko w rodzinie. Mendelejew rozpoczął złożoną w tamtym czasie procedurę rozwodową, jednocześnie pokazując się wszędzie z Anną. W końcu znalazł (i podobno przekupił) popa, który ominął przepisy i udzielił im ślubu przed wymaganym okresem siedmiu lat, które musiały upłynąć od rozwodu do ponownego małżeństwa. Podobno jeden z rosyjskich arystokratów udał się potem do cara, aby uzyskać zgodę na ślub przed upływem siedmiu lat, powołując się na *casus* Mendelejewa. Car miał odpowiedzieć: „Wiem, że Mendelejew formalnie ma dwie żony, ale ja mam tylko jednego Mendelejewa”.

Małżeństwo z Anną, wbrew wszelkim prognozom, okazało się bardzo udane. Młoda żona opiekowała się uczyonym, zapewniała spokój niezbędny w pracy, a nawet szyła wygodną odzież. Doczekali się czwórki dzieci: Lubow, aktorki, która została potem żoną poety Aleksandra Błoka, Iwana oraz bliźniąt – Marii i Wasyla. →

Ilja Riepin,
Dmitrij Mendelejew
w stroju akademickim, 1885 r.



Opus magnum

→ Opowiadano, że układ okresowy po prostu przyśnił się kiedyś Dymitrowi, gdy ten zdrzemnął się przy biurku, a zaraz po obudzeniu go naszkicował. Chemik skomentował to w rozmowie z pewnym petersburskim dziennikarzem, mówiąc, że rozmyślał nad tymi problemami 25 lat i to nie jest tak, jak u dziennikarzy, którzy dostają piątaką (kopiejkę) za liniijkę (był to synonim łatwego zarobku).

Chemia w Rosji w drugiej połowie XIX w. zaczynała się rozwijać. Na uczelniach było coraz więcej studentów, ale brakowało rosyjskich podręczników do tego przedmiotu. Lukę tę wypełnił Mendelejew, wydając w 1861 r. akademicki podręcznik chemii organicznej. Kilka lat później postanowił napisać duże dzieło – podręcznik chemii ogólnej. Napotkał jednak problem metodologiczny: w jakiej kolejności opisać pierwiastki, których wówczas znano nieco ponad 60? Gdyby opisał je w kolejności wynikającej ze wzrastającej masy atomowej, to pierwiastki podobne do siebie, które dziś znamy jako grupy, byłyby rozrzucone po całym tekście. A już wtedy wiedziano, że istnieją zestawy pierwiastków, które mają bardzo podobne właściwości chemiczne – ulegają podobnym reakcjom, dają podobne związki.

Mendelejew poświęcił drugą połowę lat 60. XIX w. na analizę i uporządkowanie tych kwestii, choć – jak sam przyznawał – myślał o tych sprawach przez ćwierć wieku. Oczywiście nie był pierwszym, który przyglądał się podobieństwu między pierwiastkami. Już znacznie wcześniej chemicy zauważali, że niektóre pierwiastki wykazują podobne właściwości chemiczne. Znane już były np. chlor, brom czy jod, które co prawda różniły się zdecydowanie, jeśli chodzi o właściwości fizyczne, ale np. tworzyły takie same połączenia z wodorem.

Podobnie rzecz się miała z litem, sodem i potasem czy też wapniem, strontem i barem. W 1817 r. Johann Wolfgang Döbereiner zauważył z kolei, że pewne trójki pierwiastków wykazują inną interesującą właściwość. Jeśli wyciągnie się średnią z mas atomowych pierwiastka pierwszego i trzeciego, otrzyma się z niezłą dokładnością masę atomową pierwiastka środkowego.

Znalazł on sześć takich trójek, które znamy dziś jako triady Döbereinera. Co ciekawe – dwie triady (C, N, O oraz Fe, Co, Ni) obejmowały pierwiastki należące do różnych grup, a więc mające różne właściwości chemiczne.

Triady Döbereinera stały się impulsem do dalszych poszukiwań. Brytyjski chemik John Newlands połączył ideę triad ze znanymi doskonale właściwościami chemicznymi pierwiastków i jako pierwszy poukładał pierwiastki w tablicę. Zauważył, że jeśli uszeregujemy pierwiastki zgodnie ze wzrastającymi masami atomowymi, to co ósmy z nich wykazuje podobne właściwości chemiczne. Nazwał to prawem oktaf. Choć Newlands był na dobrym tropie, zбочzył w stronę ezoteryki, ponieważ skojarzył sformułowane przez siebie prawo z oktafami w muzyce. Współcześni mu uczeni zdecydowanie odrzucili ideę oktaf i tablicy, a Royal Chemical Society odmówiło publikacji artykułu na ten temat.

Dokonania Döbereinera i Newlandsa zapewne były znane Mendelejewowi, historycy nauki uważają natomiast, że nie czytał on prac niemieckiego chemika Lothara Meyera, który na początku lat 60. XIX w. przedstawił swoją wersję układu okresowego, obejmującego jednak tylko 28 pierwiastków. Meyer opublikował kolejną wersję tablicy pierwiastków w 1870 r., a więc już ponad rok po publikacji Mendelejewa. Obie wersje były bardzo zbliżone.

Mendelejew w swojej wersji tablicy, którą przedstawił na posiedzeniu Rosyjskiego Towarzystwa Chemicznego na początku 1869 r., umieścił zarówno triady Döbereinera, jak i oktawy Newlandsa. Jako pierwszy uznał jednak, że możliwe jest istnienie pierwiastków jeszcze nie odkrytych – na które pozostawił w tablicy kilka pustych miejsc. Co więcej, biorąc pod uwagę właściwości pierwiastków sąsiadujących w grupie z tymi miejscami, w latach 1869-71 przewidział ich właściwości fizyczne i chemiczne. I to właśnie było świadectwem geniuszu Mendelejewa. W 1875 r. odkryto gal (Mendelejewowy eka-glin), w 1879 r. skand (eka-bor), a w 1885 r. german (eka-krzem). Ich fizyczne i chemiczne właściwości były bardzo zbliżone do przewidywanych. Mendelejew był na tyle pewien swoich przewidywań, że gdy odkrywca galu, Lecoq de Boisbaudran zmierzył gęstość pierwiastka i uzyskał wynik 4,7 g/cm³, Mendelejew napisał do Francuza, że to musi być błąd, ponieważ wartość ta winna wynosić 5,9 g/cm³. Miał rację – ponowne pomiary wykazały, że wynosi ona 5,91.

XIX-wieczni chemicy powszechnie posługiwali się już pojęciem tzw. względnej masy atomowej. W tamtych czasach określało się ją jako wielokrotność masy najprostszego atomu – wodoru. Idea takiego określenia masy atomowej pochodzi od Johna Daltona oraz Jönsa Jacoba Berzeliusa,

uważanych za ojców nowoczesnej chemii (współcześnie jednostką względnej masy atomowej jest jedna dwunasta masy izotopu węgla ¹²C).

Pojęcie liczby atomowej nie było jeszcze wówczas znane, ponieważ nie znano wewnętrznej budowy atomu. Dopiero kilkadziesiąt lat po Mendelejewie stwierdzono, że ważniejsze od masy atomowej jest to, ile w atomie jest protonów – właśnie to wyraża liczba atomowa. Dzięki temu udało się rozwiązać problem, który spędzał sen z powiek Mendelejewowi, a mianowicie zaburzenie kolejności pierwiastków. Jeśli przyjrzymy się układowi okresowemu, zauważymy, że w kilku miejscach pierwiastki o większej masie atomowej znajdują się przed lżejszymi. Tak jest choćby w przypadku par argon-potas, tellur-jod czy kobalt-nikiel. Jeśli jednak bierzemy pod uwagę liczbę atomową, wszystko doskonale się zgadza. Skąd ta różnica? Praktycznie wszystkie pierwiastki występują w różnych izotopach (czyli mogą posiadać różną liczbę neutronów). Czasem pierwiastek o mniejszej liczbie atomowej ma większy udział izotopów cięższych, stąd średnia masa atomowa jest większa, niż można by było przewidywać.

Zainteresowania

Gdy oglądamy portrety rosyjskiego chemika, uwagę zwracają m.in. jego długie włosy i broda. Uczony nie lubił tracić czasu na tak przyziemne sprawy, jak chodzenie do fryzjera. Gdy nadchodziły upały, kazał się strzyć i golić na zero i przez cały rok już się nie przejmował fryzurą. Nie zachował się jednak żaden jego portret po wyjściu od fryzjera.

Mendelejew prowadził badania w rozmaitych dziedzinach chemii. Znane są jego prace związane z analizą minerałów, głównie krzemianów. Było to po części związane z tym, iż jego matka zarządzała rodzinną hutą szkła. Tam właśnie rozpoczął badania praktyczne. Wiele czasu poświęcił na badania fizykochemiczne. Aby uzyskać jak najdokładniejsze wyniki, skonstruował specjalną wagę, pozwalającą na określanie masy gazów oraz ciał stałych.

Jego dziełem jest też specjalny piknometr – urządzenie do dokładnego pomiaru gęstości cieczy. Opublikował sporo prac dotyczących roztworów, ale nigdy nie sformułował własnej ostatecznej teorii. Uważał, że substancje rozpuszczone w wodzie oddziałują z jej cząsteczkami i tworzą ściśle zdefiniowane hydraty podobne do

Rechts	Gruppe I. R ⁰	Gruppe II. RO	Gruppe III. R ⁰	Gruppe IV. RR ⁰ RO ⁰	Gruppe V. RR ⁰ R ⁰	Gruppe VI. RR ⁰ R ⁰	Gruppe VII. RR ⁰ R ⁰	Gruppe VIII. RO ⁰
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Ca=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	—=115	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Co=140	—	—	—	
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	?Pb=207	Bi=208	—	—	Os=196, Ir=197, Pt=198, Au=199.
12	—	—	—	Th=231	—	—	—	

tych, które spotyka się w stanie krystalicznym.

Równoległe prace nad teorią elektrolitów prowadził w Szwecji inny wybitny uczony, Svante Arrhenius. To jego dziełem jest koncepcja dysocjacji elektrolitycznej, rewolucyjna na tamte czasy. Arrhenius uważał, że substancje, które rozpuszczają się w wodzie, rozpadają się w roztworze na naładowane jony (dodatnie kationy i ujemne aniony). Koncepcja ta spotkała się ze zdecydowaną krytyką ze strony Mendelejewa, który nie wyobrażał sobie, że trwałe, obojętne elektrycznie związki mogłyby się rozpadać na części obdarzone ładunkiem. Było to nie w smak Arrheniusowi, który spotykając się z niezrozumieniem ze strony ówczesnych uczonych, liczył na poparcie starszego, uznanego chemika z Rosji. Szwed w odwecie krytykował koncepcję hydratów Mendelejewa. W rezultacie tego sporu uczeni zdecydowanie się nie polubili, co będzie później miało znaczenie podczas nominacji do Nagrody Nobla.

Dziś już wiemy, że – o ironio – obaj mieli w dużym stopniu rację. Większość substancji rozpuszczalnych w wodzie rzeczywiście rozpada się na jony, które są otoczone cząsteczkami wody, tworząc coś, co przypomina hydraty postulowane przez Mendelejewa.

Badania związane z gazami skierowały Rosjanina w stronę praktyki. W 1875 r. zaprojektował balon stratosferyczny o pojemności 3,6 tys. m³. Jego dziełem jest także projekt aerostatu z własnym napędem. W 1887 r. miał wziąć udział jako pasażer w locie balonem, którego celem miały być obserwacje całkowitego zaćmienia Słońca. W nocy poprzedzającej lot padał deszcz i powłoka balonu namokła – nie mógł on w konsekwencji unieść dwóch osób. Mendelejew postanowił polecieć sam, po krótkim instruktażu. Spędził w powietrzu ponad dziewięć godzin, obserwując za-

WERSJA TABLICY MENDELEJEW
(fragment, 1871 r.). Poziome kreski oznaczają wówczas jeszcze nieznaną, ale przewidywaną przez Mendelejewa pierwiastki.

ćmieniem i przeprowadzając pomiary ciśnienia i temperatury na różnych wysokościach. Za ten wyczyn otrzymał specjalny medal francuskiej akademii meteorologicznej.

Zafascynowany obszarami arktycznymi, we współpracy z admirałem Stepanem Makarowem zajął się też projektowaniem lodolamacza. Częścią tego projektu było stworzenie specjalnego basenu doświadczalnego, który pozwalał na badania techniczne w tej dziedzinie. Niejako przy okazji prowadził też badania dotyczące gęstości wody morskiej. Zawsze podkreślał, że prawdziwa nauka nie istnieje bez pomiarów. Dlatego też w 1893 r. stworzył Izbę Miar i Wag Imperium Rosyjskiego, zajmującą się m.in. legalizacją urządzeń mierniczych.

Sporo prac poświęcił, we współpracy z armią rosyjską, badaniom praktycznym nad prochem bezdymnym. Bazując na już istniejącej nitrocelulozie wynalazł pirokolodion, bardzo efektywny środek wybuchowy. Rosyjska armia jednak nie zaakceptowała tego wynalazku, ponieważ uznano, że jest on zbyt drogi, a ponadto zdarzało się, iż ulegał samozapłonowi.

W 1899 r., mimo problemów zdrowotnych, Mendelejew zorganizował wielką wyprawę na Syberię. Cel: zbadanie możliwości wydobycia i przetwórstwa metali oraz węgla, a także oszacowanie zasobów leśnych. Jej efektem była diagnoza przyczyn stagnacji przemysłu syberyjskiego, która wynikała z tego, że lokalne władze blokowały powstawanie i rozwój nowych przedsiębiorstw. Niezbędne były zmiany przepisów, aby umożliwić wolną konkurencję. Końcowy raport zawiera także zale-

cenia dotyczące przemysłu wydobycia węgla oraz rud metali, jak też projekty zmian komunikacyjnych na Syberii. Niejako na marginesie tej wyprawy Mendelejew podjął prace badawcze nad podziemną gazyfikacją węgla, którą zaczęto wdrażać w okolicach Donbasu. Pod koniec życia coraz częściej zajmował się zagadnieniami związanymi z ekonomią. Pozostawił po sobie imponującą liczbę ponad 1500 prac naukowych. Pod tym względem niewielu uczonych jest w stanie mu dorównać.

Nagroda, której nie było

Na początku XX w. Mendelejew był już uznanym na całym świecie uczonym, a jego układ okresowy powszechnie wykorzystywano we wszystkich pracowniach chemicznych i fizycznych. Wydawało się, że będzie on pewnym kandydatem do ustanowionej w 1901 r. Nagrody Nobla. W istocie nominowano go trzykrotnie – w latach 1905-07. Co ciekawe, zawsze był zgłaszany przez uczonych z innych krajów niż Rosja. W 1905 r. przegrał z chemikiem organikiem Adolfem Beyerem. W 1906 r. komitet uznał, że właśnie Mendelejewowi należy się nagroda, ale interwencja wpływowego Svanteo Arrheniusa, skonfliktowanego z Mendelejewem, spowodowała, że dostał ją Henri Moissan. W 1907 r. komitet noblowski miał zamiar podzielić nagrodę pomiędzy Mendelejewa i włoskiego chemika Stanisłao Cannizzara, ale było już za późno – Dymitr zmarł w lutym, a nagrody zgodnie z testamentem Alfreda Nobla przysługują wyłącznie żyjącym. Nietypowy hołd wielkiemu uczonemu złożyli jednak studenci i współpracownicy. Pojawili się na pogrzebie Dymitra z dużym transparentem, na którym wymalowali to, co było dziełem jego życia – układ okresowy.

Imieniem Mendelejewa nazwano kilka miejscowości w Rosji (w tym miasto Mendelejewsk w Tatarstanie), stację metra w Moskwie, krater na Księżycu i asteroidę. Upamiętniony został pośmiertnie w układzie okresowym – Amerykanin G.T. Seaborg nazwał odkryty w 1955 r. pierwiastek 101 mendelewem (Md).

Próżno dziś szukać potomków wielkiego uczonego. Ostatnia wnuczka, Maria, zmarła w 1952 r. w Leningradzie, w domu starców. Nie wiadomo nawet, gdzie ją pochowano. Pozostawiła jednego syna, Aleksandra Kamińskiego, który zginął po pijanemu w bójce na początku XXI w.

MIROSLAW DWORNICZAK

Pozegnanie z palnikiem

MIROSLAW DANCH

Czasy, gdy Maria Skłodowska-Curie w swoim paryskim laboratorium własnoręcznie przerzucała dziesiątki kilogramów blendy smolistej, należą do historii.

Wszystkie prace wykonywane we współczesnym laboratorium chemicznym można najogólniej podzielić na trzy kategorie: syntezę, oczyszczanie i analizę.

Rolą chemika zajmującego się syntezą jest otrzymanie określonej substancji. Czasem jest to znany związek, otrzymywany sprawdzoną wiele razy metodą. Choć chemia rozwija się od setek lat, nie jest niczym niezwykłym, że otrzymuje się związek zupełnie nowy, nieistniejący dotąd w świecie przyrody. Jednak nie od razu uzyskuje się związki chemiczne w postaci czystej; produktami reakcji są zwykle mieszaniny i sporo czasu zajmuje proces zwiększania „ilości cukru w cukrze” – czyli oczyszczanie związków. Dominującą dzisiaj techniką oczyszczania jest rozdzielanie chromatograficzne substancji, o którym będzie mowa za chwilę.

Zadaniem analityka jest natomiast określenie składu (jakościowego – czyli jakie substancje obecne są w badanej próbce – i/lub ilościowego – w jakich występują ilościach), a także innych parametrów fizykochemicznych substancji, takich jak pH, gęstość, lepkość, skręcalność optyczna i inne. Także tutaj kluczową rolę pełnią techniki chromatograficzne, umożliwiające rozdzielanie oznaczanych substancji.

Zamiast palnika – reaktor mikrofalowy

Spójrzmy na konkretny przykład, w którym wystąpią wszystkie trzy etapy: synteza, rozdzielanie i analiza. Weźmy pod uwagę jedną z prostszych reakcji w chemii organicznej: hydrolizę sacharozy. Bierzemy nieco sacharozy (zwykłego cukru z cukiernicy), trochę wody destylowanej i odrobiny katalizatora (np. kwasu siarkowego). To wszystko podgrzewamy w kolbie kulistej.

Nie używamy jednak już, jak dawniej, palnika gazowego – kolbę wkładamy do elektrycznej czaszy grzewczej. Jest to rodzaj kuchenki elektrycznej, której płyta grzewcza ma kształt kulistego zagłębienia, idealnie dopasowanego do ścianek podgrzewanej kolby. Podgrzewanie na ogniu jest niebezpieczną i mało precyzyjną metodą. Wydostające się z kolby pary rozpuszczalników mogą być łatwopalne, co w kontakcie z otwartym płomieniem mogłoby doprowadzić do wybuchu. Płomień podgrzewa ponadto kolbę punktowo – nieostrożny chemik mógłby w ten sposób zniszczyć naczytnie, a ponadto podgrzewana w ten sposób substancja w każdym punkcie ma nieco inną temperaturę. Dzięki czaszy grzewczej całe dno kolby podgrzewane jest równomiernie do temperatury wybranej przez laboranta na elektronicznym panelu urządzenia. Czysto, bezpiecznie, precyzyjnie.

Jeżeli posiadamy reaktor mikrofalowy, reakcję szybko przeprowadzimy w hermetycznie zamkniętych kapsułach ciśnieniowych. Działa on na tej samej zasadzie co kuchenka mikrofalowa. Wiązka promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości z obszaru mikrofal (2,45 GHz) jest zogniskowana w objętości reaktora, którą jest szklana grubościenna probówka zamknięta silikonowym wieczkiem i zakapslowana, dla zachowania hermetyczności, aluminiowym kołnierzem. W próbówce podczas przebiegu reakcji i naświetlania promieniami mikrofalowymi mierzona jest zdalnie temperatura (na tej samej zasadzie, co w nowoczesnych zdalnych termometrach lekarskich na podczerwień) i ciśnienie (na podstawie wybrzuszenia silikonowego wieczka). Dzięki temu chemik syntetyk ma większą kontrolę nad przebiegiem reakcji. Urządzenie pozwala na skrócenie czasu reakcji z kilkunastu godzin do... kilku minut, a także na lepszą wydajność i zmniejszenie stężenia produktów ubocznych (większą selektywność reakcji).

Oczywiście, wybuchy, tak jak w „dawnych dobrych czasach”, mogą się zdarzyć – są one jednak ograniczone do specjalnie zabezpieczonej komory reakcyjnej.

Bez względu na to, którą z tych technik się posłużymy, powinniśmy otrzymać mieszaninę następujących produktów: nieprzereagowanej sacharozy i pozostałego katalizatora (nie jest łatwo sprawić, aby wszystkie cząsteczki przereagowały; w praktyce zawsze zostaje nieco substancji wyjściowych), a także oczekiwanych przez nas produktów: glukozy (cukier gronowy) i fruktozy (cukier owocowy) oraz katalizatora. Na oko jesteśmy jednak w stanie tylko stwierdzić, że w kolbie znajduje się przezroczysty, bezbarwny roztwór wodny.

Zamiast bibuły – chromatograf cieczerwody

Aby się przekonać, co tak naprawdę znajduje się w otrzymanej przez nas mieszaninie, musimy najpierw ją rozdzielić, a następnie poddać analizie jej składniki. Wstrzykujemy zatem niewielką ilość mieszaniny poreakcyjnej do komory dozującej chromatografu cieczerwody.

To urządzenie upraszcza i usprawnia rozdzielanie substancji (które klasycznie rozdzielano metodami krystalizacji albo destylacji). Chromatograf posiada co najmniej jedną pompę, która przetłacza rozpuszczalnik, kolumnę chromatograficzną oraz jeden lub więcej detektorów (np. spektrometrycznych). Nowoczesny chromatograf cieczerwody posiada też automatyczny dozownik próbek eliminujący żmudne dozowanie ręczne za pomocą strzykawki.

Mieszanina wprowadzona do chromatografu zostaje zabrana przez strumień rozpuszczalników (technicznie: eluentów) pod wysokim ciśnieniem i wtłoczona na wlot kolumny chromatograficznej. Kolumna to serce chromatografu. Można



Chemia XXI wieku: na pierwszym planie chromatograf cieczerwody, na drugim – laborantka przy komputerze, kontrolująca jego pracę. Wydajnie, bezpiecznie, rutynowo.

porównać ją do biegni lekkoatletycznej. Związki rozdzielane przez nas na kolumnie są w tej metaforze biegaczami. Jedni przybiegają do mety prędzej, inni później. Na mecie znajdują się rejestratory zawodników – detektory. Mierząc czasy przybycia poszczególnych zawodników do mety (tzw. czasy retencji), uzyskujemy informację, ile zawodników brało udział w biegu (czyli ile związków było w mieszaninie poreakcyjnej) oraz w jakim tempie pokonała wyznaczoną przez nas trasę (co pozwala na wydedukowanie niektórych właściwości tych związków, np. ich masy).

Oczywiście może tak się zdarzyć, że dwóch zawodników przybiegnie do mety jednocześnie. Cała sztuka chromatografii polega więc na tym, aby odpowiednio dobrać biegnię (wypełnienie kolumny) i warunki panujące na stadionie (temperaturę, rodzaj i stężenia eluentów, przepływ itd.), tak aby każdy związek ze względu na swoje cechy charakterystyczne uzyskał czas retencji różny od pozostałych związków. Na „wyjściu” chromatografu znajduje się zwykle automatyczny kolektor, czyli urządzenie kierujące rozdzielone teraz związki do osobnych pojemników.

Zamiast oka – spektrometr NMR

Pora na identyfikację rozdzielonych substancji. Badania organoleptyczne (zwłasz-

cza smaku) na szczęście odeszły już do lamusa. Rozpoznawania substancji chemicznych dokonuje się dziś na podstawie różnych zjawisk fizycznych. Wiele z nich wykorzystuje oddziaływanie światła z materią (choć to „światło” to w istocie wszelkiego rodzaju fale elektromagnetyczne; w praktyce: od zakresu radiowego, poprzez podczerwień, światło widzialne, aż po głęboki nadfiolet).

Fascynujący obszar nauki znajdującej się na styku chemii i fizyki molekularnej nazwano spektroskopią molekularną. Swą nazwę zawdzięcza molekułom, czyli cząsteczkom, które oddziałując ze światłem, tworzą widma (łac. *spectra*): każdy atom i każda cząsteczka, pozbywając się nadmiaru energii, emituje światło o charakterystycznych parametrach. To dlatego kryształki soli wetknięty w płomień palnika kuchennego sprawi, że ogień nabierze barwy żółtopomarańczowej, a wiele związków miedzi pali się w kolorze jaskrawej zieleni. Te same zależności rozciągają się jednak również na długości fali poza zakresem widzialnym – stąd różne „kolory” światła podczerwonego czy ultrafioletowego.

Do pełnego opisu oddziaływania światła z cząsteczkami czy atomami nie wystarczy znajomość fizyki klasycznej. Nie wystarczy nawet znajomość mechaniki kwantowej ani szczególnej teorii względności. Potrzeba tutaj w pełni relatywistycznej mechaniki kwantowej,

która uwzględnia efekty przewidziane przez teorię względności w mikroświecie cząsteczek i kwantów. Ten rejon fizyki to kwantowa teoria pola (QFT), bez której nie byłoby nowoczesnych metod analitycznych w chemii, biologii i medycynie.

Aby wydedukować, jakiego typu światło będzie emitował określony związek chemiczny, nawet składający się z niewielkiej liczby atomów, trzeba czasem niebylewale skomplikowanych obliczeń. Bez rozwoju podstaw fizyki nie mielibyśmy więc do dyspozycji wielu najbardziej przydatnych technik laboratoryjnych. Między innymi spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego (ang. Nuclear Magnetic Resonance, NMR). Ale jak działa spektrometr NMR?

Próbkę umieszcza się w silnym polu magnetycznym. W obecności tego pola jądra wybranych atomów (mówiąc ściślej – wektory ich momentów magnetycznych), z których zbudowana jest badana cząsteczka, wykonują tzw. precesję (ruch przypominający ten, jaki wykonuje wirujący dziecięcy bączek).

Te „wirujące bąki” naświetla się promieniowaniem o zmieniającej się częstotliwości radiowej, co powoduje ich zestrojenie się z falą radiową (osiągnięcie rezonansu). Jądra atomów są osłonięte przez chmurę elektronów o różnicowanej gęstości, która wpływa na stopień oddziaływania pola elektromagnetycznego fali radiowej z danym atomem. W zależności od stopnia zasłonięcia lub odsłonięcia jądra przez chmurę elektronową następuje rezonans przy różnych częstotliwościach. Te częstotliwości obserwujemy w postaci charakterystycznych szczytów („pików”) na widmie NMR. Nowoczesne spektrometry NMR dostarczają wielu cennych informacji o strukturze związków. Co bardzo istotne, nie niszczą badanej próbki.

To tylko przykładowe ze zmian, jakie zaszły w chemicznym laboratorium w ciągu ostatnich stu lat. Wiele zmieniły oczywiście same komputery, które nie tylko sterują aparaturą badawczą, ale także rejestrują, gromadzą i przetwarzają dane. Chemicy sami przyznają, że coraz trudniej im rozumieć, co dokładnie się dzieje w tych wszystkich skomplikowanych urządzeniach. To jednak normalna cena, którą płaci się za rozwój nauki. ©

Autor jest doktorem chemii, na co dzień zajmuje się doradztwem w obszarze specjalistycznej aparatury laboratoryjnej. Popularyzator nauki.