

Zenon E. Roskal

Prekursorzy kinetycznej teorii gazów

Twórcy kinetycznej teorii gazów są dobrze znani zarówno fizykom jak i filozofom przyrody¹, ale wiedza na temat prekursorów tej teorii jest na ogół mniej dostępna i równie słabo rozpowszechniona. Według opinii S. Brusha² kinetyczno-molekularny model budowy materii, a ściślej kinetyczną teorię gazów³, w istotny sposób inicjuje⁴ dopiero publikacja niemieckiego przyrodnika A. K. Kröniga z 1856. W tym roku mija zatem dokładnie 150 lat od tego wydarzenia⁵.

Praca Kröniga nie pozostała niezauważona w XIX wieku. Powoływał się na nią – obok prac Joule’a i Clausiusa – J. C. Maxwell⁶. Twórcy kinetyczno-molekularnego mo-

¹ W pierwszej kolejności zaliczamy w poczet twórców tej teorii R. Clausiusa (1822-1888) J. C. Maxwella (1831-1879), L. Boltzmanna (1844-1906) i J. W. Gibbsa (1839-1903). Popularne i skrócone przedstawienie historii kinetycznej teorii gazów można znaleźć m.in. w E. Mendoza, *A Sketch for a History of the Kinetic Theory of gases*, „Physics Today” 14 nr 3 (1961): 36-39.

² Por. S. G. Brush, *The development of the kinetic theory of gases: III. Clausius*, „Annals of Science”, 14 (1958): 185-196. Na opinię tę powołuje się m.in. E. Daub, *Waterston, Rankine, and Clausius on the Kinetic Theory of Gases*, „Isis” 61 nr 1 (1970): 105, ale mylnie podaje, imię niemieckiego fizyka pisząc o Adolffie Krönigu. Tamże, s. 105.

³ W pierwotnym sformułowaniu tej teorii podanym przez J. C. Maxwella była ona nazywana dynamiczną teorią gazów. Taką nazwę zawierał np. tytuł wykładu Maxwella (*Illustrations of the Dynamical Theory of Gases*) przedstawionego w Aberdeen w 1859 r. Termin *kinetyczny* został wprowadzony przez P. G. Taita, który wyposażył termin *dynamiczny* w specyficzne znaczenie wprowadzone na potrzeby wykładu mechaniki. Od tego też czasu łacińskie terminy *vis viva* i *vis mortus* zostały odpowiednio przetłumaczone na język angielski jako *actual energy* i *potential energy*. Dalszej precyzacji pojęcia energii oraz propozycje zmian terminologicznych pochodzą od W. Thomsona i J. M. Rankine’a. W szczególności termin energia kinetyczna (*kinetic energy*) został wprowadzony przez Thomsona (Lord Kelvin). W terminologii Thomsona, to co Maxwell nazwał *dynamiczną teorią gazów* zostało określone zatem jako *kinetyczna teoria gazów*. Por. H. T. Bernstein, *J. Clerk Maxwell on the History of the Kinetic Theory of Gases, 1871*, „Isis” 54 nr 2 (1963): 208.

⁴ Nie używamy w tym kontekście terminu *źródło*, gdyż poza ściśle określonymi sytuacjami występującymi w badaniach historycznych, gdzie termin ten jest fachowo eksplikowany najczęściej rozumiany jest on metaforycznie.

⁵ Rok 2006 został ogłoszony rokiem J. C. Maxwella w związku ze 175 rocznicą jego urodzin. W tym przypadku w grę wchodzi nie tylko Jego wkład w kinetyczną teorię gazów, ale także (a może przede wszystkim) w elektrodynamikę. Od czasów I. Newtona – w opinii A. Einsteina – najbardziej głęboki i zarazem najbardziej inspirujący wpływ na fizykę wywarły właśnie prace J. C. Maxwella.

⁶ G. Białkowski (*Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej*, Warszawa: Książka i Wiedza 1980, s. 160) pisze: „Idee Herapatha, choć chwilowo zapomniane, zrobiły w fizyce wielką karierę. Do jego koncepcji, cytując go, nawiązał w 1848 r. Joule, a w 1857 Krönig i Clausius, wszystkich ich zaś wspomina jako swoich poprzedników Maxwell w swojej fundamentalnej pracy z 1858 r.”. Informacja ta jest myląca, gdyż w 1858 r. nie ukazała się żadna fundamentalna praca Maxwella. Pierwszy artykuł Maxwella (*Illustrations of the dynamical theory of gases*) na temat kinetycznej teorii ukazał się w „Philosophical Magazine” 19 (1860): 19-32). Poprawiona i uzupełniona wersja tego tekstu (*On the Dynamical Theory of Gases*) ukazała się siedem lat później („Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, 157 (1867): 49-88). Por. E. Garber, S. G. Brush, C. W. F. Everitt, (Eds) *Maxwell on Molecules and Gases*, Cambridge Massachusetts: MIT Press 1986 oraz S. G. Brush, N. S. Hall, *The kinetic theory of gases: an anthology of classic papers with historical commentary*, London: Imperial

delu materii mieli zatem świadomość zapożyczeń a tym samym i ciągłości tradycji naukowej⁷. Prace Kröniga zostały dostrzeżone także i przez M. Laue, który w swojej znakomitej monografii zauważa m.in. „Z doświadczeń Gay-Lussaca (Joseph Louis, 1778-1850) przeprowadzonych w r. 1807 i z pomiarów Jamesa Prescott’a Joule’a (1818-1889) z roku 1845 wynikało, że energia wewnętrzna gazu idealnego nie zależy od objętości, co świadczy o nikłości sił działających między cząsteczkami. Było więc nieomal wynikiem naturalnego rozwoju, że w 1856 August Karl Krönig (1822–1879) i w 1857 Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888) powzięli myśl przypisania cząsteczkom ruchu prostoliniowego, z wyjątkiem chwil, w których cząsteczki zderzają się ze sobą lub ze ścianą naczynia”⁸.

Wiedza historyczna współczesnych filozofów przyrody nie dorównuje jednak historycznej wiedzy fizyków. Żadnych wzmianek ani na temat prac A. Kröniga, ani prac, z których Krönig czerpał główne idee (m.in. publikacji J. Herapatha i J. J. Waterstone’a) nie ma w najnowszej monografii na temat szeroko rozumianego kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii, która *nota bene* ukazała się w tym jubileuszowym roku⁹. W imię prawdy historycznej przy okazji tej rocznicy i z uwagi na powyższe

College Press 2003, gdzie można znaleźć trudno dostępne teksty Maxwella na temat kinetycznej teorii gazów. W tekście Maxwella z 1960 r. znalazła się natomiast krótka notka historyczną, w której jako prekursorzy tej teorii wymieni są m.in. D. Bernoulli, J. Herapath, J. Joule, A. Krönig i R. Clausius. Bardziej szczegółową charakterystykę prekursorów kinetycznej (dynamicznej) teorii gazów) Maxwell przedstawił w rękopisie, który opublikował H. T. Bernstein (*J. Clerk Maxwell on the History of the Kinetic Theory of Gases, 1871*, „Isis” 54 nr 2 (1963): 206-216). Maxwell pisząc o pracach Herapatha określa je jednak jako w ogólności niedoskonałe. Warto odnotować, że w publikacji Bernsteina znajduje się szereg cennych informacji historycznych na temat początków kinetycznej teorii gazów m.in. obszerna wypowiedź na ten temat W. Thomsena.

⁷ Z drugiej strony warto zauważyć, że po publikacjach Maxwella Herapath stał się o to by uwzględniono jego dokonania w zakresie kinetycznej teorii gazów. W tym celu pisał listy do poczytnych ówczesnie magazynów. Ważną do odnotowania (anty)inspiracją prac Maxwella w zakresie kinetycznej teorii gazów była darwinowska teoria ewolucji. Intencją Maxwella było wskazanie na takie dzieła Stwórcy (atomy), których doskonałość nie może zostać zakwestionowana. Jest to przykład tzw. zewnętrznych czynników determinujących rozwój nauki. Jednakże czynniki te mają z reguły drugorzędne znaczenie. H. Bernstein, *J. Clerk Maxwell on the History of the Kinetic Theory of Gases, 1871*, „Isis” 54 nr 2 (1963): 206-216.

⁸ M. Laue, *Geschichte der Physik* (tłum. pol. A. Teske, *Historia fizyki*, Warszawa: PWN 1957, s. 152-153). Jednakże ani J. C. Maxwell, ani M. Laue, ani tym bardziej G. Białkowski nie wspominają prac J. Waterstone’a, z których korzystał J. Herapath i przede wszystkim A. Krönig.

⁹ A. Łukasik, *Filozofia atomizmu. Atomistyczny model świata w filozofii przyrody fizyce klasycznej i współczesnej a problem elementarności*, Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej 2006. Można domniemywać, że autor świadomie pominął te postaci z dziejów fizyki, co wydaje się jednak wysoce arbitralną decyzją, jednakże zrozumiałą w świetle braku ważnych opracowań atomizmu fizycznego (m.in. S. G. Brush, *The kind of motion we call heat: a history of the kinetic theory of gases in the 19th century*, Amsterdam: North-Holland Pub. 1976;). Z drugiej strony jeżeli celem tej monografii miała być „[...] analiza historyczna rozwoju pojęcia atomu, czy, szerzej, pojęcia elementarnych składników materii – od starożytnej filozofii przyrody do współczesnej fizyki atomowej i fizyki cząstek elementarnych” (tamże, s. 9), to niewątpliwie dyskusja osiągnięć A. K. Kröniga, J. Herapatha i J. J. Waterstone’a powinna znaleźć się w zakresie tego opracowania. Nie jest to jednak odosobniony przykład braku ważnych ogniw w rekonstruowanym łańcuchu rozwoju pojęcia atomu. We wspomnianej powyżej monografii nie ma też wzmianek na temat m.in. prac S. Basso.

okoliczności zasadne wydaje się przedstawienie okoliczności, które doprowadziły do ukonstytuowania się kinetyczno-molekularnego modelu materii oraz głównych postaci, które możemy interpretować jako prekursorów metod badawczych nowożytnej fizyki¹⁰.

1. Johna Herapatha kinetyczna teoria gazów

Historycznie ważną pracą kładącą zręby pod kinetyczno-molekularny model struktury materii rozwijany na gruncie nowożytnej fizyki była monografia D. Bernoulliego¹¹ (1700-1782) jednakże z punktu widzenia wpływu na aparat pojęciowy kinetycznej teorii gazów rozwijanej w połowie XIX wieku bardziej decydujące znaczenie miały jednak wyniki poznawcze osiągnięte przez Johna Herapatha (1790-1868) i Johna Jamesa Waterstone'a (1811- 1883), przede wszystkim zaś Augusta Karla Kröniga (1822–1879).

John Herapath nigdy nie znajdował się w centrum ówczesnego środowiska naukowego, nie utrzymywał też kontaktu z prominentnymi przedstawicielami tego środowiska. Z jednej strony odcinało go to od dostępu do głównych idei naukowych tamtych czasów, ale z drugiej pozwalało na rozwój oryginalnych koncepcji i strategii badawczych. Herapath zainteresował się problemami nowożytnej fizyki w związku z teorią grawitacji Newtona¹². Największym wyzwaniem jakie stało przed uczonymi końca XVIII i początku XIX wieku była próba podania mechanicznej interpretacji grawitacji. Herapath starał się rozwinąć tzw. „kinetyczną teorię grawitacji¹³” zaproponowaną po raz pierwszy (1774) przez G. S. LeSage'a (1740-1803). Modyfikując kinetyczną teorię grawitacji LeSage'a wysunął hipotezę, zgodnie z którą należało tak zmodyfikować mo-

¹⁰Szkocki fizyk i inżynier William John Macquorn Rankine (1820-1872) sprecyzował pojęcie energii wprowadzając koncepcję energii potencjalnej. Por. W. J. M. Rankine, *A Review of Fundamental Principles of Mechanical Theory of Heat; with Remarks on the Thermic Phenomena of Currents of Elastic Fluids*, „Transactions of the Royal Society of Edinburgh” 22 (1853): 565-590; W. J. M. Rankine, *Outline of the Science of Energetics*, „Edinburgh New Philosophical Journal” 2 (1855): 120-141.

¹¹ D. Bernoulli, *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*, Strasbourg, Johann Reinhold Dulsseke 1738. Bernoulli, podobnie jak Galileusz i Christiaan Huygens, przedkładał zasadę zachowania energii kinetycznej (*vis viva*, siły żywej) nad zasadę zachowania pędu. W swojej pracy wyprowadzili makroskopową wielkość ciśnienia korzystając z mikroskopowych (mechanicznych) wielkości masy i prędkości molekuł gazu. Inaczej to ujmując można powiedzieć, że D. Bernoulli w swojej pracy na temat hydrodynamiki analitycznie wyprowadził prawo Boyle'a. Por. także H. M. Leicester, *Boyle, Lomonosov, Lavoisier, and Corpuscular Theory of Matter*, „Isis” 58 nr 2 (1967): 240-244, gdzie omawiany jest wkład innych XVIII-wiecznych uczonych w rozwój kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

¹² Herapath miał też na swoim koncie odkrycia z zakresu astronomii obserwacyjnej. Jako pierwszy dokonał obserwacji komety, która była widoczna w Anglii w styczniu 1831.

¹³ Mechaniczna koncepcja grawitacji została opublikowana przez La Sage'a pod tytułem *Lucrece Newtonien* w „Memoires de l'Academie Royale des Science et Belles-Lettres de Berlin” (1784): 1-28. Por. S. Aronson, *The Gravitational Theory of Georges-Louis Le Sage*, „The Natural Philosopher” 3 (1964): ?, gdzie szczegółowo przedstawiona jest ta koncepcja oraz jej recepcja w nowożytnej fizyce.

del grawitacji aby uwzględnić efekt wpływu wysokiej temperatury w otoczeniu Słońca na zachowanie się cząstek eteru. W tym kontekście pojawił się problem określenia relacji pomiędzy temperaturą a prędkością tzw. atomów grawitacyjnych (*gravific particles*). Herapath postulował by skalarny pęd (mv) cząsteczki gazu był miarą jego absolutnej temperatury¹⁴.

Herapath – niezależnie od D. Bernoulliego – uzyskał podobne relacje wiążące makroskopowe (fenomenologiczne) wartości ciśnienia i objętości gazu z wielkością mikroskopową (prędkość molekuly gazu). W 1820 wyniki swoich badań starał się przedstawić na forum Towarzystwa Królewskiego (Royal Society of London) w formie publikacji w „Philosophical Transactions”, ale – jak sam otwarcie przyznawał – w tym czasie nie mógł się wylegitymować poważnymi osiągnięciami badawczymi. Warto też zauważyć, że ówczesny prezes Royal Society – Humprey Davy – aczkolwiek raczej przychylny kinetyczno-molekularnej koncepcji ciepła (na gruncie chemii odrzucał ideę flogistonu) miał poważne zastrzeżenia do kinetycznej teorii gazu Herapatha, gdyż był gorącym zwolennikiem idei przyrody lansowanej przez przedstawicieli tzw. romantyczno-idealistycznej filozofii przyrody programowo odrzucających mechanicyzm. Powyższe okoliczności¹⁵ zdecydowały o tym, że wyniki badań Herapatha nie zostały opublikowane na łamach „Philosophical Transactions”. Za radą Davy’ego Herapath postanowił wyniki swoich badań opublikować w innym czasopiśmie naukowym. Ostatecznie jego kinetyczna teoria gazów ukazała się w 1821 na łamach „Annals of Philosophy”¹⁶. Cza-

¹⁴ Jego propozycja użycia pojęcia pędu zamiast pojęcia energii kinetycznej brała się z chęci uniknięcia paradoksu (zauważonego już przez Leibniza), który pojawiał się w związku z rozpatrywaniem atomów jako cząstek niepodzielnych (prostych, niezłożonych) i zarazem doskonale sztywnych. Problemem było to czy zderzenia pomiędzy atomami są zderzeniami elastycznymi, czy też zderzeniami nieelastycznymi? Gdyby zderzenia miały być elastyczne, to atomy musiałyby zmieniać swój kształt a nie było to możliwe z uwagi na założenie o niezmiennym kształcie atomów. Z drugiej strony przyjęcie wariantu zderzeń nieelastycznych rodziło problemy z uwagi na niezachowanie energii w takich procesach. Dlatego Herapath zdecydował się w miejsce energii użyć pędu, który jest także zachowany w zderzeniach nieelastycznych. Rozwiązanie to powodowało, że prognozowana na podstawie tego modelu temperatura mieszaniny ciepłego i zimnego gazu była niższa niż temperatura prognozowana na podstawie modelu, w którym temperatura jest reprezentowana przez średnią energię kinetyczną cząsteczki gazu. Kinetyczna teoria gazów Herapatha nie dawała się też uzgodnić z hipotezą Avogadro.

¹⁵ Dodatkową przeszkodą w akceptacji kinetycznej teorii gazów była konsekwencja tej teorii polegająca na tym, że po ustaniu wszelkiego ruchu powinniśmy uzyskać temperaturę absolutnego zera. Herapath postulował, że temperatura ta (w skali Fahrenheita) powinna wynosić – 480⁰ F lub – 491⁰ F. Por. S. G. Brush, *The Royal Society's First Rejection of the Kinetic Theory of Gases (1821), John Herapath versus Humphry Davy*, „Notes and Records of the Royal Society of London” 18 nr 2 (1963): 161-180, gdzie szczegółowo analizowane są przyczyny niechęci H. Davy’ego w stosunku do kinetycznej teorii gazów (m.in. wysoce teoretyczny naukowy styl pracy Herapatha, podobny do stylu matematyków francuskich, znacznie natomiast odbiegający od standardów prac o bardziej empirycznym charakterze autorów angielskich). Obszerny artykuł Brusha zawiera również korespondencje - prowadzoną w 1821 roku - pomiędzy tymi uczonymi.

¹⁶ *A Mathematical Inquiry into the Causes, Laws and principal Phenomena of Heat, Gases, Gravitation, &c.*, „Annals of Philosophy (new series)” 1 (1812): 273-293, 340-351, 401-416; *On the Physical Properties of Gases*, „Annals of Philosophy” 7 (1816): 56-60. Ośmielony pracami Thomasa

sopismo to cieszyło się ówczesnie dobrą reputacją i było porównywalne do czasopism naukowych tej rangi co „Philosophical Magazine”, „Annalen der Physik und der Chemie” lub „American Journal of Science”. Publikacja Herapatha nie spotkała się jednak z życzliwym przyjęciem społeczności naukowej, gdyż – jak można przypuszczać – idee kinetycznej teorii gazów zbyt radykalnie odbiegały od ogółu akceptowanych w ówczesnej nauce poglądów na temat istoty ciepła. Nie zraziło to jednak Herapatha, który próbował rozpowszechnić swoją koncepcję ciepła na łamach „Railway Magazine” czasopisma, którego był redaktorem. W tym czasie rozwijał też swoją teorię uzyskując ważne wyniki¹⁷.

2. Mechaniczna teoria ciepła Johna Jamesa Waterstona

Rezultaty o wiele bliższe standardowej kinetyczno-molekularnej teorii gazów uzyskał szkocki fizyk-amator – John James Waterston, który podobnie jak i Herapath interesował się mechaniczną interpretacją teorii grawitacji Newtona¹⁸. W 1843 opublikował pracę, która zawierała pierwsze sformułowanie zasady ekwipartycji energii. Podobnie jak i Herapath wyniki swoich badań chciał opublikować w „Philosophical Transactions”, ale prośbę tę odrzucono, gdyż recenzenci jego pracy uznali, iż wnioski w niej zawarte nie są zgodne z przyjmowanymi przez ogół uczonych założeniami¹⁹. Waterston nie został jednak o tym poinformowany, nie odesłano mu też rękopisu. Przebywając z dala od Anglii²⁰ próbował – przynajmniej skróconą wersję swojej teorii – wprowadzić do nauki. W tym celu przedstawił główne wyniki²¹ swojej pracy w 1851 roku, na corocznym sympozjum Brytyjskiego Towarzystwa Rozwoju Nauki (British Association

Grahama (1805-1869) na temat zjawiska dyfuzji w gazach i pracami H. V. Regnaulta (1810-1878) na temat ściśliwości gazów, poprawioną i uzupełnioną wersję swojej teorii opublikował w roku 1847 (J. Herapath, *Mathematical Physics: or The Mathematical Principles of Natural Philosophy: with a development of the causes of heat, gaseous elasticity, gravitation, and other great phenomena of nature*, London: Whittaker and Co. and Herapath's Railway Journal Office).

¹⁷ Z kinetyczno-molekularnego modelu gazu udało mu się wyprowadzić prędkość dźwięku w powietrzu. Według Herapatha przy temperaturze 32 °F prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 1090 stóp na sekundę. Dawało to dobrą zgodność z danymi doświadczalnymi jakimi wówczas dysponowano. Por. S. G. Brush, *The Development of the Kinetic Theory of Gases: I. Herapath*, „Annals of Science”, 13 (1957): 188-198.

¹⁸ Pierwsze wyniki w tym zakresie uzyskał już w wieku 19-tu lat, jednakże głównym przedmiotem jego naukowych zainteresowań pozostawała fizjologia.

¹⁹ Jeden z recenzentów pracy Waterstona – J. W. Lubbock (1803-1865) – napisał, że jest ona czystym nonsensem. Druga recenzja była jeszcze bardziej druzgocąca.

²⁰ W tym czasie Waterston mieszkał w Bombaju i pracował dla Kampanii Wschodnioindyjskiej. Por. S. G. Brush, *John James Waterston and the Kinetic Theory of Gases*, „American Scientist” 49 (1961): 202-214.

²¹ W szczególności wyprowadził zależność pomiędzy ciśnieniem (P) i średnią energią kinetyczną oraz liczbą cząsteczek gazu (N): $P = N[m(v_{sr})^2]$. Por. S. G. Brush, *The Development of the Kinetic Theory of Gases: II. Waterston*, „Annals of Science”, 13 (1957): 275-282.

for the Advancement of Science). Tekst referatu Waterstona²² zawierał nie tylko ideę, zgodnie z którą średnia energia kinetyczna molekuł mieszaniny gazów jest taka sama, ale też wskazywał na to, iż ta wersja kinetycznej teorii gazu jest zgodna z hipotezą Avogadro²³.

Abstrakt tego referatu znany był H. Helmholtzowi, który skomentował go w swojej pracy. Niewątpliwie jednak o wiele bardziej koncepcje Waterstona oddziaływały na innego niemieckiego fizyka – A. Kröninga²⁴.

3. Kinetyczna teoria gazów Augusta Karla Kröninga

Kinetyczna teoria gazów A. Kröninga zawierała wszystkie główne idee wysunięte wcześniej przez Waterstona²⁵, a nawet niektóre błędy zawarte w pracy angielskiego fizyka. Jak zauważa E. Daub podobieństwo pomiędzy tymi pracami byłoby jeszcze większe gdyby uwzględnić – dyskutowany przez Kröninga – wpływ grawitacji i ciśnienia atmosferycznego na własności gazów. Oprócz podobieństw są jednak i różnice, ale tylko dwie: 1) Kröning rozważa przypadek swobodnego rozprężania się gazu, który został pominięty przez Waterstona oraz 2) nie analizuje

²² Pod koniec XIX wieku (1891) przy opracowywaniu traktatu na temat akustyki John William Rayleigh (1842-1919) odkrył artykuł Waterstona z 1858, a następnie niepublikowany tekst znajdujący się w archiwum Royal Society. W tym czasie Reilegh był sekretarzem Royal Society. Po latach – dzięki staraniom Rayleigha – tekst Waterstona z 1858 roku ukazał się na łamach „Philosophical Transactions”. Por. J. S. Haldane (ed.), *The Collected Scientific Papers of John James Waterston*, 1928, s. 209-210. Warto zauważyć, że Rayleigh w 1892 roku opracował metodę wyznaczenia liczby Avogadro oraz wyznaczył wielkości cząsteczek niektórych związków chemicznych w istotny sposób przyczyniając się do rozwoju kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii.

²³ Kinetyczna teoria gazów Waterstone’a spotkała się krytyką Williama Johna Macquorna Rankine’a. Por. W. J. M. Rankine, *A Review of Fundamental Principles of Mechanical Theory of Heat; with Remarks on the Thermic Phenomena of Currents of Elastic Fluids*, „Transactions of the Royal Society of Edinburgh” 22 (1853): 565-590. Por. także E. Daub, Waterston, Rankine, and Clausius on the Kinetic Theory of Gases, „Isis” 61 nr 1 (1970): 105-106. Na koncepcje Waterstona zwrócił uwagę m.in. H. Helmholtz (1821-1894). W późniejszym czasie (1858) Waterston opublikował artykuł, w którym starał się wykazać, że oszacowanie prędkości dźwięku przeprowadzone przez Laplace’a na gruncie teorii kalorycznej można równie dobrze wyprowadzić z jego wersji kinetycznej teorii gazów.

²⁴ Szczegółowo wpływ Waterstona na kinetyczną teorię gazów A. Kröninga analizuje E. Daub, *Waterston's influence on Krönig's kinetic theory of gases*, „Isis” 62 nr 4 (1971): 512-515. W artykule Dauba można też znaleźć fragmenty prac Waterstona i odpowiadające im (paralelne) fragmenty prac Kröninga.

²⁵ „Mechaniczna teoria ciepła utrzymuje, że ciepło ciała polega nie na czym innym, jak na ruchu jego części najdrobniejszych. Brak atoli jasnego poglądu na to, jakiego ten ruch jest rodzaju ... W stosunku do ciał gazowych chcę wyłożyć następującą hipotezę.

Gazy składają się z atomów, zachowujących się jak kule stałe, doskonale sprężyste, poruszające się w próżnej przestrzeni z pewną prędkością. Ciała stałe i ciekłe zachowują się w stosunku do uderzeń atomów gazowych również jak doskonale sprężyste, skoro tylko nastąpi równowaga lub stan stateczny ...

Atom gazu nie drga zatem około położenia równowagi, lecz porusza się po linii prostej z prędkością jednostajną, dopóki nie uderzy o inny atom lub o ścianę. W szczególności niema odpychania pomiędzy dwoma atomami, które się nie stykają z sobą” A. Kröning, *Grundzuge einer Theorie der Gase*, „Annalen der Physik und Chemie”. 99 (1856): 315-22. Cyt. za M. Grotowski, M. Sadzewiczowa, W. Werner, S. Ziemecki, *Dzieje rozwoju fizyki w zarysach*, Warszawa: „Mathesis Polska” 1931, t. 1, s. 354.

wpływu (różnego typu) ciepła właściwego gazu na prędkość dźwięku.

Teoria Kröninga została w istotny sposób skorygowana przez Clausiusa²⁶ i w tej postaci była też punktem wyjścia dla prac Maxwella i Boltzmanna, którzy nadali kinetycznej teorii gazów współczesny kształt. Warto wspomnieć o tej teorii, gdyż odegrała ona rolę ważnego pośrednika, ale zarazem *sui generis* punktu wyjścia dla kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii, a zwłaszcza dla nowych metod badawczych fizyki, które pozwoliły ustanowić nowe realcje pomiędzy mikrokosmosem i makrokosmosem.

3. Uwagi końcowe

Powyższe rozważania miały na celu nie tylko uzupełnienie (dostępnych w języku polskim) prac z zakresu historii fizyki. Przede wszystkim zorientowane były na ukazanie kontekstu odkrycia nowych metod, które umożliwiły badanie mikroświata. Rozwój tych metod w krótkiej perspektywie czasu umożliwił tworzenie nowego typu związków pomiędzy mikrokosmosem i makrokosmosem. Nowe relacje łączące mikrokosmos z makrokosmosem w zdecydowany sposób różniły się od tych, które zostały wypracowane na gruncie starożytnej średniowiecznej filozofii przyrody i stanowiły jeden z czynników kształtowania się nowej wizji świata przyrody.

²⁶ Przede wszystkim zostało uwzględnione to, iż cząsteczki większości gazów nie są jedno, ale wieloatomowe. Druga poprawka polegała na pełniejszym uwzględnieniu zmiany pędu cząsteczki w czasie zderzenia. W wyniku tej korekty ciśnienie gazu (p) będzie równe $1/3 Nmc^2/V$ (gdzie N – liczba cząsteczek, m – masa cząsteczki, c – prędkość cząsteczki, V – objętość gazu, a nie – jak było u Kröninga – $1/6 Nmc^2/V$). Por. M. Grotowski, M. Sadzewiczowa, W. Werner, S. Ziemecki, *Dzieje rozwoju fizyki w zarysach*, Warszawa: „Mathesis Polska” 1931, t. 1, s. 355-356.