

Mierzecki, Roman

Spalanie i kalcynacja. Analiza wczesnych poglądów na przyczyny wzrostu ciężaru ciała

Analecta 5/1(9), 139-172

1996

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



SPALANIE I KALCYNACJA ANALIZA WCZESNYCH POGLĄDÓW NA PRZYCZYNY WZROSTU CIĘŻARU CIAŁ

1. Wprowadzenie

Ogień przyniesiony ludziom przez legendarnego Prometeusza, będący głównym źródłem światła i ciepła, stał się podstawą rozwoju naszej cywilizacji. Wyjaśnienie związanych z ogniem procesów spalania i prażenia (kalcynacji) metali wraz z obserwowaną zmianą ich ciężaru ma zarówno aspekt chemiczny – jakie zachodzą reakcje chemiczne, jak i aspekt fizyczny – jak w czasie tych procesów zmienia się ciężar ciał i jaka jest tego przyczyna? Przez wiele wieków te dwa aspekty zachowania się materii w ogniu, rozpatrywane oddzielnie, nie dawały pełnego ich wyjaśnienia. Rozwiązanie problemu przyniosły dopiero w końcu XVIII w. doświadczenia i rozumowanie Antoniego Wawrzyńca de Lavoisiera. Jego rozumowanie nie pojawiło się nagle, jak *Deus ex machina*; ma ono swoje korzenie w koncepcjach poprzedników. Aspektem czysto chemicznym zajmowało się wielu badaczy i wielu historyków chemii analizowało ich poglądy. Dla polskich historyków chemii temat ten łączył się z działalnością Michała Sędziwoja. Zagadnieniem tym zajmował się Włodzimierz Hubicki¹, Roman Bugaj², a w ostatnio wydanej monografii Zbigniew Szydło³ zestawił poglądy Sędziwoja z poglądami jego poprzedników oraz późniejszego odeń Johna Mayowa. Poglądy tego XVII-wiecznego chemika analizował również Roman Bugaj⁴. Ani Sędziwój ani Mayow nie poruszali w ogóle sprawy zmiany ciężaru ciał w wyniku spalania.

Aspekt fizyczny zmiany ciężaru ciał w trakcie ich spalania i prażenia był znacznie mniej analizowany przez historyków chemii. W niniejszym artykule postaramy się wypełnić tę lukę. Relacjonowane przez komentatorów poglądy wcześniejszych badaczy nie zawsze były dość ścisłe; często na te relacje miały wpływ poglądy uznawane za słuszne w okresie współczesnym komentatorowi. Stąd historyczna analiza tego zagadnienia wymaga podejścia krytycznego. W jej trakcie trzeba mieć na uwadze dwa istotne błędy rozumowania, popełniane przez najwybitniejszych nawet badaczy. Jak zobaczymy, często nie rozróżniali oni

gęstości (ciężaru właściwego) od ciężaru bezwzględnego, a więc wzrost gęstości traktowali jak wzrost ciężaru. Ponadto do końca XVIII w. za ciała jednorodne uważano zarówno związki chemiczne, jak i roztwory i stopy; nie rozróżniano oddziaływań fizycznych od oddziaływań chemicznych. Błąd ten popełniał również Lavoisier⁵.

Dla dzisiejszego czytelnika tekstów pisanych dwieście lat temu i dawniej ogromną trudność stanowi uwolnienie się od poglądów obecnie uważanych za słuszne i obecnego znaczenia używanych terminów. Z biegiem rozwoju nauki ulegały bowiem zmianie nie tylko znaczenia poszczególnych pojęć, ale i samych terminów; zmianom ulegał język używany przez badaczy. Analizując dawne teksty musimy starać się rozumieć język, w jakim były pisane.

2. Od starożytności do XVII w.

Oczywiście już w starożytności, a także w czasach przedhistorycznych wiedziano, że w trakcie spalania substancja znika. Zwolennicy Arystotelesa obserwując znikanie palącego się drewna uważali, że wydzielają się z niego cztery substancje proste: ogień (płomień), powietrze (dym), woda (soki) i ziemia (popiół). Obserwowano też, jak prażony metal, a nawet metal pozostawiony na powietrzu pokrywa się nalotem. Trudno dziś jednak ustalić, kiedy ówczesni filozofowie przyrody zorientowali się, że ów nalot waży więcej niż metal, z którego powstał. J. R. Partington wymienia Olimpiodorosa z V w., który zwrócił miał uwagę, że popiół waży mniej, a wapno (nalot) więcej niż substancja przed spaleniem czy kalcynacją⁶.

Zagadnieniem tym zajmował się w XIII w. alchemik Geber, podszywający się pod nazwisko VIII-wiecznego alchemika Dżabira (Gabira) ibn Hajjana. Poglądy jego musiały być jeszcze uznawane za słuszne w początku XVII w., skoro cytuje je anonimowy alchemik niemiecki, powołując się na rozdział 63 dzieła *Summa Perfectionis Magisterii*: „Pozwólcie nam usłyszeć, co Geber powiedział o owym zanieczyszczeniu metali niedoskonałych i właściwości szlachetnego Merkuriusza”. (Czytając ten tekst należy mieć na uwadze średniowieczne poglądy na budowę metali, a mianowicie, że miały one być złożone z dwu czynników: męskiej gorącej i palnej siarki oraz żeńskiej, zimnej i niepalnej rtęci – Merkuriusza). „Znaleźliśmy mianowicie – pisze dalej Geber – prawdziwe odkrycie dwojakich tajemnic, że jedna dotyczy trojkiej przyczyny niszczenia przez ogień każdego [niedoskonałego] metalu, z których pierwszą jest, że palna siarka zamknięta w swej najgłębszej istocie zapala się silnym ogniem, zmniejsza całą istotę ciał [zmieniając je] w dym i je w końcu niszczy, jakkolwiek dobra byłaby ich rtęć.

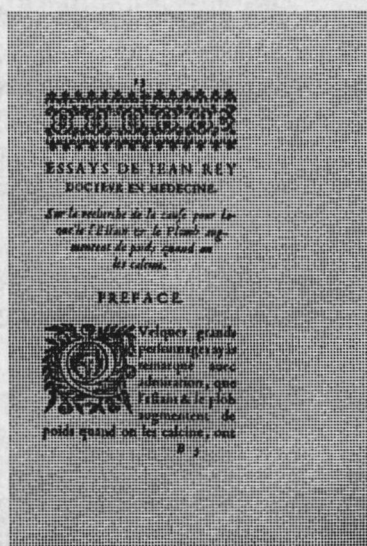
„Drugą przyczyną [jest], że ogień zewnętrzny jest przez nie powielany, przez nie przechodzi i powoduje ich wypłynięcie, jakkolwiek mogłyby one być trwałe.

„Trzecią przyczyną jest to, że ich ciała mogą się otworzyć przez kalcynację. Wtedy może je przeniknąć płomień ognia i je przepędzić w dym, jakkolwiek byłyby doskonałe. Gdy wszystkie przyczyny zepsucia działają równocześnie, to

nieodzownie ciała muszą się zepsuć i zniknąć; gdy jednak nie są razem, to szybkość zepsucia ciała nieco się spowalnia. Innym przejawem tej tajemnicy jest cecha, która wynika z obecności rtęci w ciałach. Ponieważ rtęć, jako że nie można znaleźć żadnej przyczyny jej zniszczenia lub wypędzenia, nie daje się rozdzielić na części tworzące całość, lecz w ogniu w całości swej istoty pozostaje; po tym można rozpoznać nieodzownie przyczynę jej doskonałości. Dlatego pozwól nam chwalić uwielbianego i najwyższego Boga, który ją utworzył i dał jej istotę, a w istocie właściwość, której nie można wydobyć z żadnej rzeczy w przyrodzie, która mogła jej wnieść tę doskonałość przez pewną sztukę, którą znajdujemy w najbliższej sile (potentia propinque). To jest ta, która ogień przewycięża, ale nie zostaje przewyciężona przez ogień, lecz spokojnie w nim spoczywa i się nim raduje.

W tych wypowiedzianych słowach – dalej wywodzi niemiecki chemik – Geber bezbłędnie udowadnia, że w niedoskonałych metalach nie może być materii naszego kamienia [filozoficznego], ponieważ one same w sobie [są] nieczyste i gdy się je chce oczyścić, całkowicie ulatniają się w ogniu, nasz merkuriusz z powodu swej czystości jest jednak trwały w ogniu i jemu nic nie może szkodzić⁷.

W ten więc sposób w XIII, a nawet jeszcze w początku XVII w. wyjaśniano przyczynę odporności metali szlachetnych na przemiany. Jednak w XVI i XVII w. wielu badaczy prowadziło pomiary zmiany ciężaru ciał spalanych i żarzonych, ale przedstawiane próby wyjaśnienia zjawiska były jedynie hipotezami nie popartymi dostatecznymi dowodami. Próby te krytycznie przeanalizował francuski lekarz Jean Rey w rozdziałach XVII-XXIV opublikowanej w 1630 r. rozprawy p.t. *Sur la recherche de la cause pour laquelle le Filain et le Plomb augmentent de poids quand on les calcine*⁸ (Poszukiwania przyczyny dla której cyna i ołów zwiększają



II. 1 Pierwsza strona szkicu Jeana Rey'a, doktora medycyny,
O poszukiwaniu przyczyny, z powodu której cyna i ołów zwiększają swój ciężar, gdy się kalcynuje,
Bazas 1630.

swój ciężar, gdy się je kalcynuje). Wcześniejsze rozdziały omówimy obszernie w dalszej części artykułu. W rozdziale XVII Rey przedstawił pogląd Cardanusa-Cardana (1501–1576), który stwierdził, że skutkiem ogrzewania ołowiu jego masa wzrasta o jedną trzynastą. W rozprawie *De Subtilitate* upatrywał przyczyny tego wzrostu w „umieraniu” ołowiu, gdyż wskutek ogrzewania miało zanikać „ciepło niebiańskie”, rozumiane jako „dusza”. Obecność tego ciepła nadawała życie i lekkość, a brak – śmierć i ciężkość. Jako argument potwierdzający słuszność tego rozumowania Cardan przytoczył obserwację, jakoby zwierzęta po śmierci stawały się cięższe wskutek wygaśnięcia ich wewnętrznego ognia, czyli uchodzenia z nich duszy.

W XVIII rozdziale Rey omówił poglądy Scaligera, który kojarzył wzrost ciężaru ołowiu przemienianego w wapno ze wzrostem ciężaru ceramicznych kafli i dachówek w trakcie ogrzewania. Scaliger tłumaczył ten wzrost pochłanianiem przez ogień cząstek powietrznych, zawartych w tych substancjach.

W rozdziale XIX Rey zwrócił uwagę na pogląd Caesalpinusa, który obserwował ośmio- do dziesięcio-procentowy wzrost ciężaru ołowiu w trakcie ogrzewania i przypisywał go cząstkom pochodzącej z rozżarzonych węgla sadzy, opadającej na kalcynowany ołów. Tytuł rozdziału XX brzmi: „Że wzrost ciężaru wapna cyny i ołowiu nie pochodzi od naczyń”. Również tytuły następnych rozdziałów informują o różnych, głoszonych do początku XVII w. koncepcjach przyczyn wzrostu ciężaru ciał ogrzewanych: „Że to nie pary pochodzące z węgla zwiększają ciężar”, „Że to nie lotne sole węgla zwiększają ciężar”, „Że to nie lotne sole merkuralne zwiększają ciężar”, „Że to nie wilgoć przyciągana przez wapno zwiększa jego ciężar”.

W drugiej połowie XVII w. zagadnienie wzrostu ciężaru prażonych ciał było jednym z głównych kierunków zainteresowania chemików i fizyków. W 1662 r. Le Fevre wysunął przypuszczenie, że to przyłączenie światła słonecznego jest przyczyną tego zjawiska⁹, a w 1665 r. Robert Hooke tłumaczył je przyłączeniem się do metalu cząstek kwaśnych, które uważano za lotne, w przeciwieństwie do cząstek alkalicznych soli¹⁰. W 1673 r. wyniki obszernych badań wzrostu ciężaru ogrzewanych metali ogłosił Robert Boyle. Zreferujemy je w dalszej części artykułu.

W końcu XVII w. Charras powtórzył hipotezę, zgodnie z którą wzrost ciężaru w trakcie prażenia pochodzi z przyłączenia do metalu kwasów drewna i węgla, które przeniknęły przez materiał naczyń. Przypomniał to Lavoisier w przeglądzie wcześniejszych prac na temat prażenia¹¹.

3. Rozprawa Jeana Reya

Wspomniana rozprawa J. Reya z 1630 r.⁸ została powtórnie wydana w 1777 r. po publikacji pierwszych prac A. Lavoisiera na temat kalcynacji metali; doszukiwano się bowiem analogii w tłumaczeniu zjawiska przez obu badaczy. Warto dlatego dokładniej przeanalizować rozumowanie Rey'a wyłożone w pierwszych szesnastu

rozdziałach jego rozprawy. Rozprawa opracowana została jako odpowiedź na list, który przysłał aptekarz z Bergerac, Brun. Aptekarz ów prosił o wyjaśnienie, dlaczego w wyniku kalcynacji w otwartej misie dwu funtów i sześciu uncji najczystszej angielskiej cyny po sześciu godzinach otrzymał białe wapno, które jednak mimo, że niczego nie dodawał, ważyło dwa funty i trzysta uncji. Dociekliwy aptekarz chciałby wiedzieć, skąd wzięło się te dodatkowe siedem uncji. Brun donosił też, że kalcynacja sześciu funtów ołowiu spowodowała ubytek sześciu uncji (por. aneks 1 *Angielskie i francuskie jednostki ciężaru*).

We wstępnych rozdziałach rozprawy Rey stwierdzał, że wszystkie substancje w przyrodzie są ciężkie, a więc i powietrze i ogień, choć ten ostatni ma „naturę tak subtelną, że ledwie można go uznać za substancję”. Jeżeli więc obserwujemy, że coś wznosi się ku górze, to tylko dlatego, że jest wypychane przez coś cięższego. Następnie Rey dowodził, że powietrze staje się cięższe, gdy zmieszać je z substancją cięższą np. z mgłą. Zdaniem Rey'a staje się ono również cięższe, gdy wydzielić z niego jego części lżejsze, a czynimy to, gdy ogrzewamy substancje jednorodne, do których Rey zaliczał roztwory, np. wino czy terpentynę. Podczas ich ogrzewania ulatniają się części lżejsze, a pozostają części cięższe niż pierwotne ciało. To rozumowanie odnosił Rey również do wody i powietrza, które – jego zdaniem – stają się wskutek omawianych procesów cięższe w wyniku ogrzewania. Zwracał też uwagę czytelnika na kilka zjawisk, które mają potwierdzać jego mniemanie, że ogrzane powietrze staje się gęstsze, a przez to i cięższe od powietrza zimnego. Przytaczał więc obserwacje ruchów powietrza nad rozgrzaną wystrzałem lufą armatnią, a także fakt, że człowiek mający wysoką gorączkę oddycha trudniej, co miałoby być skutkiem większej gęstości rozgrzanego powietrza.

Trzeba pamiętać o wyżej przedstawionych poglądach francuskiego lekarza, by we właściwy sposób rozumieć odpowiedź, której w rozdziale XVI rozprawy udzielił on aptekarzowi z Bergerac. Odpowiedź ta brzmi: „I aby zwiększyć trudności, mówię, należy nie tylko niepokoić się skąd zjawilo się siedem uncji, lecz oprócz tego skąd wzięło się to, co zastąpiło ubytek ciężaru, który nastąpił w sposób nieunikniony wskutek rozszerzenia się objętości cyny, zamienionej na wapno i przez utratę par i wyziewów, które się ulotniły. A więc, opierając się na już wyłożonych podstawach, na to pytanie **odpowiadam i chwalebnie podtrzymuję, że wzrost ciężaru pochodzi z powietrza, które zostało w naczyniu zageszczone, uczynione cięższym i w pewnej mierze bardziej zdolne do przylegania przez gwałtowność i długotrwałe gorąco pieca; które to powietrze miesza się z wapnem (co jest ułatwione przez częste mieszanie) i przywiązuje się do najmniejszych cząstek**” (podkreślenie moje – R.M.) (je reponds et soutiens glorieusement, Que ce surcroit de poids vient de l'air, qui dans les vase a été éspessi, appesanti, et rendu aucunement adhesif, par la vehemente et longuement contunuée chaleur du fourneau; lequel air se mesle avecques la chaux, (a ce aydant l'agitation frequente) et s'attache a ses plus menues partie:). Zwróćmy uwagę na dalszy ciąg tego zdania: „nie inaczej niż woda czyni cięższym piasek, który

wrzucicie i zmieszacie z nią przez zmoczenie i przyleganie do najmniejszych jego ziaren”. W rozdziale XXVI Rey wyjaśniał, że ciężar dalej ogrzewanego wapna nie może już wzrosnąć, ponieważ „zagęszczone powietrze staje się do niego przywiązane i przylega po trosze do najmniejszych z jego cząstek... lecz gdy wszystko jest nasycone, nie może go więcej przyjąć”. A zatem samo powietrze stało się cięższe i wtedy dopiero przyłączyło się do wapna, a nie do metalu. Trudno więc powiedzieć, czy koncepcja ta jest identyczna ze sposobem, w jaki dziś rozumiemy koncepcje Lavoisiera. Niełatwo też zrozumieć znaczenie użytego przez Rey’ a słowa „attacher” – przywiązywać, zwłaszcza wobec porównania ze zwilżaniem piasku przez wodę.

Do koncepcji wzrostu ciężaru powietrza wskutek ogrzewania wrócimy jeszcze omawiając podejście Michaiła Łomonosowa.

4. Wążący ogień; Robert Boyle i Nicolaus Lemery

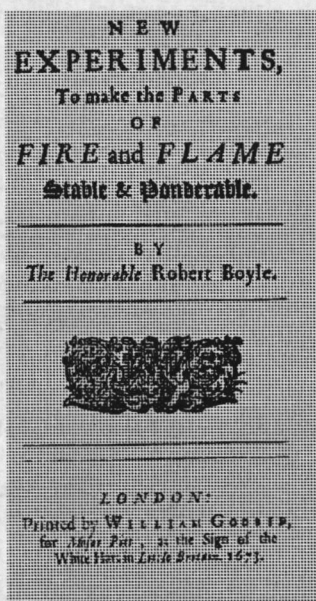
W XVII wieku coraz bardziej rozpowszechniał się korpuskularny pogląd na teksturę materii, coraz częściej uważano, że wszystkie substancje zbudowane są z oddzielnych cząstek. Do substancji tych zaliczano też ogień i płomień. Pogląd ten znajduje odbicie w publikacjach najwybitniejszych chemików II połowy XVII w., Roberta Boyle’ a i Nicolasa Lemery’ ego. W 1661 r. Boyle opublikował jedno ze swych głównych dzieł *Sceptical Chymist*. Krytycznie omawiał w nim dawne, wciąż jeszcze rozpowszechnione poglądy i tylko zapowiadając dalsze doświadczenia, przedstawiał własny punkt widzenia. Wzrost ciężaru prażonych ciał wyjaśniał w sposób następujący: „...jeśli prawdą jest to, co było poglądem Leukippa i Demokryta i innych pierwotnych atomistów starożytności, że nasz kuchenny ogień, taki jakiego używają chemicy, składa się z roju małych, szybko poruszających się ciał, które dzięki swym małym rozmiarom i ruchowi mogą przenikać przez najtwardsze i najbardziej zwarte ciała, a nawet przez samo szkło; jeśli, jak mówię, jest to prawdą, to... nie będzie nieracjonalnym przypuścić, że wielka ilość tych ognistych korpuskuł, przechodząc przez pory szkła, może połączyć się z częściami ciała złożonego, na które one działają i razem z którymi tworzą nowy rodzaj ciał związanych. (...) i jeśli byłoby prawdopodobne, że korpuskuły ognia, choć wszystkie skrajnie małe i poruszające się bardzo szybko, nie wszystkie są tej samej wielkości i postaci (...) mógłbym przedstawić wam dla podtrzymania tego co właśnie powiedziałem, pewne szczególne doświadczenia, które skłoniły mnie do myślenia, że cząstki otwartego ognia działające na niektóre ciała, mogą rzeczywiście łączyć się z nimi i dodawać do jego ciężaru (w oryginale angielskim: „quantity”)¹².

W następnym roku Boyle ogłosił wyniki liczbowe swych pomiarów objętości pewnej ilości gazu w różnych ciśnieniach, lecz w tej samej temperaturze.

Podobny pogląd na przyczynę wzrostu ciężaru w trakcie prażenia metali przedstawił Nicolas Lemery w wydanym po raz pierwszy w 1675 r. i w ciągu kilkudziesięciu lat dwadzieścia razy wznawianym, bardzo rozpowszechnionym

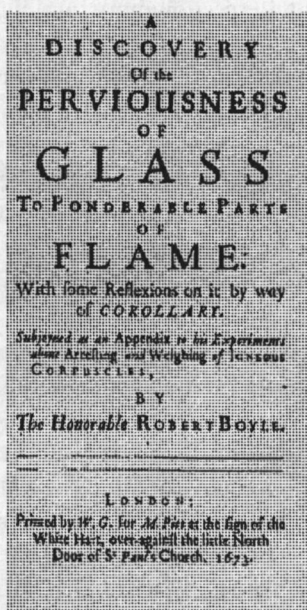
podręczniku *Cours de chimie*: „Ołów jest metalem przepelnionym siarką. W trakcie kalcynacji ołowiu i wielu innych materiałów następuje efekt, który zasługuje, by się nad nim zastanowić, to jest, że chociaż pod działaniem ognia rozprasza się część siarkowa lub lotna ołowiu, co powinno zmniejszyć jego ciężar; jednak po długim kalcynowaniu stwierdza się, że zamiast by ważył on mniej, waży on więcej, (...) Należy odnieść ten efekt do tego, iż pory ołowiu są w ten sposób ułożone, że gdy korpuskuły ognia w nie wnikną, to pozostają one związane i zlepione w porach, przytulone do metalu i przezeń skrępowane bez możliwości wyjścia i zwiększają ciężar. Wiem, że zarzucą mi, że korpuskuły ognia, będąc bardzo lekkie ze swej natury, nie mogą tak znacznie zwiększyć ciężaru ołowiu. Sądzę jednak, że bardzo wielka ich liczba wchodzi w pory metalu”¹³.

Zapowiedzianą w 1661 r. w *Sceptical Chymist* publikację o doświadczeniach dotyczących prażenia metali ogłosił Boyle w 1673 r.¹⁴ Jest ona rzadko omawiana, poświęcimy więc jej więcej uwagi. Pamiętając o przedstawionym wyżej korpuskularnym podejściu tego autora do zjawisk przyrodniczych, nie jesteśmy zdziwieni tytułem publikacji: *Nowe doświadczenia aby uczynić ogień i płomień ważącymi*. Publikacja ta składa się z trzech części. Pierwsza z nich ma tytuł zbliżony do tytułu całości: *Nowe doświadczenia by uczynić części ognia i płomienia zestalonymi i ważącymi* zawiera opis 21 doświadczeń poklasyfikowanych w cztery serie zależnie od sposobu ich przeprowadzenia, w drugiej zatytułowanej *Dodatkowe doświadczenia nad zatrzymaniem i ważeniem cząstek ogniowych* znajdujemy opis ośmiu dalszych doświadczeń. Część ta uzupełniona jest dodatkiem *Odkrycie*



Il. 2 Strona tytułowa pierwszej części rozprawy Roberta Boyla o ważących cząstkach ognia

przenikalności szkła dla ważących części płomienia z niektórymi refleksjami nad nią w formie wniosku. Obejmuje ona opis trzech następnych doświadczeń i czterech ogólnych wniosków (corollary).



Il. 3 Strona tytułowa trzeciej części rozprawy Roberta Boyle'a, w której omawia przenikalność szkła dla ważących cząstek ognia.

We wstępie do całości publikacji Boyle przedstawił jej genezę. Wpierw zwrócił uwagę, że międzygwiazdowa przestrzeń wszechświata składa się z przezroczystego eteru i powietrza. Ciała świecące, gwiazdy stałe i planety, których w stosunku do całej przestrzeni jest bardzo niewiele, pływają w niej jak ryby w wodzie. Choć Słońce i gwiazdy wydają się naszym oczom nieprzezroczyste, mogą one, jak to gdzie indziej wykazał autor, przepuścić przez siebie promienie światła. Perypatetycy uważali światło za jakość, Kartezjaniści – za odmianę ruchu materii eterowej, zaś dawni atomiści i zwolennicy poglądów Gassendiego stwierdzali, że światło jest cielesne (Light to be Corporeal), a Słońce może być ciałem ogniowym (Sun might be a Fiery Body). Boyle chciałby te sprzeczności usunąć, ponieważ sądził, że miałyby to znaczenie „dla filozofii naturalnej, chemii, botaniki i (jeśli taka istnieje) dopuszczalnej części astrologii”. Chciałby on coś wniesić do rozwoju problemu i przekonać się, jakie są przyczyny wzrostu lub zmniejszenia ciężaru ciał poddanych działaniu ognia. We wstępie do pierwszej z trzech części tej publikacji napisał, że chciałby dokazać, iż „sam płomień może tak wnikać w ciała zwarte i stałe, by spowodować wzrost ich masy i ciężaru” (that Flame it-self may be as 'twere incorporated with close and solid Bodies so as to increase their bulk and weight).

W pierwszej serii doświadczeń miedź i srebro umieszczone były w tyglu otwartym i ogrzewane zapaloną siarką, dodaną do tygla z metalem. W pierwszym doświadczeniu blaszkę miedzianą, ważącą 2 drachmy i 25 granów (9,4 g) umieszczono poziomo w tyglu do topienia, w którego dnie zrobiono mały otwór, by uchodziły przezeń gazy, które mogłyby zmienić położenie blaszki. Następnie wprowadzono 6 uncji (187 g) siarki, która przyłgnęła do miedzi. Tak blaszkę obrócono, by płomień zapalanej siarki obejmował blaszkę, a nie stopioną siarkę. Siarka żarzyła się przez około dwie godziny i chociaż blaszka była od niej odległa, płomień obejmował większą część grubości blaszki. Po usunięciu małej ilości zanieczyszczeń wraz z przylegającymi cząstkami miedzi blaszka ważyła o 32 grany (2,1 g) więcej niż na początku, czyli przybrała ponad 1/5 swego ciężaru¹⁵, ściślej 22,1% (procentowy przyrost masy substancji w tym i dalszych doświadczeniach obliczony został na podstawie danych liczbowych przytoczonych przez badacza).

W drugim doświadczeniu Boyle ogrzewał kawałek oczyszczonego srebra szterlingowego ważący 1 drachmę bez dwu granów (58 granów = 3,758 g) i analogicznie jak poprzednio zastosował siarkę w ilości dostosowanej do wielkości tygla (1,25 uncji = ok. 39 g). Po sześciu godzinach płomień zmienił dolną powierzchnię srebrnej blaszki, a ciężar jej wyniósł 1 uncję i 5,75 granów. Przybyło zatem 7,75 grana (0,50 g), co stanowi 1,34% jej pierwotnego ciężaru. Przyczynę mniejszego względnego przyrostu ciężaru blaszki srebrnej niż blaszki miedzianej Boyle upatrywał w większej „ciężkości właściwej” srebra niż miedzi, wynikającej z mniejszej porowatości srebra. Miedź miała więc, według Boyle'a, większą możliwość „zbiegania się” (congruity) niż srebro¹⁶. Boyle przyjmował, że podobnie jak inne ośrodki (menstrua) np. *mocna woda* (kwas azotowy) i *oleum vitrioli* (kwas siarkowy), płomień składa się z cząstek, które łączą się z cząstkami ciał poddanych jego działaniu, wchodząc do ich porów lub ściślej w nich przylegając i w ten sposób zwiększają ciężar ogrzewanego metalu. Rozwijał to dalej we wnioskach (corollaria) zamieszczonych we wspomnianym uzupełnieniu (appendix).

Boyle starał się wykazać w drugiej serii doświadczeń, że właściwości zwiększania ciężaru ma nie tylko świecący płomień, lecz szerzej rozumiany ogień. Umieszczał więc substancje w tyglu, który wprowadzał do pieca probierskiego. Jedna uncja (31,1 g) miedzi ogrzewana w piecu przez dwie godziny zwiększyła swój ciężar o 30 granów (1,94 g), zaś po trzech godzinach – o 49 granów (3,175 g). Wzrost ten wynosił więc odpowiednio 6,25% i 10,21%.

Następnie Boyle stwierdził, że róg jelenia, z którego wykonywano niektóre misy o wadze 2 uncji, stracił w piecu 6 lub 7 granów; tłumaczył to obecnością w materiale rogu substancji tłustych i lotnych.

Do dalszych doświadczeń Boyle brał różne metale i ich mieszaniny. Wkładał je do dobrej misy (catinum), przykrywał dachówką i wsadzał do pieca probierskiego. Metal topił się i pozostawał w poprzednim miejscu w zagłębieniu misy. Po dwu godzinach próbka była skalcyonowana i wtedy ją ważono: 1 uncja angielskiej cyny

zwiększyła w tych warunkach swój ciężar o 1 drachmę, czyli o 12,5%; 1 uncja ołowiu – o 7 granów (o 1,64%).

Boyle umieścił też w tych warunkach 2 uncje mieszaniny złożonej z 10 części popiołu z kości i 2 części popiołu drzewnego. Po dwu godzinach przyrost ciężaru wynosił 2 grany (0,21%). We wniosku z tego doświadczenia badacz wyraził przypuszczenie, że przyrost ten może pochodzić z wilgoci powietrza lub od „wodnych cząsteczek powietrza”.

Następnie Boyle stwierdził, że 4 drachmy opilków stalowych, umieszczonych w zasklepionej misie, ogrzewanych w piecu przez dwie godziny zwiększyły swój ciężar o 1 drachmę i 6 granów (pierwotny ciężar 121,41 g, przybyło 31,5 g tzn. 25,3%); 3 drachmom i 32,25 granom srebra przybyło w tych warunkach 2,25 granów, czyli wzrost ciężaru wyniósł 0,15%, natomiast 1 drachma opilków cynkowych ważyła po trzech godzinach o 6 granów więcej, czyli o 1,25%. Boyle badał też nieznaną w Europie metal, zwany we wschodnich Indiach tutenag. Po dwu godzinach ogrzewania ciężar 2 drachm tego metalu wzrósł o 24 grany, czyli o 2,5%.

W ostatnim doświadczeniu tej serii Boyle we wspomnianej misie o wadze 2 uncji zmieszał 2 uncje ołowiu i 1 drachmę opilków miedzianych. Po dwugodzinnym ogrzewaniu w piecu probierczym stwierdził, że całkowity ciężar materii wraz z misą wynosił 4 uncje, 3 drachmy i 12 granów. Bez podania obliczeń Boyle zauważył jednak, że ciężar ten winien być większy o 9 granów, co przypisywał zarówno rozproszeniu części materii przez dymy, jak też przenikaniu jej przez materiał misy¹⁷.

Przystępując do opisu trzeciej serii doświadczeń Boyle wyjaśnił, że postanowił sprawdzić, jaka będzie zmiana ciężaru metali i minerałów ogrzewanych nie bezpośrednio ogniem, lecz od niego odseparowanych. W tym celu specjalnym błotem uszczelnił tygiel, tak by nic nie mogło doń się dostać, ani z niego wyjść. Ogrzewał 1 uncję stali i przekonał się, że po dwu godzinach ciężar jej wzrósł o 5 granów, a po sześciu godzinach – o 6 granów (o 1,04% i 1,25% odpowiednio). Natomiast w ogrzewanej w ten sposób mieszaninie 2 uncji miedzi, 2 uncji cyny i 2 uncji ołowiu, po sześciu godzinach przybyło miedzi 8 granów (0,83%), cyny – 6 granów (0,625%), ołowiu zaś w ogóle nie można było znaleźć. Sama jednak 1 uncja miedzi ogrzewana przez trzy godziny wykazała wzrost o 21 granów (4,38%), zaś połowie funta (186,6 g) cyny zwanej Bloth-Tin po dwu dniach przybyło tylko 2 grany (0,07%). To ostatnie doświadczenie wykonał Boyle w szczególnie dobranej retorcie szklanej w piecu tak skonstruowanym, by ciepło topiące metal nie powodowało pęknięcia szkła. Po wyjęciu metal był starannie ważony; jego powierzchnia zmieniła wygląd.

Poprzednie doświadczenia przeprowadzane były z materiałami, których właściwości sprzyjały zwiększaniu ciężaru pod wpływem ogrzewania. W czwartej serii badacz postanowił sprawdzić, jaki wpływ będzie miało dodanie środków takich, jak popioły i wapna substancji uprzednio poddanych działaniu ognia.

Wpierw zauważył, że wapno cynowe nie topi się w piecu probierskim, a następnie zmieszał z nim 1 uncję uprzednio żarzonych opiłków żelaznych. Po dwu godzinach prażenia stwierdził, że ciężar tej mieszaniny wzrósł o 2 drachmy i 22 grany (o 29,6%)¹⁸.

Dalsze doświadczenia, których opis znajduje się w dodatku (Mantissa) do wyżej omówionej pracy, stały się możliwe dzięki otrzymaniu przez badacza naczynia szklanego ukształtowanego według jego projektu. Umieszczony w nim metal miał być tak długo ogrzewany w ogniu, jak długo można było je utrzymać bez zmęczenia w taki sposób, by szkło nie uległo zmiękczeniu.

W pierwszym doświadczeniu Boyle umieścił 8 uncji czystej cyny w mocnej kolbie o długiej szyi, którą ostrożnie ogrzewał przez jedną godzinę nad żarzącymi się węglami, tak jednak, by kolba nie dotykała węgla. Metal, gdy był stopiony, ulegał kalcynacji. Przez większą część czasu otwór kolby był zamknięty papierową czapą (która w trakcie ruchu kolby odpadła), by uniemożliwić wejście do kolby przez szyję powietrza i „wyziewów” węgla. Po oznaczonym czasie usunięta nad ognia kolba została ułamana, by wyjąć metaliczną masę, której powierzchnia była pokryta niewielką ilością czerniawego wapna; więcej tego wapna znajdowało się jednak poniżej metalu, gdzie dotykało ono szkła. Po usunięciu odłamków szkła zawartość kolby ważyła 18 granów więcej niż na początku (przyrost o 0,55%). Po odrzuceniu wapna sam metal ważył tylko o 3 grany więcej (przyrost o 0,093%), ale dalsze ogrzewanie całej zawartości kolby przed dwie godziny spowodowało, że ważyła ona 8 uncji i 24 grany (przyrost o 0,744%).

Aby uniknąć podejrzeń o nieprawidłowość wykonania doświadczenia, Boyle umieścił 8 uncji takiej samej cyny w hermetycznie zamkniętej retorcie szklanej z długą szyją, tak by nie mógł do niej wejść dym ani żadne „cząstki solne” z powietrza i w sposób podobny jak poprzednio trzymał retortę nad rozżarzonymi węglami przez około sześć godzin. Po kwadransie cyna się stopiła, lecz badacz nie zauważył innych zmian.

W następnym doświadczeniu Boyle stopił powtórnie w tyglu cynę wygrzaną poprzednio, wziął z niej dokładnie 8 uncji i umieścił w naczyniu kulistym z szyją długą na dwadzieścia palców. Naczynie zostało hermetycznie zamknięte i podczas gdy było ono przez pewien czas poruszane nad ogniem, by nie pękło wskutek „rozrzedzania” powietrza, metal przez godzinę i kwadrans znajdował się w stanie ciekłym. Po usunięciu z ognia i ostudzeniu koniec naczynia został ułamany, lecz zanim jego dno zostało zbite dla wyjęcia metalu, badacz zaobserwował, że górna powierzchnia metalu pociemniała i stała się silnie chropowata, natomiast między metalem a dnem naczynia zebrała się znaczna ilość czerniawego wapna, sąsiednie zaś powierzchnie błyszcząły w świetle świecy kolorem złotym. Ciężar metalu (pierwotnie 8 uncji) wzrósł o 23 grany (o 0,707%), zaś oddzielone wapno ważyło 80 granów (2,46% pierwotnego ciężaru cyny).

Bardzo interesujący jest opis następnego, piątego z kolei doświadczenia opisanego w Dodatku: „2 uncje opiłek cynowych, starannie zważonych, zostały

umieszczone w retorcie, której szyję wyciągnięto w ostre zakończenie. Retortę umieszczono nad żarzącymi się węglami, które w ciągu określonego czasu wypędzaly dym przez wąski otwór w zakończeniu szyi. Następnie zakończenie zostało zalepione pieczęcią i retorta była utrzymywana w ogniu przez dalsze dwie godziny, po czym zakończenie zostało ułamane. Po tym fakcie usłyszeliśmy, jak ogień zewnętrzny wdarł się doń dlatego, że gdy retorta była zapieczetowana, zawarte w niej rozrzedzone powietrze stało się gwałtowniejsze. Potem wypukłość naczynia została zbita, a wyjęta cyna ważyła 2 uncje i 12 granów [co stanowi wzrost o 1,25% pierwotnej masy cyny – R.M.], który to ciężar został, jak widać, uzyskany z ognia działającego na metal. W szyi retorty, w zagłębieniu zebrała się jasna i lepka substancja, łagodnie przylegająca, której zapach nieprzyjemny przypominał Olei tartari¹⁹. To doświadczenie po stu latach powtórzy Lavoisier.

Cynk umieszczony w podobnej retorcie i ogrzewany przez cztery godziny w całości przesublimował do jej górnej części, natomiast ciężar podobnie ogrzewanych 4 uncji ołowiu wzrósł o 39 granów, tj. o 1,56%.

Boyle próbował badać nie tylko metale. Stwierdził, że czerwony koral czernieje w wyniku ogrzewania, a jego 2 uncjom przybyło 3,5 grana. Ogrzewane wapna ołowiu i cyny nie wykazują wzrostu ciężaru, a do opisu tego ostatniego doświadczenia Boyle dołączył następujący komentarz: „Cząstki ogniowe, które przylegają do ogrzewanej materii, są dostatecznie liczne, by nie tylko zwiększyć ciężar, co przejawia się w bilansie [wagowym], lecz kompensują wszystkie inne cząstki lotne, które są wypędzone przez ogień”²⁰.

Appendix uzupełniający właściwe dzieło poprzedził Boyle listem do czytelnika, w którego zakończeniu przestrzegał go, iż naczynie szklane nie może swej materii użyć ciałom, które ono zawiera i które są w nim przetwarzane. I chociaż ciężar metalu mógłby wzrosnąć na skutek domieszki zniszczonego szkła, nie chciałby on szerzej rozpowszechniać takich podejrzeń. Takich przypadków jest niewiele, lecz poszczególne z nich dają się zauważyć. Mimo tych zastrzeżeń w dalszym ciągu publikacji Boyle nie wykluczał takiej możliwości.

We wstępie do opisu doświadczeń referowanych w tym appendixie i wysuwanych z nich wniosków, broniąc się przed osobami sceptycznie odnoszącymi się do jego wywodów, Boyle podkreślał, że starał się tak zmodyfikować sposób wykonywania doświadczeń, by uzasadnić przyjęte założenia. Do pierwszego doświadczenia badacz wziął siarkę z powodu jej wybornej palności i łatwości zapłonu, umieścił ją w małym podwójnym naczyniu tak wykonanym, by jedno mogło zawierać ilość węgla wystarczającą, by utrzymać siarkę w stanie stopionym, mniejsze miało zaś formę misy (retorty). Naczynia te zostały ze sobą spojone specjalną masą (caemento), by cały osad (pochodzący z ognia węgla i z dymu) gromadził się wokół otworu płaskiej części i by do retorty dopuścić tylko płomień siarki. Potem 2 uncje opiłków cyny starannie zważonych i umieszczonych w retorcie szklanej, tak aby do zamkniętego zakończenia szyi można było w odpowiednim czasie doprowadzić siarkę, ostrożnie zostało poddane działaniu ognia. Po

prawie dwu godzinach metal się stopił. Po tym czasie Boyle ogrzewał jeszcze przez sześć godzin retortę wraz ze stopionym metalem. Następnie zebrał dużą ilość czerniałego wapna oraz tę jego część, która zespoliła się z powierzchnią metalu. Przekonał się, że sama pozostała cyna była o 4,5 grana cięższa niż na początku. Powtórzenie tego doświadczenia pozwoliło mu zważyć pozostałą cynę wraz z powstałym wapnem. Łączny ich ciężar wynosił o 11,5 grana więcej niż początkowy ciężar opiłków. Zatem przyrost ciężaru wyjętej cyny wynosił 0,47%, zaś łącznie z powstałym wapnem – 1,20%.

Analizując te doświadczenia Boyle sugerował, że „choć jest to bardzo nieprawdopodobne, ale nie niemożliwe” przyrost ciężaru materiałów wystawionych w naczyniach szklanych na działanie ognia mógłby pochodzić nie od cząstek ognia, lecz od cząstek samego szkła rozpuszczonego siłą intensywnego ognia²¹.

Ostatnie z tego typu doświadczeń przeprowadził Boyle z 1 uncją ołowiu. Po dwu godzinach ogrzewania w płomieniu spirytusowym złamał zakończenie szklanej retorty, przy czym usłyszał, jak powietrze z szumem wdarło się do jej wnętrza. Uznał to za dowód, że naczynie było nie uszkodzone. Całość ważyła 7 skrupułów (tzn. 140 granów), a określony przez badacza przyrost ciężaru 1 uncji ołowiu wynosił 6 granów (1,25%). Komentując wynik tego doświadczenia Boyle przypuszczał na podstawie pojęć przyjętych wówczas przez chemików, że cząstki, które niegdyś przynależały do płomienia, przechodzą w związek z cząstkami ołowiu i zwiększają jego ciężar. I tak, pisał Boyle, „owe siedem skrupułów wapna, które badaliśmy w doświadczeniu trzecim ważone w powietrzu i w wodzie spowodowały zwiększenie bezwzględного ciężaru metali przez cząstki płomienia silniej do nich przylegające, podczas gdy agregat ołowiu i wygaszonego ognia stracił wiele z ciężkości właściwej (specific Gravity). Jako że ołów rozpuszcza się w wodzie w stosunku jak 11,5:1, to wapno ołowiowe może zawierać masę wody w proporcji 9:1. Skąd więc – zastanawiał się dalej Boyle – może pochodzić ten wzrost ciężkości absolutnej w metalach wystawionych na działanie płomienia, jeśli nie z jakiś cząstek ważących płomienia? I w jaki sposób cząstki te mogą wnikać w cząstki metali zamknięte w szkle, jeśli nie po przeniknięciu przez pory szkła?”²². Porównując wyniki liczbowe doświadczeń, w których metal był ogrzewany bezpośrednio ogniem i tych, w których metal był umieszczony w szklanym naczyniu Boyle doszedł do wniosku, że szkło przepuszcza tylko lżejsze i bardziej ruchliwe cząstki ognia, zatrzymując większe.

Pracę tę zakończył Boyle czterema wnioskami (corollaria), które zawierają refleksje z przeprowadzonych doświadczeń. W pierwszym z nich dowodził, że cząstki płomienia mogą łączyć się z ogrzewanymi ciałami nawet, gdy są one oddzielone szklanymi ściankami, ponieważ dostatecznie ich dużo dociera do tych ciał poprzez szkło. Cząstki te działają podobnie jak cząstki innych odczynników, takich jak kwasy azotowy (aqua fortis) czy siarkowy (oleum vitrioli). Działanie kwasu azotowego powoduje wzrost ciężaru nie tylko o zauważone 6 granów, lecz w dodatku o 120 granów, które zamieniają się w proszek w wyniku zgryzienia

(corrosione), ponieważ ilość ciała gryzącego jest równa około 1/20 ilości ciała poddawanego korozji²³.

We wniosku III Boyle wypowiadał się jako zdecydowany zwolennik poglądów atomistycznych i na tej zasadzie wysuwał hipotezę, że cząstki ognia nie muszą trwale łączyć się z cząstkami ciał, lecz mogą się od nich odłączać i przenikać przez szkło nie tylko do wewnątrz, lecz również na zewnątrz naczynia. Cząstki ognia, które przeniknęły przez szkło do substancji w nim zawartej dzięki swej gwałtowności, mogą również dzięki niej zmienić strukturę tej substancji²⁴.

W ostatnim IV wniosku Boyle wrócił do interpretacji doświadczenia z wapnem ołowiowym, lecz wyraźnie zaznaczył, że proponowane przez niego wyjaśnienie zjawiska jest tylko jednym z możliwych, ale nie jedynym²⁵.

Do tego rodzaju doświadczeń wracał Boyle jeszcze w latach 1676–78 po skonstruowaniu w 1671 r. pompy powietrznej, zwanej Machina Boyliana²⁶. Badał w niej różne właściwości powietrza oraz obserwował zmiany hermetycznie zamkniętej substancji, ogrzewanej światłem słonecznym za pomocą skupiającej soczewki²⁷. Objętość ciała wewnątrz pompy była zamknięta słupem rtęciowym i jej zmiany określał badacz na podstawie różnic wysokości tego słupa. Spalając bursztyn w pompie częściowo opróżnionej z powietrza, zauważył początkowo wzniesienie się słupa rtęci o wysokość jednego palca. Świadczyło to o zmniejszeniu się objętości powietrza, w którym bursztyn był spalany. Podobnie wzrost słupa rtęci zauważył badacz, gdy spalał siarkę i kamforę. W wyniku takiego ogrzewania zauważył też zmniejszenie ciężaru 1 drachmy minii o 1/4 grana, ubytek ciężaru 1 uncji wapna cynowego i minii o 1/64 grana i wzrost ciężaru uprzednio w ogniu wygrzanego koralu o 1/16 grana. Ciężar węgla drzewnego i siarki nie ulegał zmianie po takim ogrzewaniu. O ogrzewaniu substancji za pomocą światła słonecznego i zjawisku zmniejszania się objętości powietrza, w którym spalane były substancje, wspominał Lavoisier w opracowaniu z 1773 r.²⁸

Jak widać z powyżej zreferowanych prac Roberta Boyle'a, interesował go wzrost ciężaru różnorodnych ciał ogrzewanych różnymi metodami. Wszystkie wyniki interpretował jako potwierdzenie przyjętego na wstępie założenia o ważących cząstkach ognia. Zaobserwował, co prawda, że szczelnie zamknięta kolba szklana, zawierająca ogrzewany metal, wciąga po otwarciu z szumem powietrze; uważał to jednak za wynik rozrzedzania powietrza wskutek ogrzewania. Wydaje się dziwne, że badacz, który określił zmiany ciśnienia pod wpływem zmian objętości, mógł sądzić, że ogrzewanie powietrza bez zmiany jego objętości spowoduje obniżenie wywieranego przezeń ciśnienia. Choć Boyle przytoczył hipotezę o łączeniu się z metalem „solnych części” powietrza, który to składnik możnaby uznać za prototyp tlenu, to jednak do tej hipotezy nie przywiązywał prawie żadnej wagi.

Do podobnych jak Boyle wniosków dochodził początkowo Johann Kunckel (1630–1708), który w 1677 r. prażył antymon i stwierdził, że ciężar 1 funta tego metalu wzrósł w wyniku prażenia o 6 skrupułów, lub nawet o całą uncję²⁹. W 1716 r.

zmienił on jednak swój pogląd, uznał, że nie jest możliwe by cząstki ognia przeniknęły przez szkło³⁰, zaś przyrost ciężaru wyjaśniał zgęszczeniem substancji wskutek wypędzenia z porów metalu znajdującego się tam powietrza. Bardziej ściśnięta substancja wywiera większe ciśnienie i to przejawia się wzrostem jej ciężaru (...die Theile dicker einander fallen, und also die darzwischen hebende Luft weggetrieben wird, so druckt es mehr durch selbige und vermehrt das Pondus welches auch an dwer Calcination des Bleyes zu sehen, dass solches viel Pfund auf einen Centner zunimmt)³¹. Twierdził więc Kunckel, że 1 cetnar ołowiu zwiększa w wyniku kalcynacji swój ciężar o 1 funt. Zaslugą Johanna Kunckela było też ulepszenie metody otrzymywania fosforu, zaproponowanej w 1699 r. przez Branda. Badania nad spalaniem fosforu odegrały w drugiej połowie XVIII w. istotną rolę w ustaleniu przyczyny wzrostu ciężaru w trakcie kalcynacji.

5. Wzrost ciężaru przez ubytek flogistonu

Na przełomie XVII i XVIII w. sformułowane zostały dwie teorie, które zawaładnęły umysłami większości XVIII-wiecznych fizyków i chemików. Była to teoria ciężenia powszechnego i teoria flogistonu. Pogodzenie podstawowych założeń tych dwu teorii było właściwie niemożliwe. Teorię flogistonu sformułował Georg Ernst Stahl rozwijając koncepcję Johanna Joachima Bechera o „ziemi tłustej” jako nieodzownym składniku ciał palnych. W gruncie rzeczy owa „ZIEMIA TŁUSTA” była przetworzeniem alchemicznego pierwiastka – siarki. Według teorii Stahla wszystkie ciała palne zawierać miały niewyodrębialny pierwiastek „flogiston”, który miał uchodzić z nich w powietrze w trakcie prażenia lub przenikać do substancji spalanej. Metale miały zawierać więc flogiston, który uchodząc z nich w trakcie prażenia zamieniał metal w wapno (ziemię). Stahl nie poruszał w swych pracach problemu zmiany ciężaru prażonego ciała, jednak było przecież wówczas dobrze wiadomym, że ciała w trakcie prażenia zwiększają swój ciężar. Koncepcja ujemnego ciężaru flogistonu była w świetle teorii powszechnej grawitacji Newtona trudna do przyjęcia. Istniały jednak próby pogodzenia tych teorii. Niektórzy uczeni, wśród nich Joseph Black i Louis Bernard Guyton de Morveau przez pewien czas głosili, że flogiston nie ciąży ku ziemi, lecz nadaje zawierającym go ciałom dążenie przeciwne³². Odkrycie wodoru przez Cavendisha w 1766 r., pierwiastka palnego i lżejszego od atmosferycznego powietrza pozwoliło wysunąć hipotezę, że owo „palne powietrze” jest samym flogistonem. Wkrótce też G. Walerius, a w 1772 r. Guyton de Morveau godząc teorię grawitacji z teorią flogistonu przyjęli, że flogiston ma swój ciężar, lecz jest on mniejszy niż ciężar (ściślej gęstość) powietrza³³. Ciała, które go zawierały (np. metale), musiały więc w powietrzu ważyć mniej, niż powstające z nich ciała pozbawione flogistonu. (np. wapna). Zmniejszenie ciężaru ważonej w powietrzu substancji zawierającej flogiston tłumaczyli więc prawem Archimedesa.

Mimo błędnych, jak dziś wiemy, założeń nie możemy nie doceniać pozytywnej roli teorii flogistonu w rozwoju chemii. Ta pierwsza teoria chemiczna usy-

stematyzowała reakcje zwane dziś utleniająco-redukcyjnymi i dzięki temu ułatwiła ich jednolite ujęcie przez Lavoisiera, ponadto na jej podstawie zostały opracowane technologie otrzymywania dwu tak ważnych produktów jak kwas siarkowy i soda.

Teoria flogistonu odciągnęła jednak uwagę uczonych od poszukiwania istotnych przyczyn wzrostu ciężaru w trakcie prażenia i spalania. Uczeni, którzy się tym problemem zajmowali, nie przejmowali się szczególnie teorią flogistonu. Nie posługiwali się nią Etienne François Geoffroy i Wilhelm Homberg, którzy w latach 1702–1709 stwierdzali, że wapna antymonu, ołowiu, cyny i rtęci są cięższe od metali, z których powstały³⁴. Potwierdzali oni tylko wyniki badań Boyle'a, nie powtarzając jego interpretacji. Inni, jak np. Hermann Boerhaave, którego poglądy poniżej szerzej omówimy, odrzucali koncepcję flogistonu jako zbędną i nic nie wnoszącą wobec dawniejszych teorii alchemicznych, bardzo przez tego holenderskiego lekarza cenionych³⁵.

6. Pogląd Hermanna Boerhaavego

Hermann Boerhaave, który – jak wspomnieliśmy – nie akceptował koncepcji flogistonu, pięćdziesiąt lat po publikacjach Boyle'a powrócił do zagadnienia ciężaru cząstek ognia. W wydanym w 1732 r. podręczniku *Elementa Chemiae* poruszył ten problem w drugiej części tomu I w rozdziale zatytułowanym: *De pubulo Ignis ex Fossilibus (O pożywianiu się ognia kopalinami)* w paragrafach 17 i 20³⁶. W pierwszym z nich, krótkim, autor przedstawił pogląd, zgodnie z którym ogień udoskonala ciała czyniąc je niewidzialnymi. Uznawał za błędne mniemanie innych badaczy, twierdzących, że wzbudzony uprzednio ogień zamienia w siebie samego płonące ciała palne. Zdaniem Boerhaavego w otwartym powietrzu ogień jest połączony ze swym pokarmem i dlatego niewidoczny.

Paragraf 20 jest znacznie dłuższy. Na jego początku Boerhaave stwierdził: „Ogień zapalony ogniskiem [szkła palącego – R. M.] nie jest ani stwarzany, ani rodzony, ani nie niszczone wygaszonym ogniskiem, ani zmieniany, ani bardzo ciężki. Ten ostatni pogląd był poparty tyłoma istotnymi argumentami, że odkąd Boyle wydał traktat o ciężkości płomienia, nikt w to więcej nie powątpiewał, póki Homberg nie wydał swego doniesienia o dużym ciężarze zrodzonym z czystego ognia elementarnego bez jakiegokolwiek pożywienia cielesnego z ciał niepalnych, z czego rozsądnie możnaby wywnioskować, że ogień elementarny mógłby połączyć się z ciałami i dodać im ogromny ciężar...”

Boerhaave, choć był – jak zobaczymy dalej – przeciwnikiem poglądu, że ogień waży, relacjonował doświadczenia du Closiusa i Homberga wraz z interpretacjami tych autorów. Du Closius zwrócił uwagę, że kalcynacji antymonu towarzyszy rozproszenie w postaci dymu 5/60 jego ciężaru, a mimo to produkt prażenia jest cięższy od wziętego do prażenia metalu. Homberg w ognisku szkła palącego Księcia Orleańskiego prażył cztery uncje antymonu i stwierdził wzrost jego ciężaru o jedną dziesiątą. Wyraził on przekonanie, że ogień połączył się z prażonym ciałem i stworzył z nim nowe ciało. Następnie Boerhaave wrócił do omówionych przez

nas powyżej doświadczeń Boyle'a: „Tak więc się ma i w onych doświadczeniach Boyleańskich i przyznaję mądrość większości mężów w wyborze doświadczeń i udzielam im wiary w relacjonowaniu obserwacji. Lecz jednak masa ośmiu funtów żelaza płonąca całą substancją nic w ogóle nie zyskała na ciężarze... Ważyłem bowiem żarzące się żelazo, pozostające na wadze póki nie ostygło; nie zmieniło wcale ciężaru.” Boerhaave sugerował, że zaobserwowany wzrost ciężaru pochodzić może z naczyń, w których substancja była prażona lub którymi była mieszana. Dalej zauważył: „Wielkie ognisko natychmiast wytworzyło ogień, za pomocą którego był oczyszczony wyborny antymon. Któż powie, że był to ogień? Wszystkie ciała jak antymon, ołów, cyna, żelazo, auripigment kalcynowane w tym samym ogniu nie tyle zwiększają swój ciężar, co zostają nadgryzione przez siarkę. To czynnik zewnętrzny powoduje nadgryzanie, zakrzywienie i mieszanie. Podstawy do tego iżby sądzić, że wewnątrz naczyń szklanych wzrost ciężaru nastąpił wskutek działalności ognia są tak małe, że raczej możnaby je przypisać czemuś, co zostało dodane do szkła”.

Do tego tematu wrócił Boerhaave w innym fragmencie swego dzieła. Pisał mianowicie: „Wszelako ogień jak długo pozostaje w ten sposób w ciele mocno rozgrzanym nie jest obserwowany jako połączony w jedną masę z ciałami stałymi... i dlatego nie powoduje w rzeczywistości wzrostu ciężaru”³⁷. (*Attamen Ignis, dum ita manet in corpore calefacto, non videtur in eo uniri in unam massam corpoream concretam... non vero pondus ideo acquirere*).

Inny istotny problem poruszany przez holenderskiego badacza w jego podręczniku to wydzielanie się „powietrza” w różnych procesach chemicznych i fizycznych. Stwierdził on, że „powietrze elastyczne” wydziela się z różnych substancji jako skutek ogrzewania i przypomina badania nad wydzielaniem się takiego „powietrza” w trakcie gnicia różnych substancji organicznych przeprowadzanego przez Boyle'a za pomocą *Machina Boyliana*. Następnie wysnuwał z tego wniosek: „Zapewne tak różnorodne środki działające jednak zgodnie przez ogień wykazują, że we wszystkich prawie ciałach złożonych ze składników elastyczne powietrze wchodzi w nie bądź jako istotna część składowa, bądź jako część znaczna (główna)³⁸. (... *hunc Aerem elasticum concurerer ut partem constituentem satis notabilem, satis magna*). Na ten ostatni cytowany tu wniosek zwrócił uwagę Lavoisier relacjonując wcześniejsze obserwacje zjawisk, w których wydzielały się gazy³⁹.

7. Rozważania Michaiła Łomonosowa

n.t. wzrostu ciężaru ciał i ich zniekształcone relacje

Przez pewien czas u Hermanna Boerhaavego przebywał rosyjski uczoney Michaił Łomonosow. W 1750 r. w czasopiśmie „*Novi comentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae*” opublikował on tekst łaciński p.t. *Meditationes de caloris et frigoris causa*. Paragraf 31 tej pracy dotyczy wzrostu ciężaru ciała w trakcie prażenia. Autor referował poglądy niektórych wcześniejszych uczonych, krytykując podane przez Boyle'a przyczyny tego zjawiska: „Jednak tym czynni-

kiem [materia ognia – R. M.] wstrząsaną swą własną rozciąglą pustotą wzbudzi się inny silny [czynnik], który nastąpi i z większą siłą nas przycisnie. To znaczy, że filozofom, a zwłaszcza chemikom, ten błędzący ogień objawia swą obecność w ciałach nie poprzez wielką masę [objętość – R. M.], lecz także poprzez wzrost ciężaru. Najślawniejszy Robert Boyle, pierwszy o ile się nie mylę, wykazał za pomocą doświadczenia, że przez kalcynację ciała zwiększają swój ciężar póki części stałe i ważące ognia i płomienia mogą [mu] być oddawane. Jeśliby z ognia można było wyróżnić coś elementarnego, mielibyśmy potwierdzenie tego niepewnego twierdzenia. Jednak prawie wszystkie doświadczenia zaplanowane, by wykazać wzrost ciężaru pod wpływem ognia prowadzą do tego, że albo płomień, który opala ciała, albo powietrze przepływające nad ciałem kalcynowanym w trakcie ogrzewania uwidacznia cząstki ciężkie. Albowiem skoro płytki metaliczne opalane są płomieniem zapalanej siarki, rozszerzają się i zwiększają swój ciężar; **nic innego zatem nie może być przyczyną powiększenia ciężaru jak kwas siarki, który uwolniony od flogistonu i zebrany pod kloszem i mający zwyczaj utrzymywać się w górze wnika wtedy w pory miedzi i srebra i tam zagęszczony zwiększa ciężar** [podkreślenie moje – R. M.]. Tak gdy ołów ma być skalcynowany do minii, mistrzowie rozmyślnie kierują na stopiony metal płomień ostry i wypełniony sadzą [kopcający]. Tak więc grunt [powierzchnia – R. M.] ołowiu zdobi się barwą błyszczącego wapna i zwiększa swój ciężar z zyskiem mistrzów. Pozostałe doświadczenia godnego pochwały autora zamieszczone w dodatku do tego dzieła zdają się mieć większe znaczenie, nie są jednak wolne od wszelkich wątpliwości, jako że autor sam przy nich nie był i częściej przekazywał je jakiemuś wykonawcy. Ale niech będzie, że oprócz części rozżarzonego ciała lub cząstek krążących w powietrzu, które przepływa stale nad ciałem kalcynowanym, przykłada się w trakcie kalcynacji do ciał jakaś inna materia, która zwiększa ciężar wapna. Chociaż więc wapna odsunięte od ognia również na najsilniejszym mrozie zachowują nabyty ciężar, żadnego nadmiaru ciepła nie zawierają. Jeśli więc w trakcie kalcynacji przyłącza się jakaś materia, to nie jest to ta, którą przypisywano jako właściwą ogniowi. Nie widzę więc, dlaczego została ona pominięta w naturze wapien. Ponadto wapna metaliczne zredukowane do formy metalicznej oddają nabyty ciężar. A zarówno redukcja jak i kalcynacja wykonywane nawet najsilniejszym ogniem nie dostarczają żadnej wystarczającej przyczyny, dlaczego tym samym ogniem można ciałom coś dodać i im odjąć. Ponadto sławni mężowie Boerhaavius i du Clos wykonali podobne doświadczenia, w których zobaczyli objawy przeciwne. Pierwszy z nich wziął pięć funtów i osiem uncji żelaza, które zważył przed ogrzewaniem, a także ogrzane i ostudzone, lecz nie zauważył ani wzrostu ani ubytku ciężaru. Drugi przypisał wzrost ciężaru, który minerałom przydało kalcynowanie, cząstkom siarkowym szybującym (jak mówiliśmy wyżej) w powietrzu, które stale przepływało nad minerałami wystawionymi na kalcynację i owym ogniem w ten sposób przeprowadzał rozdzielanie;... Nie są zatem pewne

te argumenty, które miały świadczyć o szczególnej materii ognia ze wzrostu ciężaru ciał kalcynowanych⁴⁰.

Powyższa praca została w 1828 r. przetłumaczona na język rosyjski przez N. E. Zernowa i opublikowana w „Nowom magazynie jestestwiennoi historii” pod tytułem *Razmyslenija o priczinie teploty i chołoda*. Przekład ten nie jest, niestety, całkowicie wierny i w tłumaczeniu najważniejszego dla nas zdania, wyróżnionego w moim tłumaczeniu, znajdujemy już wpływ poglądów rozprzestrzeniających się na początku XIX w. W oryginalnej wersji łacińskiej zdanie to brzmi: „Etenim ubi lamina metalica flama sulphuris accensi ustulatur, intumescit quisdem et pondere augetur; nihil aliud tamen aucti ponderis causa est, praeter acidum sulphuris, quod a phlogisto liberari et campana colligi et capi solet, tum poros cupri at argenti penetrat, illisque concretum, pondus auget”. W tłumaczeniu Zernowa fragment ten brzmi:

Та, металлическая пластина, обжигаемая в пламени горячей Черы, действительно разбухает и увеличивается в весе: но здесь причино увеличения веса является не что иное, а ислота серы, которо можна освободить от флогистона, собрать и заключить под колокол; она прониаает в поры меди и серебра и, соединяясь с ними, производит увеличение веса.

Zernow przetłumaczył zatem wyróżnione przeze mnie określenie „illisque concretum” przez „i sojedinjaja s nimi” czyli „łączą się z nimi”. Jest to wyraźne zniekształcenie tekstu. Łomonosow przypisywał bowiem wzrost ciężaru zwiększeniu gęstości kwasów siarki, nie zaś bezpośredniemu łączeniu się ciał. Jest to zatem ten sam sposób rozumowania, który widzieliśmy w pracy Jeana Rey’a.

To przeinaczenie w tłumaczeniu rosyjskim ma dalsze konsekwencje. W znanym wielotomowym podręczniku chemii nieorganicznej *Gmelin’s Handbuch der anorganischen Chemie* w tomie 3 poświęconym tlenowi w rozdziale dotyczącym historii odkrycia tego pierwiastka R. Ganzenmüller omawia w następujący sposób powyższą pracę Łomonosowa: „Bei der Besprechung der Versuchungen, die Boyle zum Nachweiss der wagbaren Feuermaterie angestellt hat, erklärt er die Gewichtszunahme aus einer Vereinigung von Metallteilchen mit den Partikeln der Luft⁴¹”. (Przy omawianiu doświadczeń, które Boyle przeprowadził dla wykazania ważących cząstek ognia, wyjaśnia on [Łomonosow] przyrost wagi przez zjednoczenie się cząstek metalu z cząstkami powietrza). Ganzenmüller opierał się więc wyraźnie na zniekształconym tłumaczeniu rosyjskim, nie zaś na oryginalne łacińskim i powtórzył odstępstwa od oryginału pochodzące od rosyjskiego tłumacza.

Zagadnienie wzrostu ciężaru metalu podczas prażenia poruszył Łomonosow również w pracy *De ratione quantitatis materiae et ponderis (O stosunku ilości materii i ciężaru)* napisanej na przełomie 1757 i 1758 r. i wydrukowanej po raz pierwszy w tomie VI zbiorowego wydania dzieł Łomonosowa opublikowanym w latach 1891–1948 przez Petersburską Akademię Nauk. W pracy tej znajdujemy

następujący fragment: „Porro hujus theoriae auxilio remouetur prorsus illa, de igne in corporibus calcimatis fixo, opinio. Quamvis enim multum sit dubium, particulas ex aere super corpus calcinandum continuo fluente *illi imisceri* et pondus ispius augere”⁴². Ten tekst został przetłumaczony na język rosyjski po raz pierwszy przez M. Mienszutkina i na tej podstawie przytoczony w tłumaczeniu niemieckim przez Ganzenmüllera⁴¹. W tłumaczeniu polskim brzmi on: „Dalej za pomocą tej teorii zostaje całkowicie obalona tamta o ogniu utwierdzonym w ciałach kalcynowanych. Rzeczywiście nie ma żadnych wątpliwości, że cząstki powietrza nieustannie przepływające nad ciałem kalcynowanym z **nim się mieszają** i zwiększają jego ciężar” (podkreślenia moje – R. M.). Zatem i w tym fragmencie Łomonosow mówił jedynie o mieszaniu się cząstek powietrza z cząstkami metalicznymi, nie zaś o ich połączeniu. Jak zresztą podkreślaliśmy poprzednio w połowie XVIII w. pojęcie wiązania chemicznego jeszcze nie istniało i nie rozróżniano go od oddziaływań dziś zwanych fizycznymi.

8. Poglądy innych badaczy w XVIII w.

W XVIII w. wielu badaczy, oprócz Boerhaavego i Łomonosowa, starało się znaleźć przyczyny wzrostu ciężaru ciała w trakcie prażenia pomijając, lub tylko w niewielkim stopniu uwzględniając teorię flogistonu. Nieliczni, choć tak wybitni jak Etienne François Geoffroy w 1707 r.⁴³, a nawet Torbern Bergman w 1780 r.⁴⁴ wspominali o ważącym ogniu, ale większość doszukiwała się czegoś istniejącego w powietrzu, często podając w wątpliwość lub wręcz przecząc koncepcji ważącego ognia. W 1710 r. Hertsoeker pisał: „Wnioskuje, że [spośród] nieskończonej ilości soli i innych ciał, które wirują bezustannie w powietrzu, niektóre z nich wprowadzają się w trakcie kalcynacji do metalu, gdy jest on umieszczony dokładnie w ognisku palącego szkła”⁴⁵. Podobny pogląd wygłosił w 1730 r. H. Pemberton⁴⁶, a w 1745 r. o możliwości takiej, choć jako nie jedynej pisał opat Jean-Antoine Nollet w rozpowszechnionym podręczniku fizyki eksperymentalnej: „Nie jestem przekonany ... czy ten wzrost ciężaru jest wywołany ściśle biorąc przez ogień, czy też przez inną materię, która przyłącza się do ciała kalcynowanego; może ona pochodzić z powietrza, które je dotyka, czy też z naczyń, w których są one zawarte, z urządzeń którymi je mieszamy, lub wreszcie z węgla którym zasilamy ogień.”⁴⁷ Dalej zaznaczył jednak Nollet, że brak zmiany ciężaru ogrzewanego, hermetycznie zamkniętego metalu nie musi dowodzić, że ogień nie waży; dowodzi tylko, że nasze wagi nie są dość czułe, by rozstrzygnąć problem ciężaru ognia.

W publikacji wydanej w 1747 r. w Bordeaux i rok później w Hadze Laurent Beraut podkreślał, że wapno ołowiowe jest mniej gęste niż metal, z którego powstało, choć jak stwierdził doświadczalnie, z 20 funtów ołowiu otrzymał 25 funtów wapnia. Ten wzrost ciężaru nie może – jego zdaniem – pochodzić od cząstek ognia, które uznawał za ważne, jednak bardzo lekkie. Wykluczał pochodzenie tego wzrostu ze światła skupionego na metalu za pomocą soczewki, czy też

z materii naczyń. Za przyczynę tego wzrostu uznawał natomiast unoszone w powietrzu „cząstki solne i nitrowe”⁴⁸.

W 1752 r. François Marie A. Voltaire (Wolter) stopił w trzech grubych naczyniach żelaznych bryły żeliwne ważące 100, 35 i 25 funtów, a następnie ogrzewał je przez 6 godzin. Po ostudzeniu stwierdził, że zyskały one 4, 1,5 oraz 1 funt odpowiednio. Ten wynik doświadczenia skomentował w sposób następujący: „jest możliwe, że ten wzrost ciężaru pochodzi z materii rozmieszczonej w atmosferze. Więc we wszystkich innych operacjach, materie kalcynowane przybiegają na ciężarze, ten wzrost substancji mógłby również pochodzić z tej samej przyczyny, a nie od materii ogniowej.”⁴⁹

W latach siedemdziesiątych tego wieku współpracujący wówczas z Lavoisierem na polu ekonomicznym Anne Robert Jacques de Turgot, chemik amator w liście do Jeana Antoine’a de Condorceta wyraził opinię, że wzrost ciężaru metali jest dokładnie wynikiem przyłączania tego powietrza, które zajmuje miejsce flogistonu, lecz waży więcej⁵⁰. W tym też okresie, w 1776 r. J.Ch. Exleben sądził, że do metali przyłącza się zawarty w powietrzu kwas węglowy (CO₂).

Zupełnie inną koncepcję wyjaśnienia wzrostu ciężaru w wyniku kalcynacji znajdujemy w *Wielkiej Encyklopedii Francuskiej*, w pierwszym wydaniu z r. 1765. Autor hasła *Regule d’Antimoine*, d’Holbach zrelacjonował wynik umieszczenia surowego antymonu w piecu, wskutek czego przemienia się on w szare wapno i „mimo, że w trakcie tej operacji traci on znaczną część swojej siarki” pozostała substancja jest cięższa niż była na początku. Dla wyjaśnienia tego powoływał się na Johanna Rudolpha Glaubera (1604–1670), który „przypuszcza, że ten wzrost ciężaru jest tylko pozorny, że ciężar bezwzględny pozostaje nie zmieniony, a wzrasta tylko ciężar właściwy, podczas gdy maleje objętość materii. P. Rouelle wykazał za pomocą doświadczeń hydrostatycznych, że ciężar właściwy antymonu rzeczywiście wzrósł w wyniku kalcynacji”⁵¹. Późniejsi komentatorzy uzupełniali powyższe twierdzenie uwagą, że kupcy wełny i pierza wiedzą, iż ciężar tych materiałów zmienia się, gdy się je ściśnie⁵².

Zwróćmy jednak uwagę, że omawiane powyżej tłumaczenia wzrostu ciężaru kalcynowanej substancji nie znajdują oparcia w jakichkolwiek danych dotyczących substancji przyłączanej. A doniesienia o takich obserwacjach były już wówczas publikowane. Stephen Hales w 1727 r. w pracy p.t. *Vegetable Statics*, w której zresztą opisał po raz pierwszy wannę pneumatyczną, umożliwiającą ilościowe zbieranie gazów wydzielających się podczas przemian, stwierdził, że ilość powietrza absorbowanego w trakcie spalania siarki, świec, czy też podczas oddychania jest proporcjonalna do objętości naczynia, w którym przebiega reakcja, lub w którym przebywa zwierzę. Wielkość tej absorpcji jest jednak ograniczona⁵³. Hales zwracał też uwagę, że prażąc 1,922 gramy czystego ołowiu wydobył 7 cali sześciennych powietrza, natomiast ta sama ilość minii dała 34 cale sześcienne powietrza⁵⁴. Traktował to jako dowód, że minia zawiera więcej powietrza niż czysty ołów.

W 1759 r. Giambatista Cesare Beccaria dokonał analogicznej obserwacji w trakcie prażenia cyny i ołowiu. Stwierdził mianowicie, że ilość wytworzonego wapna jest tym większa, im większe jest naczynie⁵⁵.

Te obserwacje zwróciły uwagę na ilościowy aspekt udziału powietrza, a ogólniej gazów w procesie kalcynacji. Wynalazek wanny pneumatycznej przez Halesa umożliwił badanie właściwości wydzielanych gazów i przyczynił się do ich lepszego poznania. W drugiej połowie XVIII w. rozwinęła się dzięki temu chemia gazów, zwana wówczas chemią pneumatyczną. Jej osiągnięcia miały bezpośredni wpływ na wyjaśnienie przyczyny wzrostu ciężaru w trakcie kalcynacji. Przede wszystkim badano gazy, które wydzielaly się, gdy na ciała stałe działano różnymi czynnikami. Uważano, że gazy były w tych ciałach zestalone i dawano im ogólną nazwę „air fixe – gaz zestalony”. Często znaczenie tej nazwy ograniczano co prawda do gazu wydzielonego w 1756 r. przez Josepha Blacka w wyniku prażenia kredy i innych węglanów. Był to oczywiście dwutlenek węgla, przeszło sto lat wcześniej odkryty już przez Jana Batistę van Helmonta w trakcie palenia drewna i nazwany przez niego „gas sylvestris” – leśny chaos (słowo 'gas' wymawia się w języku holenderskim analogicznie jak 'chaos'). W 1766 r. Henry Cavendish działając kwasami na metale uwolnił z zestalenia inny gaz, bardzo lekki, którego zasadniczą cechą była palność. Owo „palne powietrze”, jak je nazwał odkrywca, było oczywiście wodorem. W 1772 r. uczeń Blacka, Daniel Rutherford przekonał się, że w powietrzu, w którym przebywała mysz, i w którym palono świece do zduszenia płomienia, nic nie może więcej się spalać. Zgodnie z teorią flogistonu wywnioskował on, że powietrze to jest przesycone flogistonem, nazwał je więc „powietrzem flogistonowym”. W tym samym czasie Karl Wilhelm Scheele oraz niezależnie Joseph Priestley ogrzewając substancję zwaną dziś tlenkiem rtęci uwolnili inny rodzaj powietrza, w którym palenie przebiegało intensywniej niż w zwykłym powietrzu. W pracach opublikowanych w 1774 i 1775 r. nazywali je też zgodnie z teorią flogistonu „powietrzem zdeflogistonowanym”, jako że sądzili, iż łaknie ono flogistonu od substancji spalanych.

Chemia pneumatyczna, a także doświadczenia nad spalaniem siarki i fosforu skierowały uwagę badaczy na ilościową stronę zjawiska spalania i kalcynacji.

9. Lata 1772 i 1773

Właśnie w 1772 r. kilku badaczy prowadziło we Francji intensywne badania nad ilościowymi przejawami towarzyszącymi spalaniu fosforu. Na początku tego roku Balthasar-Georges Sage w podręczniku *Les éléments de la mineralogie docimastique* zauważył, że kwas powstający w wyniku spalania fosforu jest trzy razy cięższy niż spalany fosfor. Ten wzrost ciężaru przypisywał przyłączaniu się wilgoci⁵⁶. W maju tegoż roku w czasopiśmie „Les observation sur la physique” opublikowane zostało doniesienie Giovanniego Francisco Cigny, profesora anatomii z Turynu, że 2 grany fosforu w trakcie spalania zużyły 23 cale sześciennego powietrza⁵⁷. W tym samym czasie farmaceuta Pierre-François Mittouard w trakcie

starań o ulepszenie metody otrzymywania fosforu zauważył, że spalanie fosforu zwiększa jego ciężar i zastanawiał się, czy ten wzrost ciężaru pochodzi od zawartej w powietrzu wilgoci, czy też od samego powietrza⁵⁸.

Późną wiosną 1772 r. Louis Bernard Guyton de Morveau w czasopiśmie „*Digressions academiques*” ogłosił swe rozważania na temat roli flogistonu *Dissertation sur le phlogistique*⁵⁹. Zwrócił tam uwagę, że wzrost ciężaru w wyniku kalcynacji jest zjawiskiem szerszym i nie ogranicza się tylko do niektórych metali. Przypisywał to zjawisko ubytkowi flogistonu w trakcie prażenia, jako skutek jego „istotnej lotności”. Chociaż – uważał on – poszczególne cząstki flogistonu podlegają przyciąganiu Newtonowskiemu, utworzone przez nie połączenie jest lżejsze od powietrza. Guyton de Morveau pisał: „Flogiston zwiększa ciężar właściwy ciała ... Przyznaję, że na pierwszy rzut oka wydawać się może dosyć szczególnie, że ciało łącząc się z innym może zwiększyć swój ciężar właściwy, a mogłoby nie zwiększyć swego ciężaru bezwzględnie.” Podkreślając różne znaczenie ciężaru właściwego (gęstości) i ciężaru bezwzględnego uczony wyjaśniał tę sprzeczność zmianą objętości ciała.

Powyższe badania uczonych francuskich zwróciły uwagę Lavoisiera na problemy spalania. Poprzednio już analizował on działanie soczewek, za pomocą których można było zapalać różne substancje światłem słonecznym w zamkniętych naczyniach. 10 października kupił Lavoisier u Mitouarda pewną ilość fosforu i 20 października rozpoczął spalanie fosforu i siarki, zapalając je soczewką w naczyniach zamkniętych słupem wody. Powtórzył więc badania swych poprzedników, wysnuwając z nich jednak własne wnioski. W przypadku fosforu zauważył, że wzrost ciężaru produktu spalania jest proporcjonalny do zmniejszenia objętości powietrza i wywnioskował stąd, że „ten wzrost... pochodzi z przyłączenia powietrza, które się zestala w trakcie tej operacji.”⁶⁰ Lavoisier sądził więc, że całe powietrze „się zestala” i nie ograniczał pojęcia „zestalonego powietrza” do Blackowskiego „*aer fixus*”. Wyniki ilościowe spalania siarki nie były dostatecznie jasne. Mimo to 1 listopada tego roku przedłożył w Akademii *lettre caché* (list poufny, który otwarty w terminie późniejszym miał mu zapewnić pierwszeństwo autorstwa), w którym pisał: „Przed ośmiu dniami odkryłem, że siarka w wyniku palenia jest daleka do utraty swego ciężaru, lecz przeciwnie ciężar jej wzrasta; tzn. że z 1 funta siarki można otrzymać więcej niż funt kwasu wiotriolowego... Tak samo dzieje się z fosforem: ten wzrost ciężaru pochodzi ze znacznej ilości powietrza, które się zestala podczas spalania i łączy się z parami. [...] To odkrycie dokonane za pomocą doświadczeń, które uznaję za decydujące, pozwala mi myśleć, że to co się obserwuje podczas spalania siarki i fosforu może zachodzić w odniesieniu do wszystkich ciał, które zwiększają swój ciężar w wyniku spalania i kalcynacji; i jestem przekonany, że taka też jest przyczyna wzrostu ciężaru wapien metalicznych. [...] Doświadczenie całkowicie potwierdziło moje przypuszczenia; zredukowałem litharge (glejtę) w naczyniach zamkniętych z urządzeniem Halesa i zauważyłem, że w trakcie przemiany wapna w metal wydziela się znaczna ilość powietrza i że

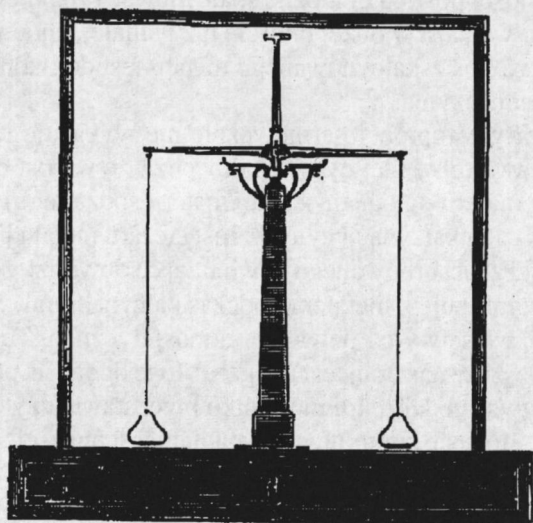
to powietrze ma objętość tysiąc razy większą niż użyty litharage. To odkrycie wydaje mi się najważniejsze od czasu odkrycia Stahla i uznałem za właściwe zapewnić sobie jego własność”⁶¹.

Powyżej relacjonowane badania Lavoisiera, a także badania innych francuskich chemików, skłoniły go do systematycznego przebadania znanych już przemian, którym towarzyszy wydzielanie się gazów. Był już przekonany, że to „substancje o postaci powietrza” przyłączają się do ciał prażonych i zwiększają ich ciężar. Spodziewał się więc, że systematyczne badania potwierdzą to przypuszczenie. 20 lutego 1773 r. rozpoczął swój pierwszy dziennik laboratoryjny sformułowaniem planu badań: „Przed rozpoczęciem długiej serii doświadczeń, które zamierzam przeprowadzić nad płynem elastycznym wydzielającym się z ciał bądź przez fermentację, bądź przez destylację, bądź wreszcie przez kombinacje różnego rodzaju, a także nad powietrzem absorbowanym w trakcie spalania wielkiej liczby substancji sądzę, że powinienem zamieścić tutaj na piśmie niektóre refleksje, aby sformować dla siebie plan, zgodnie z którym powinienem postępować... Ważność tego przedmiotu skłoniła mnie do podjęcia całej tej pracy, która – jak się wydaje – może wywołać rewolucję w fizyce i chemii”⁶². [...] Prace innych autorów, które właśnie cytowałem, rozważane z tego punktu widzenia wydają mi się oddzielnymi fragmentami wielkiego łańcucha, w którym kilka ogniw jest połączonych, ale pozostaje do zrobienia ogromny ciąg doświadczeń, aby utworzyć ciągłość.”⁶³

Wyniki badań rozpoczętych w 1772 r. i kontynuowanych w roku następnym przedstawił Lavoisier w grudniu 1773 r. w Akademii i opublikował w roku 1774 pod tytułem *Les opuscules physiques et chimiques*⁶⁴. W pierwszej części tego dzieła relacjonował wcześniejsze prace różnych badaczy nad zjawiskami wydzielania powietrza w trakcie prażenia, fermentacji i eferwescencji (burzenia się mieszaniny), w drugiej opisał własne badania. Obejmują one spalanie ołowiu, cyny, a także fosforu zapalanych światłem słonecznym, skupionym dużą soczewką i umieszczonych w naczyniu zamkniętym słupem rtęci. Tak prowadzone doświadczenie pozwalało mu obserwować zarówno zmianę ciężaru substancji, jak zmianę objętości powietrza. W trakcie tych doświadczeń stwierdził, że 3 grosy (11,472 g) ołowiu ważyły po prażeniu wraz z powstałymi osadami o 2,5 grana (0,1256 g) więcej, czyli przyrost wyniósł 1,1%, natomiast 2 grosy cyny (7,648 g) zwiększyły swój ciężar o 1/8 grana (0,0066 g) czyli o 0,086%. Z tych obserwacji wysnuł Lavoisier następujące wnioski:

- „1° Kalcynacja metali pod kloszem zachodzi trudniej niż na wolnym powietrzu,
- 2° że nawet ta kalcynacja ma granice; tzn. że gdy pewna porcja metalu została zredukowana do wapna w danej ilości powietrza, nie jest możliwa dalsza kalcynacja w tym samym powietrzu,
- 3° w miarę jak zachodzi kalcynacja, następuje zmniejszenie ilości powietrza i że to zmniejszenie jest w przybliżeniu proporcjonalne do zwiększenia ciężaru metalu,

- 4° gdy zestawimy te fakty z tymi przedstawionymi w poprzednim rozdziale, wydaje się udowodnione, że z metalami podczas ich kalcynacji kombinuje się płyn elastyczny, który się zestala i to właśnie zestalenie jest przyczyną wzrostu ich ciężaru,
- 5° że wiele danych wydaje się być podstawą mniemania, że nie całe powietrze, którym oddychamy, jest właściwe, by zestalić się i wejść w kombinację z wapnami metalicznymi, lecz że w atmosferze istnieje szczególny płyn elastyczny, który jest zmieszany z powietrzem i że to wtedy, gdy ten płyn zawarty pod kloszem zostaje wyczerpany, kalcynacja nie może dalej zachodzić⁶⁵.



Il. 4 Jedna z wag używanych przez Antoniego Lavoisiera. Ze zbiorów Conservatoire Nationale des Arts et Métiers w Paryżu, nr ewidencyjny 19886. Ramię z mosiądzu o łącznej długości 51,6 cm oparte na ostrzu stalowym o przekroju trójkątnym. Ramię jest ustawiane za pomocą czterech śrub. Wysokość kolumny 50,5 cm. Nośność wagi 600 g, dokładność 5 mg, wg opracowania Alain Delacroix z CNAM, Paryż, 3 maja 1994.

Do tych wniosków Lavoisier dodał jeszcze uwagę, że gdy kalcynacja (tzn. prażenie) zachodzi w naczyniu szczelnie zamkniętym i pozbawionym powietrza, nie powinno się zauważyć wzrostu ciężaru. Doświadczalnie sprawdził to Lavoisier w następnym roku, gdy na skonstruowanej dla niego w 1772 r. wadze o nośności do 10 funtów (4,5 kg) z dokładnością do 0,5 grana (0,03 g) w retorcie o wadze nieco ponad 5 uncji zważył 8 uncji cyny, przy czym po rozgrzaniu nad rozżarzonymi węglami (a więc w warunkach zbliżonych do warunków doświadczeń Boyle'a), gdy cyna zaczęła się topić, retortę szczelnie zatopił. Tak zamkniętą

retortę z cyną zważył, a następnie ogrzewał przez przeszło godzinę. Po oziębieniu stwierdził, że retorta wraz z cyną ważyła o 0,27 grana (0,014 g) więcej niż przed ogrzewaniem. Badacz uznał, że ta różnica mieści się w granicach błędu doświadczalnego, a więc że doświadczenie obaliło twierdzenie angielskiego uczonego, jakoby cząstki ognia miały swój ciężar. Lavoisier obliczył też na podstawie wzrostu ciężaru łącznego pozostałej cyny i wytworzonego wapna, że z 15 i 1/3 grana powietrza pozostałych w zatopionej retorcie, 3,12 grana, a więc około 1/5 połączyło się z metalem⁶⁶. Doświadczenie to powtórzył Lavoisier umieszczając takie same 8 uncji cyny w retorcie czterokrotnie większej. Łączny ciężar cyny i wapna wzrósł w tych warunkach o 10 granów, a zużyta została ok. 1/10 części zwartego w retorcie powietrza. Z tych doświadczeń wysnuł następujący wniosek:

- „1° W danej ilości powietrza można skalcynować tylko pewną ilość cyny,
- 2° ta ilość jest większa w dużej retorcie niż w małej, choć jeszcze nie można zapewnić, że ilość skalcynowanego metalu jest dokładnie proporcjonalna do objętości naczynia,
- 3° ciężar retorty zatopionej hermetycznie nie wykazuje różnicy przed i po ogrzaniu zawartej w niej cyny, co dowodzi, że wzrost ciężaru metalu nie zachodzi z materii ognia, ani żadnej materii spoza retorty,
- 4° że podczas całej kalcynacji cyny wzrost ciężaru metalu jest dość dokładnie równy ilości zaabsorbowanego powietrza, co dowodzi, że część powietrza, która się kombinuje z metalem podczas kalcynacji ma w przybliżeniu ten sam ciężar właściwy co powietrze atmosferyczne”. Ten ostatni wniosek uzupełnił jeszcze następującą uwagą: „Mogę dodać na podstawie szczegółowych rozważań, które trudno krótko przedstawić czytelnikowi, że część powietrza, które się kombinuje z metalami, jest nieco cięższa niż powietrze atmosferyczne i że to, które pozostaje po kalcynacji, jest przeciwnie nieco lżejsze⁶⁷”.

Z faktem, że tylko ok. 1/5 objętości powietrza uczestniczy w obserwowanych procesach, spotkał się Lavoisier także w trakcie badań nad spalaniem fosforu i powstawaniem z niego kwasu. Z doświadczenia tego wysnuł wniosek, że z fosforem łączy się najcięższy składnik atmosfery i sądził, że może nim być woda. Wobec tego w następnym eksperymencie spalał fosfor w atmosferze specjalnie nasyconej wodą i przekonał się, że nie ma ona wpływu na ilość otrzymanego kwasu (ściślej tlenku)⁶⁸. Do doświadczeń z fosforem wrócił Lavoisier jeszcze w 1777 r., kiedy to wysnuł wniosek, że wzrost ciężaru fosforu (wraz z jego tlenkiem) jest proporcjonalny do zużytego powietrza, a gęstość pozostałego powietrza jest mniejsza niż atmosferycznego, czyli że wskutek ogrzewania nie wzrasta ciężar powietrza⁶⁹.

Jak widać z przeprowadzonej analizy prac Lavoisiera, już w końcu 1773 r. badacz ten, dzięki równoczesnym pomiarom ciężaru metalu wraz z powstającym z niego wapnem oraz zmian objętości powietrza, zdawał sobie sprawę, że przyczyną wzrostu ciężaru metali w trakcie prażenia jest przyłączanie się składnika powietrza, który zajmuje ok. 1/5 jego objętości. Do wniosku tego doszedł nie

znając wcześniejszej rozprawy Jeana Reya, ani równocześnie z jego badaniami prowadzonych prac Priestleya i Scheelego. Poznanie i powtórzenie doświadczeń tych dwu ostatnich badaczy bez wątplenia ułatwiło mu ustalenie, czym właściwie jest owa 1/5 część powietrza atmosferycznego.

Do problemu wzrostu ciężaru metali wracał Lavoisier jeszcze kilkakrotnie po 1774 r., by przekonać innych chemików o słuszności swej hipotezy. W 1775 r. w traktacie Wielkanocnego posiedzenia Akademii Nauk odczytał pracę p.t. *Natura zasady, która się kombinuje z metalami podczas kalcynacji*. Stwierdził wówczas: „Zasada, która łączy się z metalami podczas ich kalcynacji, która w nich zwiększa ciężar i która je ustanawia w stanie wapna, jest właśnie tą częścią powietrza najbardziej zdrową i najbardziej czystą; tego rodzaju, że gdy powietrze, które weszło do kombinacji metalicznej stało się z powrotem swobodne, ono z niej wychodzi w stanie w wysokim stopniu nadającym się do oddychania i bardziej czyste niż powietrze atmosferyczne.”⁷⁰

W 1781 r. Lavoisier zajął się kalcynacją żelaza i wykazał, że 145,6 gramom tego metalu przybyło po kalcynacji 46,4 grana, a równocześnie w tym doświadczeniu ubyło 45,9 gramów powietrza⁷¹.

W 1783 roku znów poruszył ten temat w Memoires de l'Academie: „Gdy spala się fosfor w pewnej ilości powietrza życiowego zamkniętego nad rtęcią, w czasie spalania następuje znaczna absorbcja powietrza i odnajduje się je w kwasie fosforowym, który się utworzył, wzrost ciężaru dokładnie odpowiadający ilości powietrza życiowego, która została zaabsorbowana”⁷². Ta ostatnia publikacja została wywołana ogłoszoną w tymże roku pracą Torberna Bergmana, w której szwedzki badacz przypisywał wzrost ciężaru obserwowany przy spalaniu fosforu, zwiększaniu się ciepła właściwego substancji⁷³.

10. Skonkretyzowanie i rozpowszechnienie poglądów Lavoisiera.

Już w latach 1772–73 Lavoisier we właściwy sposób określił przyczyny wzrostu ciężaru substancji w wyniku kalcynacji metali. Otwarty był jednak problem, czym w rzeczywistości jest owa część powietrza atmosferycznego, która „kombinowała się” z metalami, fosforem i siarką. Zwróćmy uwagę, że w tych latach już przeszło od wieku znana była nowa definicja pierwiastka, jako kresu analizy chemicznej; nikt jednak nie potrafił jeszcze sprecyzować, które substancje spełniały ten warunek⁷⁴. Dziesięć lat wcześniej Lavoisier słuchał wykładów chemii François-Gabriele Roulle'a, który zasady substancji (pierwiastki) traktował jako składniki mogące utworzyć „ciała mieszane”, a także powodujące dzięki swym właściwościom przemiany chemiczne⁷⁵. Lavoisier, przejęty tymi poglądami, po powtórzeniu doświadczeń Priestleya i Scheelego, uznał wykryte przez nich „powietrze zdeflogistonowane” za substancję prostą, za pierwiastek, jako że ów składnik ważył mniej niż substancję, z których został wydzielony. (W późniejszych latach Lavoisier uznał za pierwiastki również „powietrze palne” – wodór, „powietrze flogistonowe” – azot, fosfor, siarkę i węgiel, a przede wszystkim, pierwszy

raz w historii chemii, metale.) Owo „powietrze życiowe” uznał jednak błędnie za nośnik właściwości – kwasowości, za „principe oxigine” – zasadę kwasotwórczą⁷⁶.

Nazwa ta, zmieniona później przez niego na oxygène lub po łacinie „oxygenium” została tłumaczona na wszystkie języki; w Polsce, prawdopodobnie Ludwik Plater wprowadził wersję „kwasorod”⁷⁷, która w latach 1850–1870 została zastąpiona przez „tlen”⁷⁸.

Już w 1777 r. Lavoisier zaczął wskazywać, że uzasadnianie istnienia flogistonu polega na błędnym kole rozumowania, dopiero jednak w 1783 r. wskazał wyraźnie, że jest ono zbędne⁷⁹.

Koncepcje Lavoisiera nie jednakowo przyjmowane były w różnych krajach. Temu zagadnieniu poświęcone były Warsztaty Dyskusyjne „Workshop on Lavoisier in European Context, Negotiating a New Language for Chemistry” zorganizowane w maju 1994 r. w Paryżu przez European Science Foundation. Z wygłoszonych w trakcie obrad referatów oraz przeprowadzonej dyskusji wynikało, że we Francji, Włoszech, Holandii i Hiszpanii koncepcje te przyjęły się bez szczególnych oporów. W Anglii Priestley do końca życia pozostał wierny teorii flogistonu. Wynikało to w dużej mierze z jego poglądów, że należy przede wszystkim opierać się na bezpośrednich obserwacjach, a nie na rozumowaniu, jak czynił to przedstawiciel Oświecenia – Lavoisier⁸⁰. Romantycznie nastawionym uczonym niemieckim również bardziej odpowiadała teoria flogistonu niż podejście francuskiego czciciela Rozumu⁸¹. W Polsce teoria flogistonu nie była rozpowszechniona i przyjęcie chemii antyflogistonowej nie napotykało na żadne trudności. Począwszy od 1797 r. poglądy te rozpowszechniał Jędrzej Śniadecki w Wilnie i Aleksander Chodkiewicz w Warszawie⁸².

11. Podziękowanie

Autor dziękuje p. drowi Michałowi Zgórzakowi za istotną pomoc w analizie tekstów łacińskich wykorzystanych w niniejszym opracowaniu oraz p. drowi Władysławowi Metanomskiemu (Columbus, USA) za odnalezienie i przysłanie kserokopii angielskiego oryginału rozprawy Roberta Boyle’a z 1673 r.

PRZYPISY

¹ Włodzimierz Hubicki, *Z dziejów chemii i alchemii*, Warszawa, 1991.

² Roman Bugaj, *W poszukiwaniu kamienia filozoficznego. O Michale Sędziwoju najstydniejszym alchemiku polskim*, Warszawa, 1957; *Michał Sędziwój (1566–1636). Życie i pisma*, Wrocław, 1968; *Michał Sędziwój, Traktat o kamieniu filozoficznym*, przekład z łaciny i komentarze Romana Bugaja, Warszawa, 1971; *Koncepcja elementów ognia i powietrza u Arystotelesa i ich rola w procesach spalania i oddychania*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1980, t. 25, s. 88–104; *Saletra filozofów a odkrycie tlenu*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1986, t. 31, s. 749–780.

- ³ Zbigniew Szydło, *Water which does not wet hands. The alchemy of Michael Sendivogius*, Warszawa, 1994.
- ⁴ John Mayow, *Badania nad saletrą i saletrowym duchem powietrza, spalanie i oddychanie*, z łaciny przełożył oraz wstępem i komentarzami zaopatrzył Roman Bugaj, „*Analecta*” 1994, nr 1, s. 135–180.
- ⁵ Dopiero na przełomie XVIII i XIX w. zdano sobie sprawę, jaka różnica zachodzi między tym, co nazywamy dziś oddziaływaniami fizycznymi a chemicznymi, a także między roztworami i stopami a związkami chemicznymi. Nie rozróżniał tego w XVII w. Jean Rey (por. przypis 8), ale w III wydaniu *Wielkiej Encyklopedii Francuskiej* (red. D. Diderot, J. B. d'Alembert) z 1779 r. A. R. J. Turgot w haśle *Expensibilité* dodaje następującą notkę: „sposób, w jaki elementy ciała są ze sobą łączone, jest nam zbyt mało znany, ponieważ nie możemy rozstrzygnąć, czy molekuly z dwu ciał złożonych będą bardziej, czy mniej ze sobą spojone, niż molekuly każdego z ciał złożonych, wzięte oddzielnie”.

Antoine Lavoisier w wydanym w 1789 r. podręczniku *Traité élémentaire de chimie* rozpoczyna X rozdział *O kombinowaniu się substancji palnych jednych z drugimi* następującym zdaniem: „Substancje palne są to w ogólności te, które mają wielką skłonność do tlenu (appétence pour l'oxygène); z tego wynika, że powinny one wykazywać powinowactwo względem siebie, że powinny kombinować się jedne z drugimi: „*quae sunt eadem uni tertio sunt eadem inter se*”; (te, które łączą się z trzecim, łączą się między sobą); i to też obserwuje się w rzeczywistości. Prawie wszystkie metale na przykład są podatne, by kombinować się (*se combiner*) jedne z drugimi, i powstaje stąd szereg substancji złożonych (*composés*), które nazywamy stopami na ogólny użytek”. (wydanie Paris 1937, str. 68). Lavoisier używał tego samego określenia „jest złożone” (*est composé*) zarówno dla opisanego składu powietrza atmosferycznego (tamże str. 29), jak i składu wody (tamże, str. 94), zaś termin „złożenie” (*combinaison*) jest użyty zarówno w odniesieniu do związku wodoru z cieklikiem – powstanie stanu gazowego, jak związku węgla z tlenem (tamże, str. 116). W notatce napisanej w 1792 r. dotyczącej szkicu Rey'a z 1630 r. (por. przypis 8), nie kwestionuje on utożsamiania zjawiska oddziaływania „zgęszczonego” powietrza z metalem ze zjawiskiem zwilżania piasku przez wodę (A. Lavoisier, *Oeuvres*, t. II, Paris 1862, str. 99).

Ponieważ Lavoisier nie zdawał sobie sprawy, czym jest związek chemiczny w dzisiejszym tego słowa znaczeniu, trudno zgodzić się z twierdzeniem Krystyny Kabzińskiej („*Analecta*” 1995, nr 1, s. 107), że można uznać Lavoisiera za prekursora formuły stałości składu. Lavoisier kilkakrotnie określał skład wody. W opublikowanej w 1781 r. pracy w „*Memoires de l'Academie*”, str. 448 wg *Oeuvres* t. II, str. 410) p.t. *Memoire sur la formation de l'acide nommé air fixe du acide crayeux* stwierdza on, że 22,297 granów wody składa się z 19,37 granów tlenu i 2,92 granów wodoru, z czego wynika że ciężar tlenu w wodzie powinien być 6,56 razy większy niż ciężar wodoru. W publikacji z 1786 r. (*Oeuvres*, t. II, str. 659) oraz w VIII rozdziale *Traité* Lavoisier referuje wyniki rozkładu wody przepuszczanej nad rozżarzonym żelazem oraz rozżarzonymi węglami. W pierwszym doświadczeniu otrzymuje stosunek wagowy tlenu do wodoru 5,66, w drugim – 5,26. Ponieważ sam ocenia dokładność pomiaru na 1/200, różnice otrzymanych wyników przekraczają ten błąd doświadczalny. Lavoisier nie komentuje tego faktu, choć w późniejszych doświadczeniach nad rozkładem substancji organicznych przyjmuje konsekwentnie wartość 5,66 (*Traité*, str. 83).

Różnicę między roztworem a związkiem chemicznym określili precyzyjnie dopiero w 1799 r. Joseph Proust w tej samej pracy, w której na podstawie analizy naturalnego i syntetycznego węglanu miedzi sformułował prawo stałości składu („*Annales de chimie*” 1799, t. 32, s. 30). Proust zapytywał: „czy moc, która rozpuszcza metal w siarce jest inna niż ta, która powoduje, że jeden metaliczny siarczek rozpuszcza się w drugim?” I dalej: „.... można wyobrazić sobie rozróżnienie, gdy zapytam, czy przyciąganie, które powoduje, że cukier rozpuszcza się w wodzie jest takim samym, czy nie jest takim samym jak to, które powoduje, że określona ilość węgla

i wodoru rozpuszcza się w innej ilości tlenu, by wytworzyć cukier naszych roślin... Tak więc roztwór saletry w wodzie jest w moich oczach zupełnie niepodobny do roztworu wody w azocie, który daje amoniak”.

⁶ J. R. Partington, *History of Chemistry*, London, 1970, t. 1, (starożytność), 1960, t. 2; 1961, t. 3; 1964, t. 4.

⁷ *Ein güldener Tractat vom Philosophischen Steine von einem Lebenden doch ungenannten Philosopho den Filiis Doctrinae zur Lehre, den Fratibus aureae Crucis aber zur Nachrichtung beschrieben [w:] Dias Chimica Tripartita. Das ist sechs Herzliche Teutsche Philosophische Tractätlein*. Franckfurt am Mayn, Luca Jennis, 1625, s. 40.

⁸ Jean Rey, *Recherche de la cause pour laquelle l'Estain et le Plomb augmentent de poids quand on les calcine*, Barras 1630; *On an enquiring into the cause whereof tin and lead increase in weight on Calcination*, Alembic Club Reprints. No 11, Edinburgh, 1895.

Rozprawa ta została wydana powtórnie w 1777 r. po ukazaniu się pierwszych publikacji Lavoisiera na temat prażenia metali. W zredagowanej w 1792 r. notatce dla Akademii (Lavoisier, *Oeuvres*, t. 2, s. 99) Lavoisier stwierdza, że rozpoczynając badania nad kalcynacją, nie znał rozprawy Rey'a. Ocenia ją jednak bardzo wysoko w następujących zdaniach: „Nie było jeszcze Dekarta ani Pascala, nie znano próżni Boyle'a, ani próżni Torricellego, ani też przyczyny wznoszenia się cieczy w opróżnionych z powietrza rurach, nie istniała fizyka eksperymentalna, ciemność najgłębsza panowała w chemii. A jednak ... Jean Rey w dziele opublikowanym w 1630 r. ... rozwinął poglądy tak głębokie, tak analogiczne do tego wszystkiego, co doświadczenie potwierdziło od tego czasu, tak zgodne z doktryną nasycenia i powinowactw, że długo nie mogłem uchronić się od podejrzenia, że szkice Jeana Rey zostały ułożone w terminie późniejszym niż ten, który znajduje się na stronie tytułowej.” Następnie Lavoisier cytuje z rozprawy Rey'a zdania zamieszczone w niniejszym artykule, łącznie z analogią do zwilżania piasku przez wodę, nie krytykując tej analogii.

⁹ J. Partington, *History of Chemistry*, t. III, s. 19.

¹⁰ tamże, t. II, s. 557.

¹¹ A. Lavoisier, *Oeuvres*, t. II, s. 102.

¹² R. Boyle, *The Sceptical Chymist*, 1661, wg wydania J. Dent, b. roku wydania, s. 119.

¹³ N. Lemery, *Cours de chimie*, 1675, wg wyd. IX, Paris, 1697, s. 92.

¹⁴ W 1673 r. w Londynie został wydany zbiór prac Roberta Boyle'a przez Pitta w języku angielskim pod ogólnym tytułem: *Essays of the Strange Subtilty, Great Efficacy Determinate Nature of Effluvioms To which are annex New experiments To make Fire and Flame Ponderable: Together with A Discovery of the Perviousness of Glass*. Te dodane (annext) pozycje mają oddzielne, nieco różne tytuły: *New Experiments To make Parts of Fire and Flame Stable and Ponderable*, s. 37–54; *A Discovery of the Perviousness of Glass To Ponderable Parts of Flame With some reflexions on it by way of Corollary. Subjoynd as an Appendix to his Experiments about Arresting and Weighing of Ingenous Corpuscules*, s. 55–75.

W ogłoszeniu dla czytelnika wydawca zawiadamia, że angielski tekst jest tłumaczony na język łaciński. Wersja łacińska wydana została w 1680 r. w Genewie przez Samuela de Taurusa, a poszczególne części omawianej publikacji mają tytuły: *Experimenta nova: quibus ostenditur partes ignis et flammae reddi posse stabiles et ponderabiles*, s. 1–15; *Experimentorum mantissa de corpusculis igneis sistendis ponderandisque*, s. 16–21; *Appendix Detecta penetrabilis vitri a ponderabilibus partibus Flammae*, s. 1–9.

¹⁵ tamże, wydanie angielskie s. 3, wydanie łacińskie s. 4.

¹⁶ tamże, wydanie angielskie s. 4, wydanie łacińskie s. 5.

¹⁷ tamże, wydanie angielskie s. 20, wydanie łacińskie s. 10.

¹⁸ tamże, wydanie angielskie s. 31, wydanie łacińskie s. 11.

¹⁹ tamże, wydanie łacińskie, s. 19.

²⁰ tamże, s. 20.

- ²¹ tamże, *Appendix*, wydanie łacińskie, s. 2.
- ²² tamże, s. 4.
- ²³ tamże, s. 5.
- ²⁴ tamże, s. 8.
- ²⁵ tamże, s. 9.
- ²⁶ R. Boyle, *Nova experimenta physico-mechanica de vi aeris elastica et ejusdem Effectibus Facta maximum partem in Nova machina Pneumatica*, Roterodami, 1669.
- ²⁷ R. Boyle, *Novorum experimentatotrurum physico-mechanica continuatio secunda*, Colloniae Allobrogum, 1686, s. 110, 111.
- ²⁸ A. Lavoisier, *Opuscules physiques et chimiques*, Paris 1774, wg *Oeuvres*, Paris 1864, t. 1, s. 450.
- ²⁹ J. Kunckel, *Nützliche Observationes*, Hamburg, 1676.
- ³⁰ J. Kunckel, *Collegium Physico-Chymicum experimentale oder Laboratorium Chymicum*, Hamburg, Leipzig 1716, s. 7, por. J. Partington, *History...* t. 3, s. 614.
- ³¹ J. Kunckel, *Collegium ...* s. 14; Partington, *History...* t. 3, s. 347.
- ³² wg J. P. Poirier, *Antoine Laurent de Lavoisier 1743–1794*, Paris, 1993, s. 87.
- ³³ Guyton de Morveau, *Dissertations sur le phlogistique considéré comme corps grave et par rapport au changements de pesanteur qu'il produit sur les corps auxquels il s'unit*. Przedstawione w grudniu 1770, publikowane w „*Digestion de l'Academie de Dijon*”, 1772, wg J. P. Poirier, *loc. cit.*, s. 66, 452; J. Partington, *History...* t. 3, s. 610.
- ³⁴ por. J.P. Poirier, *loc.cit.*, s. 58; J. Partington, *History...*, t. 3, s. 735.
- ³⁵ H. Boerhaave, podręcznik wydany potajemnie w 1724 r. na podstawie notatek studenckich, wg *Source Book in Chemistry 1400–1900*, red. H.M. Leicester, H.S. Klickstein, London 1952, s. 64.
- ³⁶ H. Boerhaave, *Elementa Chymiae*, t. 1, wydanie Londoni, 1732, s. 134, 137; wydanie Lugduni Batavorum, 1732, s. 355, 360.
- ³⁷ tamże, s. 262 (wyd. Lugduni Batavorum).
- ³⁸ tamże, s. 535.
- ³⁹ A. Lavoisier, *Opuscules...*, wg *Oeuvres*, t. 1, s. 461.
- ⁴⁰ M. Łomonosow, *Meditationes de caloris et frigoris causa*, „*Novi Commentari Academiae scientiarum imperialis Petropolitanae*”, 1750, t. 1, s. 206–229; wg M. Łomonosow, *Potnoje Sobranije Soczinienij*, Moskwa 1951, t. 2, s. 46, 47.
- ⁴¹ R. Ganzemüller, *Gmelin Handbuch der anorganischen Chemie*, t. 3, *Sauerstoff*, cz. 1, s. 44.
- ⁴² M. Łomonosow, *De ratione quantitatis materiae et ponderis*, w M. Łomonosow, *Potnoje sobranije soczinienij*, Moskwa 1952, t. 3, s. 368.
- ⁴³ por. Partington, *History...*, t.3, s. 51.
- ⁴⁴ tamże, s. 186.
- ⁴⁵ N. Hartsoeker, *Eclaircisement sur les conjectures Physiques*, Amsterdam, 1710.
- ⁴⁶ por. Partington, *History...*, t. 2, s. 765.
- ⁴⁷ J. P. Nollet, opat, *Leçons de physique experimentale*, 1745, wg wydania 3, Paris 1753, t. 4, s. 169.
- ⁴⁸ L. Beraut, *Dissertation sur la cause de l'Augmentation de Poids, que certaines Matières acquièrent dans leur calcination*, Bordeaux 1747, La Haye 1748; Partington, *History...*, t. 3, s. 607.
- ⁴⁹ F. M. A. Voltaire, *Essai sur la Nature du Feu et sa Propagation, par un de nos premiers Poetes*, „*Recueil des Pieces*”, 1752, t. 4, 84, 169; wg Partington, *History...*, t. 3, s. 606.
- ⁵⁰ A. R. J. Turgot, wg J. P. Poirier, *loc. cit.*, s. 67.
- ⁵¹ d'Holbach, w D. Diderot, J. B. d'Alembert, *Encyclopedie*, wyd. I, 1765, t. 14, s. 40.
- ⁵² B. Bensaude-Vincent, *Lavoisier, memoires d'une revolution*, Paris 1993, s. 121.
- ⁵³ wg A. Lavoisier, *Opuscules...* wg *Oeuvres*, t. 1, s. 457.
- ⁵⁴ S. Hales, wg Partington, *History...*, t. 3, s. 118.
- ⁵⁵ G. C. Beccaria, wg Poirier, *loc. cit.*, s. 84, 452; Partington, *History...*, t. 3, s. 401.
- ⁵⁶ B. G. Sage, wg Poirier, *loc. cit.*, s. 68.
- ⁵⁷ G. F. Cinga, wg Poirier, *loc. cit.*, s. 68.

- ⁵⁸ P. F. Mitouard, wg Poirier, *loc. cit.*, s. 68.
- ⁵⁹ Guyton de Morveau, wg Partington, *History...*, t. 3, s. 610.
- ⁶⁰ wg Poirier, *loc. cit.*, s. 69, 453.
- ⁶¹ A. Lavoisier, *Oeuvres*, t. 2, s. 103.
- ⁶² Bernadetta Bensaude-Vincent w cytowanej wyżej monografii Lavoisier, *pamiętniki pewnej rewolucji* zwraca uwagę, że znaczenie terminu „rewolucja” zmieniało znaczenie z upływem czasu. Początkowo oznaczało „powrót do stanu pierwotnego” (np. u Kopernika), potem określano nim objęcie całości zagadnienia i w tym znaczeniu – zdaniem tej autorki – użył je Lavoisier w przytoczonym fragmencie z 1773 r. Dopiero po Wielkiej Rewolucji Francuskiej termin „rewolucja” nabrał znaczenia „przewrotu”
- ⁶³ A. Lavoisier, wg Poirier, *loc. cit.*, s. 73; *Il y a 200 ans Lavoisier*, Katalog wystawy styczeń–marzec 1994, s. 60.
- ⁶⁴ Publikacja Lavoisiera *Opuscles chimique et physiques* wedle zamieszczonej na końcu noty została przedłożona Akademii w grudniu 1773, a wydrukowana w roku następnym z datą 1774.
- ⁶⁵ A. Lavoisier, *Opuscles...*, s. 282, *Oeuvres*, t. 1, s. 620.
- ⁶⁶ A. Lavoisier, *Oeuvres*, t. 2, s. 105.
- ⁶⁷ tamże, s. 118.
- ⁶⁸ A. Lavoisier, *Opuscles*, s. 323; *Oeuvres*, t. 1, s. 646.
- ⁶⁹ A. Lavoisier, *Mémoire sur la combustion du phosphor du Kunckel*, przedstawione 21 marca 1777, czytane 16 kwietnia 1777, *Oeuvres*, t. 2, s. 139.
- ⁷⁰ A. Lavoisier, *Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui augmente le poids*, czytane na Wielkanoc 1775, „Mémoire de l'Academie”, 1775, s. 520, wg *Oeuvres*, t. 2, s. 122.
- ⁷¹ A. Lavoisier, *Mémoire sur l'union du principe oxigene avec le fer*, przedstawione w grudniu 1783, *Oeuvres*, t. 2, s. 557.
- ⁷² A. Lavoisier, *Nouvelles reflexions sur l'augmentation de poids*, „Memoires de l'Academie”, 1783, s. 416, wg *Oeuvres*, t. 2, s. 616.
- ⁷³ T. Bergman, *Opuscula Physica et Chimica*, t. 3, Lipsiae 1783, w g Partington, *History...*, t. 3, s. 179.
- ⁷⁴ R. Boyle, *Sceptical Chymist*, 1661, wg wydania J. Dent, bez roku wydania, s. 187.
- ⁷⁵ wg B. Bensaude-Vincent, *Lavoisier*, s. 48.
- ⁷⁶ A. Lavoisier, *Mémoire sur la combustion en general*, 1777, wg *Oeuvres*, t. 2, s. 225.
- ⁷⁷ Polski termin „kwasorod” jako tłumaczenie francuskiego terminu „oxygène” pojawia się w 1800 r. w dwu podręcznikach wydanych w Wilnie: w podręczniku Jędrzeja Śniadeckiego *Początki chemii*, oraz w wykonanym przez Wincentego Choynickiego tłumaczeniu francuskiego podręcznika *Traktat początkowy, czyli początki fizyki* Maturyna Jakuba Brissona. Zarówno Śniadecki jak i Choynicki stwierdzają, że pierwsi formułują nową polską terminologię chemiczną, lecz Śniadecki przyznaje, że korzystał ze wskazówek Ludwika Platera, podkomorzycza litewskiego, nie podaje jednak terminologii pochodzącej od tego ostatniego. Sądzę więc, że wprowadzenie terminu „kwasorod” należy przypisywać L. Platerowi
- ⁷⁸ Termin „tlen” zaproponował Jan Oczapowski po opublikowaniu w 1850 r. przez Seweryna Zdzitowieckiego I tomu podręcznika *Wykład początkowy chemii*. Wspomina o tym Zdzitowiecki w przedmowie do II tomu wydanego w 1851 r. Komisja Biblioteki Warszawskiej opublikowała w styczniu 1853 r. *Projekt do słownictwa chemicznego*, który uwzględniła propozycję Oczapowskiego. Nowy termin upowszechnił się w ciągu dwudziestu lat. Por. R. Mierzecki, *Rozwój polskiej terminologii chemicznej*, Wrocław, 1988.
- ⁷⁹ A. Lavoisier, *Reflexion sur phlogiston*, 1783, wg *Oeuvres*, t. 2, s. 623.
- ⁸⁰ J. G. McEvoy, *Priestley Responds to Lavoisier's Nomenclature: Language, Liberty, and Chemistry in the English Enlightenment*, [w:] *Lavoisier in European Context*, Canton USA, 1995, s. 123–142; D. King, *Crossing The Channel with the New Language*, tamże s. 143–154.

- ⁸¹ H.G. Schneider, *The defeders of Stahl's system*, workshop: Lavoisier in European Context, Paryż maj 1994; A. Kleinert, *La diffusion des idees de Lavoisier dans le monde scientifique de langue allemande*, referat na Colloque Lavoisier, Paryż, maj 1994, „L'Actualité Chimique”, 1994, nr 2, s. 12.
- ⁸² R. Mierzecki, *The Introduction of the French Chemical Nomenclature in Poland*, [w:] Lavoisier in European Context, Canton USA, 1995, s. 79–86.

**The Analysis of the Concepts
Concerning the Increase of Weight of Substances
during Calcination Till the end of XVIII C.**

SUMMARY

The conceptions from the antiquity to the 18th c. are described. The analysis of the essay by Jean Rey (1630) shows that Rey suggested that the air became denser and increased in weight when heated, and that this denser air was attached to tin. The same idea is found in Lomonosov's Latin paper (1752) erroneously interpreted by Ganzenmüller in Gmelin's *Handbuch der anorganischen Chemie*, which was based on an erroneous Russian translation. The work of Robert Boyle suggesting the addition of the ponderous parts of flame and fire (1673) is discussed, as well as its critique by Boerhaave and Lavoisier. It was only Lavoisier who solved the problem, when he considered simultaneously both the increase in weight and the decrease in the volume of air during calcination. But even he was not yet aware of the difference between the physical attachment of bodies and the chemical bond between them.

ANEKS

Angielskie i francuskie jednostki ciężaru

A. Jednostki aptekarskie, czyli kruszcowe, czyli du Troy
(używane przez Roberta Boyle'a i prawdopodobnie przez Jeana Rey'a)

1 funt	=	12 uncji	=	373 g
	=	96 drachm		
	=	268 skrupułów		
	=	5760 granów		
1 uncja	=	8 drachm	=	31,10 g
	=	24 skrupuły		
	=	480 granów		
1 drachma	=	3 skrupuły	=	3,888 g
	=	60 granów		

1 skrupuł	=	20 granów	=	1,296 g
1 gran	=	0,0648 g		

B. Jednostki handlowe francuskie(używane przez Lavoisiera, wg J.P. Poirier, *Lavoisier*, Paris 1993, s. 449)

1 funt	=	16 uncji	=	489,51 g
	=	128 grosów		
	=	9216 granów		
1 uncja	=	8 grosów	=	30,59 g
	=	576 granów		
1 gros	=	72 grany	=	3,824 g
1 gran	=	0,053 g		