

Roman Mierzecki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sekcja Historii Chemii

Polskie Towarzystwo Chemiczne

Adres prywatny: ul. J. Bytnara 23 m. 19, 02-545 Warszawa

email: mierzom@wp.pl

## CIEPŁO: PIERWIASTEK CZY RUCH TEORIE NA TEMAT CIEPŁA NA PRZEŁOMIE WIEKÓW XVIII I XIX

### HEAT: ELEMENT OR MOVEMENT THEORIES ON HEAT AT THE TURN OF THE 18th AND 19th CENTURIES

**Streszczenie:** Po przytoczeniu pochodzących z XVIII i początków XIX w. tekstów omawiających istotę ciepła i przeprowadzeniu ich analizy wykazano, że na przełomie tych dwu wieków posługiwanie się uznaną dziś za błędną substancjalną teorią ciepła było bardziej uzasadnione niż operowanie teorią kinetyczną. Wniosek ten oparty jest na publikacji Jędrzeja Śniadeckiego z 1805 r.

**Słowa kluczowe:** historia chemii, ciepło, historia termodynamiki

**Summary:** The analysis of XVIII c. texts concerning the nature of heat shows that the substantial theory of heat, considered to-day as erroneous, was at the turn of 18th century more fruitful than the kinetic theory. This conclusion is based on a contribution of Jędrzej Śniadecki formulated in 1805 (in Polish) for the Warsaw Society of Friends of Sciences.

**Keywords:** history of chemistry, heat, history of thermodynamics

### Wprowadzenie

Ogień i jego działanie na otoczenie i substancje oraz związane z ogniem ciepło były głównymi czynnikami, które przyczyniły się do rozwoju chemii. Dość wcześnie zaczęto więc zastanawiać się, na czym polega zjawisko ciepła. Powstawanie ciepła w wyniku tarcia sugerowało związek między ciepłem a ruchem. Trudnym zagadnieniem było sprecyzowanie, jaki to miałby być ruch. Analizę ruchów, których przejawem mogło być ciepło, rozważał m.in. w 1750 r. Michaił Łomonosow [1]. Na wstępie swego szkicu przypomniał on, iż powszechnie wiadomo, że ciepło powstaje przez pocieranie rąk, a tarcie drewna można je rozpałcić. W dalszych paragrafach, rozpatrując właściwości trzech rodzajów ruchu: postępowego, drgającego i obrotowego, wskazał, że tylko ruch obrotowy „niewyczuwalnych” cząstek materii może powodować wymienione powyżej zjawiska.

W 1783 r. chemik Antoine Laurent de Lavoisier oraz młody matematyk i fizyk Pierre-Simon de Laplace w traktacie o ciepłe *Mémoire sur la chaleur* [2] napisali:

„Fizycy są podzieleni co do istoty ciepła. Kilku z nich uważa je za płyn, który jest rozpowszechniony w całej przyrodzie i którym ciała są mniej lub więcej przeniknięte, zależnie od ich temperatury i właściwej im zdolności, by go zatrzymać (...). Inni fizycy sądzą, że ciepło nie jest niczym innym, jak tylko skutkiem niewyczuwalnych ruchów molekuł materii. Wiadomo, że ciała, nawet najgęstsze, są wypełnione wielką liczbą por lub małych próżni, których objętość

może znacznie przewyższać objętość zawierającej je materii; te puste przestrzenie pozwalają cząstkom niewyczuwalnym drgać we wszystkich kierunkach, i słusznie jest sądzić, że cząstki te znajdują się w ustawicznym ruchu (...); to ten ruch wewnętrzny jest tym, co według poglądów fizyków, o których mówimy, stanowi ciepło (...).

Aby rozwinąć tę hipotezę zauważymy, że wszystkie ruchy, w trakcie których nie zachodzi gwałtowna przemiana, podlegają ogólnemu prawu, które geometryści nazywali prawem *zachowania siły żywej*. To prawo polega na tym, że w każdym zestawie ciał, które wzajemnie na siebie oddziałują w jakiś sposób, siła żywa, tzn. suma iloczynów poszczególnych mas i kwadratów ich prędkości, jest stała (...). W tej hipotezie, którą sprawdzamy, ciepło jest siłą żywą, która wynika z niewyczuwalnych ruchów molekuł danego ciała; ono jest sumą iloczynów masy każdej molekuły i kwadratu jej prędkości.

Nie będziemy rozstrzygać pomiędzy tymi dwiema uprzednio wymienionymi hipotezami, wydaje się, że wiele zjawisk można wytłumaczyć tą drugą z nich, takim jest np. ciepło, które powstaje wskutek tarcia dwóch ciał stałych, ale jest też wiele zjawisk, które łatwiej wyjaśnić pierwszą z hipotez dotyczących natury ciepła. Może obie hipotezy są równocześnie słuszne. (...) Wobec nieświadomości dotyczącej natury ciepła, nie pozostaje nam nic innego, jak dobrze obserwować jego działanie, które głównie polega na rozsze-

rzaniu ciał stałych, uczynić je płynami i przemieniać je w parę” [3].

Innym problemem absorbującym dawnych filozofów był skład substancji, z którymi mieli do czynienia, poszukiwanie prostych czynników składowych, ich elementów - pierwiastków. W starożytności i średniowieczu substancje nazywane pierwiastkami (ogień, powietrze, woda i ogień) były nośnikami podstawowych właściwości: ciepła, zimna, suchości i wilgotności. Nowoczesne określenie pierwiastka podał Robert Boyle w swym dziele *The Sceptical Chymist*:

„(...) przez pierwiastki rozumiem (...) pewne pierwotne i proste lub doskonale nie zmieszane ciała, które nie mogą być utworzone z żadnych innych lub z jakiegokolwiek innego ciała, są składnikami, z których wszystkie ciała zwane doskonale przemieszanymi są bezpośrednio złożone i na które mogą być ostatecznie rozłożone” [4].

Boyle nie sprecyzował jednak, które substancje są zgodne ze sformułowanym przez niego określeniem i żadnej z nich nie nazwał pierwiastkiem.

Pierwszym badaczem, który wyróżnił substancje będącymi ciałami prostymi, przyjmując za przesłankę, że część musi być lżejsza od całości, był A.L. Lavoisier. Pierwszą substancją, którą w uzasadniony sposób uznał za „substancję prostą” na podstawie badań wykonanych w latach 1774-1777, był tlen [5], nazwany przez niego *oxygène*, która to nazwa została przez Jędrzeja Śniadeckiego i Wincentego Choyńskiego spolszczona w 1800 r. jako *kwasoród* [6]. Następnie Lavoisier wykazał, że substancjami prostymi są wodór, azot, siarka, fosfor, węgiel oraz - po raz pierwszy w historii - metale. W dyskusji wstępnej do wydanego w 1789 r. podręcznika *Traité élémentaire de chimie* [7] autor dokładniej precyzuje, jakie cechy mieć powinna substancja prosta - pierwiastek:

„Zadowolę się (...) stwierdzeniem, że jeśli mianem pierwiastków postanowimy określać molekuly proste i niepodzielne, które tworzą ciała, to prawdopodobnie ich nie znamy; że jeśli przeciwnie przywiążemy do miana pierwiastków lub początków<sup>1</sup> ciał wyobrażenie ostatniego członu, do którego dociera analiza, wszystkie substancje, których dotyczą żadnymi środkami nie potrafiliśmy rozłożyć, są dla nas pierwiastkami; nie dlatego że możemy zapewnić, iż te ciała, które uważamy za proste, nie są same złożone z dwu lub nawet większej liczby początków, lecz ponieważ te początki nigdy się nie rozdzielają lub raczej ponieważ nie mamy żadnego sposobu, aby je rozdzielić, działają one dla nas w sposób ciał prostych i nie możemy je uważać za złożone, póki doświadczenie lub obserwacja nie dostarczą nam na to dowodów” [8].

W ciągu dwu miesięcy (kwiecień - czerwiec) 1787 r. A.L. Lavoisier, L.B. Guyton de Morveau, A. de Fourcroy, oraz C.L. Bertholet przedstawili na kolejnych czterech posiedzeniach Królewskiej Akademii Nauk zasady nowej terminologii chemicznej, opartej na koncepcjach Gyttona de Morveau [9] i Lavoisiera [10]. Nazwy związków zawierały nazwy substancji prostych - pierwiastków, które wchodziły

w ich skład. Zestawienie tych nazw otwierała tablica substancji prostych ułożona przez Lavoisiera. Tablicę tę powtórzył Lavoisier w części drugiej swego podręcznika *Traité élémentaire de chimie* [7]. Substancje proste ułożono w czterech grupach: a) *Substancje proste, które przynależą do trzech królestw<sup>2</sup> i które można uznać za pierwiastki ciał*, b) *Substancje proste niemetaliczne dające się ukwasorodnić<sup>3</sup>*, c) *Substancje proste metaliczne dające się ukwasorodnić*, d) *Substancje proste ziemne dające się usolić<sup>4</sup>* [11]. W grupie pierwszej wymienione są gazy: tlen, wodór i azot, a także światło i ciepłok. Lavoisier obserwował wydzielanie się ciepła i światła w trakcie niektórych reakcji chemicznych, dlatego uznał je za składniki proste, które wchodzą w skład substancji złożonych.

### Ciepłok

Lavoisier widział konieczność istnienia oddzielnej substancji odpowiedzialnej za wrażenie ciepła, lecz zdawał sobie sprawę, że substancja ta jest różna od pozostałych substancji. W pierwszym rozdziale swego podręcznika napisał bowiem:

„Dochodzi się do wniosku, że molekuly, będąc stale pobudzane przez ciepłok do odsuwania się jedne od drugich, nie powinny mieć między sobą żadnego powiązania i nie istniałoby żadne ciało stałe, jeśli by nie były one przytrzymywane przez inną siłę, która by dążyła, by je z powrotem połączyć (...). Tak więc możemy uznać, że molekuly ciał podlegają dwóm siłom, jednej odpychającej, drugiej przyciągającej, które są między sobą w równowadze. Póki druga z tych sił, przyciągająca, przeważa, ciało pozostaje w stanie stałym; jeśli przeciwnie przyciąganie jest słabsze, jeśli ciepłok w jakimś stopniu odsunęło jedne molekuly ciał od drugich (...) ciało przestaje być stałym” [12].

Dalej autor podaje przykłady zmian stanu skupienia i wnioskuje:

„Trudno jest pojąć te zjawiska bez przyjęcia, że są one skutkiem działania substancji rzeczywistej i materialnej, płynu bardzo delikatnego, który wsuwa się pomiędzy molekuly wszystkich ciał i który je odsuwa od siebie i przypuszczając nawet, że istnienie tego płynu jest hipotezą,<sup>5</sup> zobaczymy dalej, że tłumaczy ona w sposób zadowalający zjawiska Przyrody. Tej substancji, czymkolwiek by ona była, będącej przyczyną ciepła, lub innymi słowy wrażenia, które nazywamy ciepłem, (...) nie można w ścisłym języku określać nazwą ciepła; ponieważ to samo słowo nie może wyrażać przyczyny i skutku (...). Przeto nazwaliśmy przyczynę ciepła, płyn w wysokim stopniu elastyczny, który je powoduje, mianem *ciepłoka*<sup>6</sup>” [13].

Lavoisier uważał więc, że wszystkie ciała występują w stanie stałym i dopiero ich roztworzenie w ciepłoku przemienia je w substancje ciekłe, a następnie w gazowe.

<sup>1</sup> Lavoisier stosuje termin *principe*, który Jędrzej Śniadecki i Jan Bystrzycki w latach 1800 i 1806 tłumaczą słowem: *początek*.

<sup>2</sup> tzn. królestwa ziemnego, królestwa roślinnego, królestwa zwierzęcego.

<sup>3</sup> tzn. utlenić.

<sup>4</sup> W tej grupie zebrane są nierozłożone do owego czasu substancje alkaliczne, które można było zneutralizować kwasami.

<sup>5</sup> Podkreślenia moje - R.M.

<sup>6</sup> fr.: *calorique*.

Analogiczne poglądy głosił w Polsce Jędrzej Śniadecki w swym podręczniku *Początki chemii*<sup>7</sup>:

„Wszystkie ciała ogrzewając się czyli nabierając ciepła, rosną i rozszerzają się na wszystkie strony jednostajnie; stygnąc zaś, czyli utracając ciepło, twardnieją i zwolna wracają się do pierwszemu swojemu objętości. *Ciepło zatem wszystkie ciała rozszerza*. Jeżeli w nas podobnym sposobem przybiera ciepła, doświadczamy pewnego rodzaju uczucia które w mniejszym stopniu ciepłem, w wyższym gorącym nazywamy. Żeby tedy rozróżnić przyczynę od skutku, zgodzono się powszechnie, ażeby przyczynę tę, którą wszystkie ciała rozszerza i w nas uczucie ciepła rodzi, jakàkolwiek ona jest<sup>8</sup>, nazwać *ciepłikiem* (caloricum).

Nie można inaczej pojąć rozrzedzenia ciała, iak tylko przez oddalenie się najdrobniejszych ich cząstek od siebie; musi tedy ciepłik cząstki ciała od siebie nawzajem odpychać, ięgo zatem czynność przeciwna jest atrakcji, czyli inaczej skupieniu. Gdyby więc ciała zostawione zupełnie były działaniu ciepłika, tedy wszystkie cząstki materji odskoczyły by od siebie w nieograniczoną odległość musiały.

Z drugiego strony, gdyby materja samę tylko atrakcję była posłuszną, wszystkie iey cząstki zetknęłyby się iak naysciślejszy z sobą, formując jedną twardą, nierozdzieloną i nierozzerwalną bryłę. W takim przypadku byłaby tylko jedna nierozzerwalna materji massa, aleby ciała także nie było. Cząstki tedy ciała w ogólności, nagłone są bezprzestannie od dwóch sił sobie przeciwnych, tém się bardziej od siebie oddalają im większą będzie czynność ciepłika i przeciwnie tém się bardziej do siebie zbliżą, im działanie ięgo mniejsze będzie” [14].

## Ciepło wynikiem ruchu

Za głównego autora poglądu, że ciepło jest wynikiem ruchu cząstek materji, uznawany jest Benjamin Thomson, hrabia Rumford. Przez pewien czas był on głównodowodzącym armii bawarskiej i nadzorując wiercenie luf armatnich, stwierdził, że w trakcie tej operacji znacznie się one rozgrzewają i że ciepło wydzielane jest tak długo, jak długo trwa wiercenie. Udowodnił też, że pojemność ciepłna brązu jest jednakowa bez względu na to, czy brąz jest materiałem litym czy też jest w postaci strużyn pozostałych po jego wierceniu. Rozumował więc, że ciepło nie może być wynikiem istnienia materji ciepła, ciepłika, ponieważ po wydzieleniu się jego części w wyniku wiercenia, strużyny powinny mieć wówczas mniejszą jego zawartość niż lity metal. Te obserwacje stały się podstawą następującego wniosku sformułowanego w 1798 r.:

„I rozważając ten temat, nie wolno nam zapomnieć, by wziąć pod uwagę znaczącą okoliczność, że źródło Ciepła wytworzonego w tych doświadczeniach przez tarcie jest niewyczerpalne.

Konieczne trzeba dodać, że cokolwiek, co może jakiegokolwiek ciało lub układ ciał zasilać nieprzerwanie i bez

ograniczeń, nie może być substancją materialną; i wydaje mi się wyjątkowo trudnym, jeśli nie niemożliwym wytworzenie sobie jakiegoś wyraźnego pojęcia czegoś, co mogłoby być wzbudzone i przekazywane w sposób, w jaki Ciepło zostało wzbudzone i przekazane w tych doświadczeniach, wyjąwszy, że był to RUCH.

Jestem bardzo daleki od tego, by wiedzieć jak, lub jakim sposobem lub mechanizmem jest wzbudzany, podtrzymywany i rozprowadzany ten szczególny rodzaj ruchu w ciałach, któremu przypisuje się istnienie Ciepła” [15].

Omawiając te doświadczenia kilka lat później w aspekcie historycznym Benjamin Thomson stwierdził:

„Wydawało mi się zawsze niemożliwym wyjaśnić wyniki tych doświadczeń nie przyjmując bardzo dawnej teorii, która jest oparta na założeniu, że ciepło jest niczym innym jak *ruchem wibracyjnym* pomiędzy partycułami<sup>9</sup>, z których ciała są złożone” [16].

## Ciepło pierwiastkiem czy ruchem?

Zarówno Antoine de Lavoisier, jak i Jędrzej Śniadecki w swych wspomnianych wyżej podręcznikach chemii posługują się wyłącznie substancjalną teorią ciepła, nie wspominając w ogóle o teorii kinetycznej. Niektórzy francuscy historycy nauki krytykują za to Lavoisiera [17]. Jędrzej Śniadecki zestawia jednak te dwie teorie w oddzielnym artykule napisanym w 1805 r., uzasadniając, dlaczego przedkłada on teorię substancjalną nad teorię ruchu:

„Dwie są przyczyny, które gęstość ciał sprawiają, i względne cząstek ich położenie oznaczają: pierwsza, która cząstki te zbliża do siebie i do zetknięcia prowadzi: druga, która je oddalać i rozproszyć usiłuje (...); wnosimy iż wszystkie cząstki materji obydwom tym siłom bezprzestannie są posłuszne, skąd powstają istoty, których rozmaita gęstość od względnej mocy i pewnej równowagi dwóch tych sił przeciw sobie działających zawisła. Zbliżanie się cząstek najdrobniejszych do siebie przypisujemy téj samej sile, przez którą *Newton* ogromny układ świata tłumaczył, i który nazwał atrakcją: ich oddalenie się pómuiemy przez przytomność i działanie ciepłika, w którym wszystkie cząstki materji rozlané są i zawieszoné (...).

Ci, co nie przyymuią materialny przyczyny ciepła, przypuszczają natomiast odpychanie się w cząstkach materji czyli *repulsją*, a samo ciepło od pewnego ruchu i drgania ustawicznego cząstek wywodzą; takowe wyobrażenie miałem zawsze za przeciwne nąpierwszemu ludzkiego pómowania początkom. Do tego albowiem czasu pojąć nie mogę, iakimby sposobem dwie materji cząstki i przyciągać się i odpychać potrafiły razem. (...) Sławny Rumford, nąświećniejszy tego zdania obrońca, przyymuie nadto płyn szczególny nader subtelny, który drżenie to cząstek do miejsc odleglejszych przenosi. Lecz takowa nauka mając ciepłik za istotę uroioną, dwa natomiast uroieni przyymuie, to jest drżenie cząstek i eter<sup>10</sup> [18].

<sup>7</sup> Tytuł *Początki chemii* z 1800 roku brzmiałby w dzisiejszym języku polskim jako *Zasady chemii*, jako że termin *początki* jest tłumaczeniem francuskiego słowa *principes*.

<sup>8</sup> Podkreślenie moje - R.M.

<sup>9</sup> W pierwszej połowie XIX wieku nie rozróżniano pojęć *atomu* i *molekuły* i terminy te wraz z *partycułą* stosowane były zamiennie.

<sup>10</sup> Pokreślenie moje - R.M.

Na początku XIX wieku, dziś oczywiste drganie atomów w molekułach było tylko hipotezą nieopartą żadnymi realnymi dowodami, hipoteza zaś eteru została obalona na początku XX w. Śniadecki przedkłada więc teorię przyjmującą tylko jedno pojęcie hipotetyczne - ciepłik nad teorię przyjmującą drżenie cząstek i eter - dwa pojęcia wówczas hipotetyczne. Rozumowanie to, zgodne z rozpowszechnioną zasadą Ockhama, było jak najbardziej uzasadnione w tamtym czasie i jego stosowanie wówczas nie może być podstawą krytyki. Ponadto w drugiej połowie XVIII w. rozwinęła się kalorymetria, pozwalająca mierzyć ilość ciepła, natomiast można było określić ilość ruchu, ale jedynie prostoliniowego wielkością zwaną wówczas *siłą żywą*. W 1743 r. Jean le Rond d'Alembert zdefiniował tę wielkość jako iloczyn masy poruszającego się ciała i kwadratu jego prędkości [19]. W 1807 r. Thomas Young zaproponował, by tę wielkość nazywać *energiją* [20]. Wspomniana poprzednio zasada zachowania sił żywych odnosiła się do zderzeń cząstek poruszających się ruchem prostoliniowym. W dalszym ciągu nie potrafiono jednak określić wielkości ruchu chaotycznego cząstek, a taki ruch miałby być ciepłem. Dopiero w 1843 r. James Prescott Joule wykazał, jak można ruch prostoliniowy przemienić w równoważną mu ilość ruchu chaotycznego w cieczy [21]. Posługiwanie się więc substancjalną teorią ciepła na przełomie XVIII i XIX wieków było jak najbardziej rozsądne i uzasadnione.

## Maszyny ogniowe

Do rozjaśnienia natury ciepła przyczyniły się rozważania nad teorią maszyn ogniowych, tzn. maszyn parowych wynalezionych w drugiej połowie XVIII w. W 1824 r. Nicolas Leonard Sadi Carnot, uznając ciepłik za pierwiastek, którego ilość, zgodnie z Lavoisierowską zasadą zachowania poszczególnych pierwiastków w trakcie przemian, nie może ulegać zmianie, wyjaśniał pracę wykonywaną przez ciepło, gdy układ obniża swą temperaturę, w sposób analogiczny do uzyskiwania pracy przez spadek określonej ilości cieczy z poziomu wyższego na niższy [22]. Tę hydrauliczną analogię nasunął Carnotowi zawód jego ojca, który zajmował się hydrauliką. Praca Carnota nie została jednak zauważona. Zwrócił na nią uwagę w 1834 r. Benoit Pierre Emile Clapeyron, który wprowadził cykle przemian zwane dziś cyklami Carnota. Clapeyron również traktował ciepło jako nieulegający zniszczeniu pierwiastek. Praca ta została rozpowszechniona właściwie dopiero po ukazaniu się jej niemieckiego tłumaczenia [23]. Dopiero po udowodnieniu równoważności ciepła i pracy przez Juliusa Roberta Mayera w 1842 r. [24] i Jamesa Prescottta Joule'a w 1843 r. oraz sformułowaniu przez Heinricha von Helmholtza pierwszej zasady termodynamiki w 1847 r. [25], w 1850 r. Rudolf Clausius [26] i w 1852 r. William Thomson [27] powtórzyli rozważania Carnota i Clapeyrona, zamieniając substancjalne podejście tych autorów na podejście kinetyczne.

## Zakończenie

Rozpatrując poglądy dawnych badaczy, należy je analizować na tle ówczesnego stanu nauki, nie zaś stanu dzisiaj-

szego. Dlatego nie należy się dziwić, że przyjmują oni sposób rozumowania, który w danym okresie był najpłodniejszy, choć obecnie jest on odrzucany. Jest więc oczywiste, że zarówno Antoine Laurent de Lavoisier, jak i Jędrzej Śniadecki byli zwolennikami ciepłika. Traktowali go jako hipotetyczną, **szczególnie subtelną materię**, której zadaniem było odsuwanie się od siebie cząstek zwykłej materii. W takim ujęciu możemy dojrzeć analogię do dzisiejszego pojęcia energii cieplnej, które przecież za ich czasów jeszcze nie istniało. Metody kalorymetryczne pozwalały wówczas ilościowo określać ciepło wydzielane lub pochłaniane w trakcie procesów chemicznych i fizycznych. Pojęcie ciepłika uważać możemy za nie dość jeszcze wówczas sprecyzowane pojęcie energii cieplnej. Teoria ciepłika, teoria substancjalna potrafiła ilościowo analizować te procesy; natomiast teoria kinetyczna, traktująca ciepło jako ruch chaotyczny, pozbawiona była tej zalety, choć również bliska już była pojęciu energii cieplnej.

## Literatura

- [1] Łomonosow M.: *Meditationes de caloris et frigoris causa auctore Michaele Lomonosow*. Novi Commentarii Academiae scientiarum imperialis Petropolitanae, 1750, **1**, 206-229 (wg M.B. Ломонсов, *Полное собрание сочинений*, Том второй, Москва-Ленинград 1951, s. 7-55 tekst łaciński i tłumaczenie na język rosyjski: Б.Н. Меншуткин (tłumaczenie polskie własne)).
- [2] Lavoisier A. i Laplace P.: *Mémoire sur la chaleur*, odczytane na posiedzeniu Academie des Sciences w dniu 13 czerwca 1783 r., opublikowane w „Mémoires de l'Academie des Science”, 1780, 355.
- [3] Lavoisier A. i Laplace P.: *Mémoire sur la chaleur*, [1783], wg *Œuvres de Lavoisier, tome II, Mémoires de chimie et physique*, Paris, 1862, s. 283-333 (tłumaczenie na język polski własne).
- [4] Boyle R.: *The Sceptical Chymist*, [1661], wg wydania J. Dent, London-New York, b.r. wydania, s. 187 (tłumaczenie na język polski własne).
- [5] Lavoisier A.: *Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et en augmente le poids* [1774], *Œuvres de Lavoisier*, tom II, s. 122; Lavoisier A., *Considérations générales sur la nature des acides et sur les principes dont ils sont composés*, [1777], *Œuvres de Lavoisier*, tom II, s. 248.
- [6] Mierzecki R.: *Rozwój polskiej terminologii chemicznej*. Ossolineum, 1988, s. 32.
- [7] Lavoisier A.: *Traité élémentaire de chimie*. Paris 1789. Tłumaczenie polskie R. Mierzeckiego: *Traktat podstawowy chemii*. Analecta, 2001, **10**, 7-122.
- [8] Lavoisier A.: *Traktat podstawowy chemii*. Analecta, 2001, **10**, 16 (p. przypis 7).
- [9] Guyton de Morveau L.B.: *Mémoire sur les noms chimiques*. Observation sur la physique, 1782, **19**, 370-382.
- [10] *Méthode de nomenclature chimique proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet et de Fourcroy*. Paris 1787. *Mémoire sur la nécessité de perfectionner la nomenclature de la chimie* czytane przez p. Lavoisiera w trakcie publicznego zgromadzenia Academie Royale de Science, 18 kwietnia 1787 roku. *Mémoire sur le développement des principes de la nomenclature methodique* czytane 2 maja 1787 przez p. De Morveau. *Mémoire pour servir à l'explication du Tableau de Nomenclature* przez p. de Fourcroy Guyton de Morveau L.B., Lavoisier de A., Berthollet C.L., Fourcroy de A.: *Dictionnaire pour la nouvelle Nomenclature chimique*, czytane 13 czerwca 1787.
- [11] Lavoisier A.: *Traktat podstawowy chemii*. Analecta, 2001, **10**, 107 (p. przypis 7).
- [12] Lavoisier A.: *Traktat podstawowy chemii*. Analecta, 2001, **10**, 22, 23 (p. przypis 7).
- [13] Śniadecki J.: *Początki chemii*, wyd. I, Wilno 1800, wyd. II., Wilno 1806, wyd. III, Wilno 1816.

- [14] Śniadecki J.: *Początki chemii*, wyd. I, Wilno 1800, t. I, s. 44; tekst ten z niewielkimi zmianami stylistycznymi powtórzony został w wydaniu II (tom I, s. 39) i w wydaniu III (tom I, s. 40).
- [15] Thomson B.: *An Inquiry Concerning the Source of the Heat which is Excited by Friction*, czytane na posiedzeniu Royal Society 25 stycznia 1798 r. wg. *The Complete Works of Count Rumford*, Boston 1870, t. 1 str. 490 (tłumaczenie polskie własne).
- [16] *Mémoires sur la Chaleur par le Comte Rumford*, Paris, 1804, str. XXXVIII (tłumaczenie polskie własne).
- [17] Fetizon M.: *Lavoisier et la révolution chimique*, L'actualité chimique, 1994, **2**, 6.
- [18] Śniadecki J.: *O rozpuszczeniu, Rzecz Do Towarzystwa Królewskiego Przyjaciół Nauk w Warszawie Poślana w Maiu 1805*, Wilno, bez roku wydania (prawdopodobnie 1806), s. 17 i 29; *Rzecz o rozpuszczeniu przez Jędrzeja Śniadeckiego*, Roczniki Towarzystwa Warszawskiego Przyjaciół Nauk, 1808, **5**, 521.
- [19] Wróblewski A.K.: *Historia fizyki*, WN PWN, Warszawa 2006.
- [20] Young T.: *Lectures on Natural Philosophy*, [1807], wg Magie W.F., *Source Book in Physics*. New York 1935, s. 60.
- [21] Joule J.P.: *On the Caloric Effects of Magneto-electricity, and on the Mechanical Value of Heat*. Phil. Mag., 1843, **23**, 263, 435.
- [22] Sadi Carnot N.L.: *Reflexion sur la puissance motorice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris 1824.
- [23] Clapeyron B.P.E.: Ecole Polytechn., 1834, **14**, 140; *Über die bewegende Kraft der Wärme*. Ann. Chemie und Pharmacie, 1843, **59**, 446.
- [24] Mayer J.R.: *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur*. Ann. Chemie und Pharmacie, 1842, wg Ostwalds Klassiker Nr 180, Leipzig 1911.
- [25] v. Helmholtz H.: *Über Erhaltung der Kraft*, [1847], wg Ostwalds Klassiker Nr 1, reprint Leipzig 1982.
- [26] Clausius R.: *Über die bewegende Kraft der Wärme....* Ann. Phys., 1850, **79**, 501.
- [27] Thomson W.: *On the dynamical Theory of Heat*, Trans. Roy. Soc. of Edinburgh 1852, **2**, wg Sir William Thomson, *Mathematical and Physical Papers*, Cambridge 1882, s. 178, 184.