

Kokowski, Michał

Władysław Natanson wybitny prekursor badań zjawisk nieodwracalnych i znakomity epistemolog fizyki

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 38/4, 39-70

1993

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.



Michał Kokowski
(Kraków)

Władysław Natanson wybitny prekursor badań zjawisk nieodwracalnych i znakomity epistemolog fizyki

Wiedza o pracach Władysława Natansona dotyczących termodynamiki nierównowagowej i epistemologii fizyki jest niestuszenie znikoma, i to nie tylko w obcojęzycznej, ale i polskiej literaturze. Spotykamy się tutaj niemal nieustannie uproszczeniami, w których bądź pomniejsza się ich znaczenie, bądź też wprost przeciwnie, przecenia się ich wartość popadając w tzw. ton patriotyczny. Jednakże najczęściej, jak to zwykle bywa z myślą niekrzykliwą, a wielką, w ogóle się o nich zapomina. Traci się przez to niezmiernie dużo, gdyż Natanson był wybitnym prekursorem termodynamiki nierównowagowej i jednocześnie znakomitym epistemologiem fizyki. Obydwie te dziedziny refleksji były u Natansona ściśle z sobą związane. Jedne warunkują drugie, ilustrując i potwierdzając istnienie niezmiernie ważnej reguły epistemologicznej, zgodnie z którą niemożliwe jest poszukiwanie, tworzenie zupełnie nowej ilościowej teorii jakiegś grupy zjawisk, bez jednoczesnej świadomości możliwości, ograniczeń, zalet i wad metody pracy naukowej.

Naszym zamierzeniem jest wypełnienie luki jaka istnieje w literaturze tego przedmiotu i dlatego chcielibyśmy obszernie przedstawić wysiłki Natansona, których celem było odnalezienie fundamentalnej teorii zjawisk nierównowagowych wraz z ukazaniem jego myśli epistemologicznej. Nie będziemy przeciwstawiać kontekstu odkrycia kontekstowi uzasadnienia, gdyż po prostu sądzimy, iż jeden bez drugiego nie istnieje. Nie wybieramy za przedmiot naszych rozważań tematu analizy prac Natansona tylko dlatego, że myśl Natansona jest głęboka, że jak dotąd nie ma w literaturze przedmiotu dogłębnych analiz interesujących nas prac Natansona, ale przede wszystkim dlatego, że pojawiła się, naszym zdaniem, możliwość

ujęcia tych prac z dogodnej perspektywy. Jest to wynik zaistnienia klimatu myśli określonego przez termodynamikę nieliniową Ilya Prigogine'a, teorię katastrof René Thoma i teorię deterministycznego chaosu oraz, z drugiej strony, przez konsekwencje sporu Kuhn-Popper na terenie epistemologii nauki. Możliwość ta wiąże się z istnieniem kolejnej, ogólnej i nietrywialnej, choć może banalnie brzmiącej reguły, iż zwykle po jakichś pięćdziesięciu, stu latach, z pewnego oddalenia, dostrzec można lepiej wartość czyichś dokonań. W tych poszukiwaniach przyświecać nam będą jako motto słowa Prof. Władysława Natansona wypowiedziane u schyłku jego życia i skierowane do A.Piekary:

„Bardzo małe są widoki, które umiałem pokazać współczesnemu mi pokoleniu. Nie potrafiłem pogłębić się, skupić, wyrzec w życiu mnóstwa rzeczy. Ale pragnąłbym, gdy mnie już nie będzie, gdy przeminie ostatni ślad mego istnienia, pragnąłbym, by ktoś o mnie pomyślał: ten człowiek miał wzrok zwrócony ku horyzontom dalekim”¹.

Te proste, jasne słowa znamionują walkę myśli, którą toczył w swym życiu Natanson. Był on naprawdę zapatrzony w odległy, ówczesnie jedynie majaczący w oddali horyzont i w jakimś stopniu przeczuwał go intuicją wybitnego fizyka.

Naszym zamierzeniem jest przypomnienie ówczesnego Natansonowi horyzontu myśli naukowej i przedstawienie problemów jakie napotkał Natanson w przezwyciężeniu ograniczeń ówczesnych teorii zjawisk cieplnych. Dlatego w naszym pierwszym artykule ukażemy ogólne tło rozważań dotyczących sformułowania ścisłej teorii zjawisk termodynamicznych poprzedzających dokonania Natansona w tej dziedzinie. W następnych artykułach przedstawimy poszukiwanie przez Natansona takiej teorii, zastosowanie zasady termokinetycznej do zjawisk liniowych jako rozwiązanie tego problemu, następnie opowiemy o zmaganiach w odnalezieniu właściwego podejścia do zjawisk nieliniowych oraz ukażemy głębiej jego myśli epistemologicznej².

1 List Prof. W.Natansona z 9.02.1935 do A.Piekary, zamieszczony w Przedmowie Prof. Piekary do książki Natansona, „Wspomnienia i szkice”, Wydawnictwo Literackie, Kraków, 1977, s. 15.

2 Zainteresowanych prekursorskimi pracami Natansona, dotyczącymi statystyki kwantowej promieniowania elektromagnetycznego odsyłamy do prac Natansona i do ich bardzo interesujących i merytorycznych opracowań dokonanych przez B.Langego (zob. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” nr 1/92 s. 11-12, i nr 2/92 s. 121-132). Jednakże znając całokształt prac Natansona, w tym około sto pięćdziesiąt jego

Geneza sytuacji problemowej zaistniałej w teorii zjawisk cieplnych przed sformułowaniem Zasady Termokinetycznej Natansona

Wstęp

O pracach termodynamicznych Natansona, a w szczególności o zasadzie termokinetycznej nazywanej jego imieniem, pisało już szereg wybitnych uczonych, m.in.: L.Klecki³, J.Weysenhoff⁴, A.Piekara⁵, T.Piech, J.Hulewicz⁶, A.Teske⁷, B.Średniawa⁸, R.Mierzecki⁹ i szczególnie K.Gumiński¹⁰. Echa dokonań Natansona odnaleźć też można w monografii zjawisk nieodwracalnych De Groot'a¹¹, a wedle cytowanego już Weysenhoffa, znaczenie prac Natansona doceniał również Prigogine. Jednakże

artykułów i kilka setek ściśle naukowych listów, trzeba podkreślić, że umiłowaną i najbardziej badaną przez niego dziedziną nie była ani mechanika kwantowa (zwana przez niego mechaniką undulacyjną), ani optyka (w której Natanson miał również niemałe zasługi) lecz właśnie termodynamika, a w szczególności termodynamika zjawisk nieodwracalnych.

- 3 L.Klecki, Władysław Natanson, *Wiadomości Mat.*, rocz. 45, 1938, s. 77-95.
- 4 J.Weysenhoff, *Działalność naukowa prof. W.Natansona*, *Postępy fizyki*, t. IX, zes. 2, 1958, s. 120-124; J.Weysenhoff, *Pamięci Natansona w setną rocznicę Jego urodzin*, *Postępy fizyki*, t. XVII, zes. 2, 1966, s. 95-100.
- 5 A.Piekara, Władysław Natanson uczony, myśliciel i pisarz, w: *Wkład Polaków do nauki*, Biblioteka Problemów, t. 101, PWN, Warszawa 1967, s. 339-355.
- 6 T.Piech, J.Hulewicz, „Natanson Władysław”, *PSB*, t. 22, s. 611, 1977.
- 7 A.Teske, *Dictionary of Scientific Biography*, New York, vol. IX, s. 616-617.
- 8 B.Średniawa, *History of Theoretical Physics at Jagiellonian University in Cracow in XIXth and in The First Half of XXth Century*, PWN Warszawa — Kraków, 1985.
- 9 R.Mierzecki, *Historyczny rozwój pojęć chemicznych*, PWN, Warszawa 1985; i wersja angielska: *The Historical Development of Chemical Concepts*, PWN — Polish Scientific Publisher, Warszawa, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht(Boston)London, 1991.
- 10 K.Gumiński, *O pracach termodynamicznych Władysława Natansona*, *Postępy fizyki*, t. XVII, zes. 2, 1966, s. 101-106; K.Gumiński, *On the Natanson Principles of Irreversible Processes*, *Acta Physics*, vol. A58 (1980), s. 501-507; K.Gumiński, *Termodynamika procesów nieodwracalnych*, PWN, Warszawa, wyd. 2, 1983, wyd. 3, 1986. W tych to wydaniach Gumiński dodał rozdział o zasadzie termokinetycznej Natansona, a w zasadzie o współczesnych próbach jej rozwinięcia.
- 11 De Groot R.S., *Thermodynamics of Irreversible Processes*, North-Holland, Amsterdam 1951, p. 9 i p. 228.

temat ten nie został opracowany wyczerpująco, gdyż wymienieni autorzy całkowicie pominęli aspekt epistemologiczny prac Natansona, nie interesując się w rzeczywistości jego poszukiwaniami ilościowych praw zjawisk termodynamicznych, lecz jedynie ich rezultatami. Ale i tu często dokonywali uproszczeń. Tak surowe słowa nie mają jednak bezwzględego znaczenia. Ta krytyka, ten sposób podejścia jest owocem rozwoju w XX w. świadomości przedmiotowej historii nauk matematyczno-fizycznych oraz epistemologii nauki wraz z jednym z jej działów zwanym filozofią odkrycia naukowego. Ceniąc aspekt faktograficzny koncentrują one wspólnie swe wysiłki na znalezieniu odpowiedzi na pozornie proste pytania: jakie były źródła danej pracy teoretycznej czy eksperymentalnej, do jakich prac wcześniejszych nawiązywała, co wносиła nowego, itp. Innymi słowy, zainteresowane są one żywiołem pracy naukowej, takiej jaką jest ona w rzeczywistości: splątaniem metody indukcyjnej i dedukcyjnej, nieustannym mieszaniem aspektu kontekstu odkrycia i uzasadnienia.

Mając to na uwadze, w poniższym artykule przedstawiamy zarys jednej ze ścieżek wiodącej Natansona do sformułowania zasady termokinetycznej, a mianowicie zastosowania matematycznych narzędzi makroskopowej dynamiki newtonowskiej do ogółu zjawisk Natury wraz z łączącym się z nim nierozzerwalnie sporem o właściwą interpretację ontologiczno-metodologiczną takiego podejścia. Pomijamy zaś tutaj dwie pozostałe, równie ważne, przy tym o wiele bardziej szczegółowe: teorię funkcji dyssypacji i prawo koercji. Pojawią się one w kolejnych naszych artykułach.

Część I

Sformułowanie dwóch zasad termodynamiki i wynikające stąd konsekwencje dla nauki o zjawiskach cieplnych Ewolucja mechaniki

Publikując w 1687 r. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* Newton stworzył nowy rozdział w dziejach fizyki. Przedstawiona przez Newtona koncepcja matematyzacji ruchu ciał w przestrzeni, zwanego dalej ruchem przestrzennym¹² zdobywa (stopniowo, bo trwało to w Europie około siedemdziesiąt lat) wielkie uznanie. W wyniku prac znakomitych

¹² Newton był antagonistą arystotelesowskiego pojęcia ruchu rozumianego jako synonimu jakiegokolwiek zmiany zachodzącej w dowolnym procesie: zmiany ilości, jakości

specjalistów łączących jednocześnie wybitne umiejętności z zakresu fizyki i matematyki m.in. Jana Bernoulli'ego (1667-1748), de Maupertuisa (1698-1759), Eulera (1707-1783), d'Alemberta (1717-1783), Lagrange'a (1736-1813), Laplace'a (1749-1827) i wielu innych, ujawnia się w XVIII wieku cały ogrom konsekwencji wynikających z dzieła Newtona. Zauważono je dzięki sprecyzowaniu języka matematycznego, tj. dzięki udoskonaleniu analizy matematycznej będącej podstawą mechaniki newtonowskiej. Powstają fundamentalne prace z rachunku różniczkowego i całkowego: rozwija się teoria równań różniczkowych (Euler¹³, Lagrange¹⁴) i rachunek wariacyjny (Euler¹⁵, Lagrange¹⁶). A dzieje się to w bezpośrednim związku z rozwojem mechaniki newtonowskiej.

Stopniowo, na polu dynamiki (pamiętajmy: rozważającej jedynie siły centralne) coraz większego znaczenia (na złość kartezjańczykom i Newtonowi, a ku satysfakcji Leibnitz'a) nabiera *vis viva*, czyli siła żywa o mierze równej iloczynowi masy i kwadratu prędkości; jednakże pojęcie pracy ciągle jeszcze nie posiada ogólnego znaczenia i, co za tym idzie, nazwy. Stąd w sformułowaniach zasady zachowania siły żywej D. Bernoulli'ego (1738)¹⁷, d'Alemberta (1743)¹⁸, Eulera (1736)¹⁹, Lagrange

czy substancji. Rozwazał on, w odróżnieniu od Arystotelesa i scholastyków, tylko ruch cząstek punktowych lub ciał rozciągliwych w przestrzeni, a nie inne typy ruchów. Jak się okaże w dalszej części artykułu, to podkreślenie ma spore znaczenie dla celu tej pracy.

- 13 L.Euler, *Introductio in analysin infinitorum*, t. 1-2, Lausannae, 1748; L.Euler, *Institutiones calculi differentialis*, v. 1-2, Berlin, 1755; L.Euler, *Institutiones calculi integralis*, v. 1-3, Petropoli, 1768-1770.
- 14 J.L.Lagrange, *Théoris des fonctions analytiques contenant, les principes du calcul différentiel, dégagés de toute considération d'infiniment, petits d'évanouissants, de limites et de fluxions, et réduits à l'analyse algébrique des quantités finies*, Paris, 1797.
- 15 L.Euler, *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*, Lausannae et Genevae, 1774.
- 16 J.L.Lagrange, *Essai d'une nouvelle méthode pour déterminer les maxima et les minima des formules intégrales indéfinies*, *Miscellanea Taurinensia*, (1760-1761) 1762.
- 17 D.Bernoulli, *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, comentarii*, Basel, 1738, s. 12.
- 18 J.L.d'Alembert, *Traité de dynamique*, Paris, 1743, wyd. 2, Paris, 1758, s. 252-253.
- 19 L.Euler, *Mechanica sive motus scientia analytice mechanica exposita*, w: *Opera omnia*, ser. 2, t. 2, Leipzig, Berlin, 1911, s. 74-77, wyd. 1, St.Petersburg, 1736.

(1788)²⁰, Laplace'a (1798)²¹ siłę żywą przyrównuje się do funkcji zależnej od współrzędnych przestrzennych. U Bernoulli'ego zasada ta brzmi tak: „Zachowanie siły żywej to równość rzeczywistego spadku z potencjalnym wzniesieniem się”²². W sformułowaniu zaś Lagrange'a, a dotyczącym jedynie sił centralnych i potencjalnych oraz więzów zachowawczych przyjmuje ona postać :

$$\sum_i m_i v_i^2 = 2H + \sum_i m_i \pi_i^{23}$$

gdzie: H jest stałą całkowania, a π_i to funkcje zależne tylko od współrzędnych położenia. Z kolei Laplace zastępuje pierwotnie występującą w prawie zachowania całkę pracy przez pojęcie potencjału, wprowadzonego przez Lagrange'a (1773). Jak zobaczymy później odegra ono bardzo ważną rolę w rozwoju XIX-wiecznej fizyki.

Wraz z tymi matematycznymi dokonaniem pojawiają się coraz to nowe próby uogólniania równań Newtona (Euler, d'Alembert). W 1788 roku Lagrange, przy użyciu nowych narzędzi matematycznych tj. rachunku wariacyjnego i udoskonalonego rachunku różniczkowego i całkowego formułuje swą Mechanikę Analityczną. Przyjmuje on, że słuszna jest zasada d'Alemberta. Nawiązuje do zasady najmniejszego czasu Fermata (1662), zasad minimum opartych o zasadę zachowania siły żywej Leibnitza, Mauperitusa (1747), Eulera (1774), oraz do swej własnej próby z lat 1760-61. Jego analityczna teoria jest przeniknięta jedną myślą: całą mechanikę trzeba zbudować na fundamencie jednej, ogólnej przesłanki, jednej zasady. „Taką jest zasada, której daję obecnie, choć nie całkiem ściśle, nazwę zasady najmniejszego działania i którą uważam, nie za pewną zasadę metafizyczną, lecz za prostą, ogólną konsekwencję praw mechaniki. Zasada ta, połączona z zasadą sił żywych i rozwinięta według reguł rachunku wariacyjnego, daje od razu wszystkie równania potrzebne do rozwiązania każdego problemu; stąd wynika równie prosta, jak ogólna metoda rozwiązywania problemów dotyczących ruchu ciał”²⁴.

Ta ogólna metoda realizuje się w przypadkach szczególnych: statycznym i dynamicznym. Wprowadzając tzw. zmienne uogólnione, tj. zmien-

20 J.L.Lagrange, *Mécanique analytique*, Paris, 1788, s. 206-209.

21 P.S.Laplace, *Traité de mécanique céleste*, Paris, 1798-1825, *Oeuvres complètes*, t. 1, Paris, 1878-1904, s. 57-61.

22 Cyt. wg: Kuhn T.S., *Dwa bieguny*, PIW, Warszawa, 1985, s. 137.

23 *ibidem* s. 138, przyp. 44.

24 J.L.Lagrange, *Mécanique analytique*, cyt. wg: *Historia matematyki*, praca zbiorowa pod red. A.P.Juszkiewicza, PWN, Warszawa, 1977, t. 3, s. 510.

ne zgodne z więzami, Lagrange wyraża obydwie przypadki w postaci niezwykle prostych, a głębokich w treści, równań matematycznych. Wówczas cała statyka zawiera się w tzw. zasadzie prac wirtualnych, która we wspomnianych zmiennych przyjmuje postać :

$$\delta A = \sum_1 Q_1 \delta q_1 = 0 \quad (1 = 1, 2, \dots, f)$$

a całą dynamikę wyrażają tzw. równania Lagrange'a II-ego rodzaju:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) + \frac{\partial T}{\partial q_1} = Q_1$$

gdzie :

- A - praca wirtualna sił danych,
- Q_1 - siły uogólnione Lagrange'a,
- δq_1 - przesunięcia wirtualne,
- f - ilość stopni swobody układu.
- T - energia kinetyczna układu,
- q_1, \dot{q}_1 - współrzędne i prędkości uogólnione²⁵.

Równania te stają się nowym fundamentem fizyki; lecz nie jest to bynajmniej koniec jej rozwoju. Bowiem Lagrange w 1773²⁶, badając problem przyciągania grawitacyjnego punktu materialnego przez elipsoidę, wprowadza bardzo ważną funkcję, której wprawdzie nie określa jakąś specjalną nazwą, ale której teoria stanie się motorem fizyki matematycznej końca XVIII i niemal całego XIX wieku. Po pracach Laplace'a (1782, 1799)²⁷ i Poissona (1811, 1812-1813)²⁸ znane jest już jej równanie. Ponadto Poisson rozszerza jej stosowanie na zjawiska elektryczne. Pojawia się zasadne pytanie: czy i inne zjawiska podlegają równaniu Laplace'a-Poissona? Temat ten podejmują liczni uczeni. Wprowadzają nazwę na

25 Porównaj uwagi na ten temat np. Rubinowicz W., Królikowski W., *Mechanika teoretyczna*, PWN, wyd. V, Warszawa 1978, s. 168-175.

26 J.L.Lagrange, *Des attractions des sphéroides elliptiques*, *Nouv.M'em.Ac.Berlin* (1773) 1775.

27 P.S.Laplace, *Théoris des attractions des sphéroides et de la figure des planètes*, *Mém.Ac.Paris* (1782)1785; P.S.Laplace, *Traité de mécanique céleste*, t. 2, Paris, 1799.

28 S.D.Poisson, *Traité de mécanique*, t. 1-2, 1811; Swoje równanie Poisson podał w 1812 roku (wg: M. von Laue, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa, 1957, s. 50), lub w 1813 roku (wg: *Historia matematyki*, op. cit., s. 489).

określenie owej sławnej funkcji: Green (1828) mówi o funkcji potencjalnej siły, Helmholtz(1834) o funkcji sił, Gauss (1840) o potencjale²⁹. Ta ostatnia nazwa stopniowo się przyjmuje. Okazuje się też, że potencjał będący owocem dynamiki stosuje się także do zjawisk magnetostatycznych i elektrostatycznych.

Równania Lagrange'a, jak i równanie Laplace'a-Poissona, czy też teoria potencjału w ogólności, nie są końcem sukcesów mechaniki newtonowskiej. Hamilton, mając swych poprzedników w osobach Fermata (1662), Leibniza (1689), Mauperitusa (1747), Eulera (1774), Lagrange'a (1760-61, 1788), wykorzystując płodne pojęcie potencjału, formułuje w 1834 roku słynną zasadę wariacyjną najmniejszego działania, zwaną zasadą Hamiltona. Zgodnie z nią, dla ruchu rzeczywistego i tylko dla rzeczywistego w każdym przedziale czasu t_0, t_1 zachodzi :

$$\delta W_H[q] = 0$$

$$W_H[q] = \int_{t_0}^{t_1} L(q, \dot{q}, t) dt$$

przy czym wariacje $\delta q_l(t)$ spełniają warunki:

$$\delta q_l(t_0) = 0 \quad \text{i} \quad \delta q_l(t_1) = 0 \quad (l=1, 2, \dots, f)$$

gdzie:

$W_H[q]$ - tzw. funkcja działania Hamiltona podczas ruchu

$q_l = q_l(t)$ w przedziale czasu (t_0, t_1)

L - tzw. funkcja Lagrange'a i $L = T - V$, a

T, V - to odpowiednio funkcje energii kinetycznej i potencjalnej układu

oraz - $q = (q_1, q_2, \dots, q_f)$ i $\dot{q} = (\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_f)$ ³⁰.

Odkrycie, czy też sformułowanie tej zasady stanowiło w połowie XIX wieku wielkie wydarzenie. Spełniły się bowiem, w opinii wielu wybitnych uczonych i filozofów, marzenia Archimedesza, Galileusza i Newtona aby wydedukować jak najwięcej praw Natury z kilku podstawowych zasad, a szczególnie marzenie Kartezjusza, który stawiał za cel zbudowanie nauki, wyprowadzającej wszystkie prawa z jednej podstawowej zasady. Gdy w drugiej połowie XVIII w. Mauperitus i Euler wykazywali, że prawa

²⁹ Historia matematyki, op. cit., s. 488.

³⁰ Porównaj uwagi na ten temat np. Rubinowicz W., Królikowski W., op. cit., s. 204-208.

optyki i mechaniki mogą być połączone jedną ogólną zasadą, ta kartezjańska nadzieja wzmocniła się jeszcze bardziej stając się siłą napędową rozwoju ówczesnej fizyki. Ziściła się ona w pracy Hamiltona w postaci jego zasady najmniejszego działania. Zasada ta swym zasięgiem obejmowała mechanikę newtonowską i optykę geometryczną, połączoną niezwykle istotnym związkiem tzw. analogią optyczno-mechaniczną, której Hamilton w sposób ścisły dowiódł. (Głębie tej analogii ujawnią później de Broglie (1923, 1924)³¹, wskazując jedną z dróg prowadzących do powstania mechaniki kwantowej i Schrödinger (1926)³², który ją zrealizował). Tym samym wszystkie zjawiska fizyczne zbadane przez zaawansowane działy nauk matematyczno-fizycznych podlegały zasadzie najmniejszego działania.

Zagadnienie zastosowania metod mechaniki do zjawisk cieplnych

Wraz z chwilą wprowadzenia w mechanice:

- 1) zasady prac wirtualnych wyrażającej prawa równowagi statycznej (może być ona powiązana z funkcją potencjału),
- 2) równania Lagrange'a II rodzaju, będącego najbardziej ogólnym równaniem ruchu (wiązało się ono z teorią równań różniczkowych),
- 3) zasady Hamiltona najmniejszego działania, będącej ukoronowaniem mechaniki (ta wiązała się z rachunkiem wariacyjnym) pojawiło się pytanie, czy można zastosować je do ogółu zjawisk Natury, w tym i zjawisk cieplnych. Jednakże pytanie to nie objawiło się w tak prostej postaci, bowiem wspomniane elementy mechaniki były interpretowane ontologicznie i metodologicznie i to nie tylko po ich sformułowaniu, ale także podczas ich budowy. Konieczność interpretacji ontologicznej była skutkiem poszukiwania zasady struktury świata, jego arche, zaś metodologicznej wyrazem chęci zrozumienia czym są nowe teorie, jakie są ich zalety i wady, po to by wiedzieć jak i gdzie można je stosować. Owocem poszukiwań ontologicznych był pogląd, że żyjemy w świecie deterministycznym i przewidywalnym, określonym przez

31 L. de Broglie, Comptes Rendus 177, 507, 1932; L. de Broglie, Thésés présentésá la Fac. de Sciences de l'Univ. de Paris, Maçon, Paris, 1924.

32 E.Schrödinger, Ann.d.Phys.79, 361, 489, (1926); 80, 437, (1926); 81, 109, (1926).

prawa Newtona, czy też, w jeszcze ogólniejszym sensie przez prawa Lagrange'a, a najogólniej, przez zasadę Hamiltona rozumianą jako abstrakcyjną arche. Taki był świat, taka była jego struktura. Z pasma sukcesów mechaniki wysnuto przypuszczenie że mechanika zdoła objąć ogół zjawisk przyrody. Wiara ta stopniowo wzrastała i rozszerzała się wśród fizyków, jednakże nie wszyscy podzielali ten pogląd. To właśnie stanowiło podstawowy problem badawczy fizyki końca osiemnastego i całego dziewiętnastego wieku. W ożywionej dyskusji wyłoniły się cztery stanowiska ontologiczne i cztery, towarzyszące im stanowiska metodologiczne. Spór ontologiczny dotyczył następujących stanowisk :

- 1) wszystkie typy zjawisk Natury można ilościowo modelować i wyjaśnić jakościowo poprzez mechanikę;
- 2) wszystkie typy zjawisk Natury można ilościowo modelować przy pomocy mechaniki, nie znaczy to jednak, że mechanika wyjaśnia je w ostateczny sposób;
- 3) nie wszystkie typy zjawisk Natury można adekwatnie ilościowo modelować i jakościowo ostatecznie wyjaśniać przy pomocy mechaniki, bowiem istnieją różne niesprowadzalne do siebie klasy zjawisk posiadające swe własne dynamiki, niekoniecznie porównywalne z właściwą dynamiką;
- 4) nie wszystkie typy zjawisk Natury można adekwatnie ilościowo modelować i jakościowo ostatecznie wyjaśniać przy pomocy mechaniki, jednakże struktura rzeczywistości jest taka, że może istnieć zunifikowana teoria, która adekwatnie opisuje ilościowo i jakościowo wyjaśnia ogół zjawisk Natury.

Odpowiadały im zaś cztery stanowiska metodologiczne:

- 1) wszelkie dojrzałe teorie fizykalne jakiegokolwiek klasy zjawisk są redukowalne pod względem ilościowym i jakościowym do mechaniki;
- 2) dojrzałe teorie fizykalne jakiegokolwiek klasy zjawisk można ilościowo wyrazić przy pomocy mechaniki aczkolwiek pod względem jakościowym mogą być one niezależne od mechaniki;
- 3) dojrzała teoria fizykalna wybranej grupy zjawisk może być ilościowo i jakościowo niezależna od mechaniki;
- 4) dojrzała teoria fizykalna wybranej grupy zjawisk może być ilościowo i jakościowo niezależna od mechaniki, jednocześnie będąc od niej ogólniejszą traktować może ją jako swój szczególny przypadek.

Na terenie nauki o ciepłe owe stanowiska były źródłem całych programów badawczych. Z niej też, między innymi, wyrastały. Podstawowymi pytaniami były: czy i jak matematyczne narzędzia mechaniki stosują się w badaniach zjawisk cieplnych, czy używa się ich tam jedynie analogicznie czy też w znaczeniu dosłownym, czy i jakie są granice stosowania zdobywczy mechaniki w nauce o ciepłe.

Pojęcie pracy i zasada zachowania energii Pierwsza zasada termodynamiki³³

Po pracach Blacka (około roku 1760) uczeni porzucają koncepcję Kartezjusza (1637), zgodnie z którą ciepło jest skutkiem ruchu niewidocznych gołym okiem drobnych cząstek rozciąglej materii i powracają do koncepcji Arystotelesa i arystotelików. Ciepło rozumiane jest więc substancjonalistycznie, jako pewnego rodzaju nieważki fluid zwany ciepłikiem. Koncepcję tę przyjmuje ogół inżynierów zajmujących się konstruowaniem maszyn ogniowych, czyli silników cieplnych. Zostanie ona następnie matematycznie rozwinięta przez Biota (1804) i szczególnie Fouriera (1807, 1811).

W tym samym czasie gdy mechanika odnosi tak wielkie sukcesy, w teorii maszyn wytwarzających ruch kosztem ciepła, pojmowanego substancjonalistycznie, zostaje wprowadzone pojęcie pracy. Dokonuje tego L.N.M.Carnot (1782,1803)³⁴, w niewątpliwym związku z rachunkami dotyczącymi zasady zachowania siły żywej i zasady przesunięć wirtualnych. L.N.M. Carnot zauważa, że pojęcie pracy, nazywanej przez niego wieloma terminami, np. „force vive latente” i „moment d’activité”, i zdefiniowanej jako całka iloczynu działającej siły i przesunięcia, odgrywa fundamentalną rolę w zrozumieniu działania maszyn. Jest to wielkość

33 Zauważmy tu na marginesie, że nazwę „Termodynamika” wprowadził w 1851 roku W.Thomson w serii artykułów pt.: „On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr Joule Equivalent of a Thermal Unit, and M.Regnault’s Physical Papers, vol. I pp. 177-189, 189-200, 200-210, 210-222, 222-232. Nazwa ta została początkowo szczególnie przychylnie przyjęta przez większość angielskich uczonych (np. Tait, Maxwell), a z biegiem czasu zdobyła powszechne uznanie.

34 L.N.M.Carnot, *Essai sur les machines en général*, Dijon, 1797; L.N.M.Carnot, *Principes fondamentaux de l’équilibre et du mouvement*, ed. 2, Paris, 1803.

„którą trzeba oszczędzać w takim stopniu, jak to możliwe, aby z czynnika (to jest ze źródła mocy) wydobyć skutek (mechaniczny), jaki zdolny jest on dać”³⁵. Rozwijają to ujęcie Navier (1818, 1838)³⁶, S.Carnot (1824)³⁷, Coriolis (1829)³⁸ i Poncelet (1829)³⁹. Wprowadzony zostaje termin pracy, (Coriolis 1829, a szczególnie Poncelet 1829) i jednostki jej pomiaru (Poncelet 1829). By zachować pojęciowy priorytet sformułowanej miary pracy⁴⁰ podana zostaje nowa definicja siły żywej uwzględniająca dodatkowo czynnik 1/2 (Coriolis 1829). Efektem tego jest sformułowanie prawa zachowania w kategoriach równości wykonanej pracy i wytworzonej siły żywej. Najbardziej metafizyczne jej sformułowanie pochodzi od K.F.Mohra (1837)⁴¹, Grove’a (1843)⁴², Faradaya (1844)⁴³ i Liebiga (1844)⁴⁴, którzy interpretują świat zjawisk Natury jako przejaw jednej siły, mogącej występować w postaci elektryczności, ciepła, ruchu mechanicznego i w wielu innych formach, siły, która nie może w żadnych przemianach ulec zmianie. Bardziej konkretną postać, bo opartą o doświadczenia, ma zasada równoważności, w sensie ilościowym, ciepła i pracy. Pochodzi ona od

35 L.N.M.Carnot, cyt. za T.S.Kuhn, op. cit., s. 139, przyp. 45.

36 C.L.M.H.Navier, *Détails historiques sur l'emploi du principe des forces hydrauliques*, w: *Ann. Chim. Phys.* 9., 1818, s. 146-159. C.L.M.H.Havier, *Résumé des leçons données à l'école des ponts et chaussées sur l'application de la mécanique l'établissement des constructions et des machines*, t. 2, Paris, 1838.

37 S.Carnot, *Réflexions sur la puissance du feu et les machines propres à développer cette puissance*, Paris, 1824.

38 G.Coriolis, *Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur l'évaluation pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines*, Paris, 1829.

39 J.V.Poncelet, *Introduction à la mécanique industrielle*, wyd. 1, Paris, 1829; wyd. 3, rozszerzone, Paris 1839-1839.

40 T.S.Kuhn, op. cit., s. 140.

41 K.F.Mohr, *Ueber die Natur der Wärme*, *Zeitschrift, für Physik* 5, s. 419-445, 1837, oraz *Ansichten über die Natur der Wärme*, *Annalen der Chemie und Pharmazie* 24, 1837, s. 141-147.

42 W.R.Grove, *On the Correlation of Physical Forces: Being the Substance of a Course of Lectures Delivered in the London Institution in the Year 1843*, London, 1846.

43 M.Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, t. 2, London, 1844, s. 101-104.

44 J.Liebig, *Chemische Briefe*, Heidelberg, 1844, s. 114-120.

S.Carnota (1832)⁴⁵, Séguina (1839)⁴⁶, Holtzmana (1845)⁴⁷, Hirna (1854)⁴⁸, którzy wyznaczają wartość ich równoważnika. Najbardziej ogólną, a jednocześnie połączoną z konkretnymi zastosowaniami ilościowymi (to czyni ją w pełni naukową) jest zasada zachowania siły żywej w sformułowanych Mayera (1842)⁴⁹, Joule'a (1843)⁵⁰, Coldinga (1843)⁵¹, Helmholtza (1847)⁵². W tej postaci staje się ona zasadą fundamentalną.

Około roku 1850 dokonuje się jeszcze jedna zmiana. Zasada zachowania jedynej siły, bądź siły żywej, czy też, zasada równoważności pracy i ciepła zostaje wyrażona przy pomocy terminu energii jako zasada zachowania energii. Autorami tej koncepcji są W.Thomson (1852)⁵³ i Rankine (1852, 1853, 1855)⁵⁴. Wprawdzie jeszcze przed nimi np. Young (1807)

-
- 45 S.Carnot, w: E.,Picard, Sadi Carnot, biographie et manuscript, Paris 1927. Po raz pierwszy notatki S.Carnota zostały opublikowane w 1878 roku. Okazało się wówczas, że Carnot między rokiem opublikowania jego słynnej pracy (1824) a datą śmierci (1832) porzucił substancjonalistyczną koncepcję ciepła.
- 46 M.S'eguina, De l'influence des chemins de fer et de l'art de les construire, Paris, 1839, s. XVI, 380-396.
- 47 K.Holtzmann, Über die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe, Mannheim, 1845.
- 48 G.A.Hirn, Etudes sur les principaux phénomènes que présentent les frottements mediats, et sur les diverses manières de détermner la valeur mécanique des matières employés au graissage des machines, s. 188-237; Notice sur les lois de la production du calorique par les frottements médiats, s. 238-277, Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse, 1854.
- 49 J.R.Mayer, Bemerkungen über die Krafte der unbelebten Natur, Annalen der Chemie und Pharmazie 42, 1842.
- 50 J.P.Joule, On the Caloric Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat, Philosophical Magazine 23, 1843.
- 51 L.A.Colding, Undersøgelse on de almindelige Naturkraefter og deres gjensidige Afhaengighed og isaerdeleshed om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme, Dansk. Vid.Selsk. 2, 1851; rozszerzona wersja nie opublikowanego odczytu w Royal Society Danii w 1843 roku.
- 52 H. von Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung, Berlin, 1847.
- 53 W.Thomson, „On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mecanical Energy”, Proc. of the Royal Soc. of Edinburg, 19 Aprile 1852; Phil. Mag., 1852; Lord Kelvin, Math. and phys. papers, vol. I, p. 511-514.
- 54 W.J.M.Rankine, „On the Reconcentration of The Energy of the Universe”, Proc. of Phil. Soc. of Glasgow, January 5; Phil. Mag., November 1852; Miscellaneous Scientific Papers, p. 200-202;

używał nazwy „energii” na oznaczenie siły żywej, a J.Bernoulli określał tym terminem iloczyn „prędkości przygotowanej” i siły, ale z reguły ogół uczonych ówczasie posługiwał się nim najczęściej w bardzo metafizycznym i nieściśłym sensie jednolitej siły. W przeciwieństwie do nich, Rankine i Thomson używali powszechnie w swych pracach terminu energii w konsekwentny i totalny sposób. Szczególnie dotyczy to Rankine’a⁵⁵. W wyniku ich prac pojęcie energii zostaje stopniowo przyjęte przez ogół uczonych. Jednakże jak to zwykle bywa w rozwoju nauki uczeni posługują się w rozważanej kwestii nieco odmienną notacją i terminami. Dla przykładu Clausius(1850)⁵⁶, nawiązując do przemysłów W.Thomsona nad pracami S.Carnota formułuje jako pierwszy równanie zasady równoważności pracy i ciepła w postaci:

$$dQ = dU + A R (t + 273^{\circ}) dv/v,$$

gdzie:

- dQ - ciepło dostarczone do zadanej masy gazu doskonałego o objętości v,
dU - przyrost funkcji zależnej od stanu gazu,
A - cieplny równoważnik pracy,
R - stała dla danej masy gazu,
t - temperatura w skali Celsjusza,
dv - objętość gazu, przyrost objętości gazu.

Clausius nie podał pierwotnie nazwy funkcji U, ale zdefiniował ją jako sumę ilości ciepła istniejącego rzeczywiście i ilości ciepła przekształconego w pracę wewnętrzną. W.Thomson (np. 1851)⁵⁷ zamiast wielkości U woli używać wielkości będącej iloczynem EU (gdzie E – równoważnik

„On the General Law of the Transformation of Energy”, Proc. of Phil. Soc. of Glasgow, vol. III, No. V, (1853); Miscellaneous Scientific Papers, p. 203-208; „Outlines of the Science of Energetics”, Proc. of Phil. Soc. of Glasgow, vol. III, No. VI, (1855); Miscellaneous Scientific Papers, p. 209-228.

55 Por. uwagi na temat energetyki Rankine’a na s. 27-30 naszego artykułu.

56 R.Clausius, Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich davon für die Wärmelehre selbst ableiten lassen, Poggendorff’s Annalen der Physik und Chemie, 1850, Bd. 79.

57 W.Thomson, On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr Joule Equivalent of a Thermal Unit. and Mr Regnault’s Observations on Steam, (1851) w: W.Thomson, Mathematical and physical papers, vol. I, pp. 177-232.

mechaniczny ciepła) i nazywa ją energią mechaniczną układu o zadany stanie (the mechanical energy of a body in a given state), Kirchhoff (1858)⁵⁸ funkcję $W = -EU$ nazywa funkcją aktywności, działania systemu (Wirkungsfunktion für den betrachteten Körper), Zeuner (1859)⁵⁹, w pracy „O teorii mechanicznej ciepła”, U nazywa ciepłem wewnętrznym ciała (die innere Wärme des Körpers). Określenie to przyjmują: Hirsch, Mutier, Massieu, etc. M.C. Neumann używa innego określenia i mówi o postulacie układu (das Postulat des Systemes). Clausius wzorując się na W. Thomsonie ostatecznie użył dla określenia funkcji U nazwę energii ciała⁶⁰. Pod wpływem jednak prac Rankine’a przyjęto funkcję U nazywać energią wewnętrzną ciała i nazwa ta utrzymuje się do dzisiaj.

Zobaczymy, iż z biegiem czasu pojęcie energii będzie nabierało coraz większego znaczenia stając się jednym z podstawowych terminów fizyki.

Twierdzenie Carnota Druga zasada termodynamiki oraz pojęcie rozpraszania energii i pojęcie entropii

W 1824 roku S. Carnot, poszukując ogólnych zasad czy praw, którym powinny być podporządkowane zjawiska cieplne, przyjmuje za wzór rozumowania mechanikę, będącą, jego zdaniem, teorią zupełną, bo ujmującą wszystkie możliwe ruchy przez ogólne zasady dynamiki. Poszukiwane prawa miały mieć postać równań tak samo doskonałych, ścisłych i deterministycznych jak równania Lagrange’a. Nie musiały być jednak takie same. Bowiem, jego zdaniem, nauka o cieple nie musi się redukować do mechaniki. Posługując się taką metodą S. Carnot poszukuje ogólnej teorii zadowalająco opisującej niezmiernie ważne z punktu widzenia ówczesnej epoki zagadnienie powstawania „potęgi poruszającej”, czyli pracy, „maszyn ogniowych”, czyli silników cieplnych. Zauważa on, iż: „Dla rozpatrzenia w całej gólności zasady wytwarzania przez ciepło ruchu trzeba je rozważyć niezależnie od jakiegokolwiek mechanizmu, jakiegokolwiek szczególnego czynnika; trzeba ustalić rozumowania, które by

58 G. Kirchhoff, Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, 1858, vol. CII, s. 177.

59 Zeuner, Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie, Leipzig, 1859.

60 Clausius R., Die mechanische Wärmetheorie, 2-te Auflage, Braunschweig, Bd. I (1876). Bd. II (1879), Bd. III (1889-1891).

mogły być stosowane nie tylko do maszyn parowych, ale do każdej maszyny, jaką sobie można wyobrazić, jakąkolwiek byłaby użyta substancja i jakkolwiek byłby sposób, w jaki się na nią działa.”

Carnot⁶¹ odnalazł taką podstawę, a było nim prawo przywrócenia równowagi cieplika w „maszynach ogniowych” tj. jego przejście od ciała mniej lub więcej ogrzanego do ciała zimniejszego. Było to dla niego prawo oczywiste, którego nie trzeba dowodzić, tym niemniej, z racji jego wagi szeroko go wyjaśniał i ostatecznie przyjął w postaci zwanej zasadą Carnota: „Wszędzie, gdzie istnieje różnica temperatur, może zajść wytwarzanie potęgi poruszającej. Odwrotnie, wszędzie, gdzie można zużyć tę potęgę, jest rzeczą możliwą wytworzyć różnicę temperatur”⁶². Stąd wnioskował, iż z racji, że każde przywrócenie równowagi w ciepliku może być przyczyną „potęgi poruszającej”, przywrócenie tej równowagi bez wytworzenia tej potęgi należy traktować jako stratę. By jej uniknąć S.Carnot wprowadził swój słynny cykl doskonały przemian termodynamicznych, jakiemu powinno podlegać powietrze w silniku, by uzyskać maksymalny efekt mechaniczny.

S.Carnot sądził też, że istnieje analogia między „potęgą poruszającą ciepła” a pracą mechaniczną. Ciepło w silnikach cieplnych miało odgrywać podobną rolę jak ciężar w silnikach mechanicznych, gdyż miarą pracy wykonanej przez silnik cieplny miał być iloczyn ilości ciepła pobranego z grzejnicy i pewnej funkcji temperatur grzejnicy i chłodnicy. S.Carnot jednak nie wyznaczył tej funkcji. Zauważył wszakże, że nie ma tu pełnej analogii z silnikami mechanicznymi, gdyż poszukiwana przez niego funkcja nie była proporcjonalna do różnicy temperatur, tak jak w silnikach mechanicznych była ona proporcjonalna do różnicy wysokości, lecz że była rosnącą funkcją tej różnicy: („spadek cieplika, wytwarza więcej potęgi poruszającej w stopniach niższych, aniżeli w stopniach wyższych”)⁶³.

S.Carnot chciał zbadać ten problem, lecz nie udało mu się tego dokonać z braku precyzyjnych danych doświadczalnych. Ponadto zdawał sobie sprawę z kruchości podstawowego założenia o substancjalności ciepła. Twierdził: „Zresztą, mówiąc nawiasem, zasadnicze podstawy, na których

61 S.Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et les machines propres á développer cette puissance*, Paris 1824, cyt. wg: „Dzieje rozwoju fizyki w zarysach”, Warszawa, 1931, t. I, s. 245.

62 S.Carnot, op. cit., cyt. wg: Dzieje..., t. I, s. 246.

63 S.Carnot, op. cit., cyt. wg: Dzieje..., t. I, s. 252.

opiera się teoria ciepła, wymagałyby głębszego zbadania. Wydaje się, że w obecnym stanie teorii wielu faktów doświadczalnych prawie nie można wyjaśnić⁶⁴.

Tego typu refleksje, jak już wiemy z poprzedniego paragrafu, doprowadzą go w roku 1832 do zasady równoważności ciepła i pracy, ale społeczność naukowa dowie się o tym dopiero po opublikowaniu w 1878 roku jego notatek.

W 1834 roku Clapeyron dokonując analizy wyżej przedstawionej pracy S.Carnota wprowadza graficzne przedstawienie cyklu przemian termodynamicznych. Mimo, iż tak jak Carnot nie potrafi wyznaczyć tzw. funkcji Carnota, a przez to pracy jaką można otrzymać przy pobraniu danej ilości ciepła z grzejnicy, zdołał wyznaczyć szereg interesujących związków opisujących własności ciał użytych w doskonałym silniku Carnota zamiast powietrza jako substancje czynne. Korzystając z założenia, iż różnica temperatur grzejnicy i chłodnicy jest nieskończenie mała Clapeyron dowodzi np., że ciepło utajone parowania cieczy jest proporcjonalne do zmiany prężności pary nasyconej wywołanej wzrostem temperatury.

W 1843 roku praca Clapeyrona została przedrukowana w tłumaczeniu niemieckim w "Annalen der Physik" Poggendorfa i w wyniku czego zauważa ją m.in. Helmholtz. Porównuje on dane uzyskane przez Clapeyrona ze wzorami otrzymanymi przez siebie przy wyznaczeniu mechanicznego równoważnika ciepła metodą Mayera i otrzymuje poszukiwaną funkcję Carnota C:

$$C=K(1 + \alpha t)/A$$

gdzie

- K - współczynnik proporcjonalności,
- α - współczynnik rozszerzalności objętościowej gazów doskonałych,
- t - temperatura wyrażona w skali gazowej oraz
- A - mechaniczny równoważnik ciepła.

Helmholtz nie wyciągnął jednak z tego żadnych zasadniczych wniosków. Uczynili to W.Thomson i Clausius.

W 1848 roku W.Thomson w pracy "O bezwzględnej skali termodynamicznej"⁶⁵, opierając się na twierdzeniu Carnota o "potędze poruszającej

64 ibidem

65 W.Thomson, „On Absolute Thermometric Scale founded on Carnot's Theorie of

ognia" czyni pierwszą swą próbę wprowadzenia bezwzględnej skali temperatur. Próba ta była jeszcze niedoskonała, gdyż w zbyt zawyży sposób łączyła skalę bezwzględną ze skalą gazową. Do problemu tego powróci w kilka lat później w 1854. Wcześniej, w roku 1849 Thomson w pracy pt. "Przyczynek do teorii Carnota o potędze poruszającej ognia"⁶⁶ uwzględnia w swych rozważaniach zasadę równoważności ciepła i pracy, ale w przeciwieństwie do Joule'a przyjmuje pewnik Carnota za najbardziej uzasadnioną podstawę do wyznaczenia pracy wyprodukowanej przez silniki cieplne. Thomson zastrzegał się jednak, że nowa teoria będzie najprawdopodobniej wymagać wprowadzenia innych zasad, o ile poznane będą dokładniejsze dane eksperymentalne. "Może się wydawać, że trudności [pogodzenia zasady "zachowania siły" z zasadą Carnota] można całkowicie uniknąć, odrzucając podstawowy pewnik Carnota; taki pogląd energicznie popiera p.Joule ...Gdybyśmy jednak w ten sposób postąpili, napotkalibyśmy inne niezliczone trudności - nie do przewyciężenia bez dalszych badań doświadczalnych i bez zupełnej od podstaw przebudowy teorii ciepła ..."⁶⁷.

W sformułowaniu powyższej teorii Thomsona wyprzedził Clausius publikując w 1850 artykuł pt. "O sile poruszającej ciepła i prawach, które stąd można wyprowadzić dla nauki o cieple"⁶⁸. Clausius dokonuje w tym artykule pełnej analizy i reinterpretacji pracy Carnota, z którą zapoznał się w opracowaniach Clapeyrona i Thomsona. Po pierwsze, uznaje wyniki doświadczeń Joule'a, zgodnie z którymi ilość ciepła nie jest stała, tak jak to zakładał w swych rozważaniach Carnot przyjmujący substancjonalną koncepcję ciepła. Po drugie, uważa, że ciepło należy traktować jako ruch "najmniejszych ciał". W wyniku tego dochodzi do wniosku, iż do zjawisk cieplnych można zasadnie stosować ogólne twierdzenia mechaniki, zgodnie z którymi istnieje równoważność ciepła i pracy mechanicznej. W swych rozważaniach następnie stosuje metodę Clapeyrona graficznego przedstawiania cyklu Carnota i metodę analityczną zakładającą inne założenie Clapeyrona: infinitesimalnej różnicy temperatur między grzejnicą

Motive Power of Heat, and calculated from Regnault's Observation" w: W.Thomson, Math. ..., vol. I, p. 100-106.

66 W.Thomson, „An Account of Carnot's Theory of the Motive Power of Heat; with Numerical Results deduced from Regnault's Experiments on Steam.”, w: W.Thomson, Math. ..., vol. I, p. 113-155, 1849.

67 S.Carnot, op. cit., cyt. wg: Dzieje..., t. I, s. 320.

68 R.Clausius, Über die bewegende Kraft der Wärme ..., loc. cit., s. 22, przyp. 56.

i chłodnicą. Stosując te metody otrzymuje cały szereg związków opisujących własności gazów i par nasyconych w większości wyznaczonych już przez innych uczonych na drodze doświadczalnej, czy teoretycznej. To potwierdza zasadność przyjętej metody. Przechodząc do rozważenia cyklu Carnota w ujęciu graficznym Clapeyrona Clausius odrzuca przekonanie Carnota o niezniszczalności ciepła, gdyż było ono sprzeczne z zasadą równoważności ciepła i siły żywej. Nie porzuca on jednak samej istoty twierdzenia Carnota, zgodnie z którym, uzyskana praca w dwóch idealnych cyklach Carnota o tej samej różnicy temperatur grzejnicy i chłodnicy, musi być taka sama, gdyż w przeciwnym przypadku można byłoby wówczas zbudować perpetuum mobile. Zakładając, że dwa silniki pracujące w analogicznych warunkach mają różne sprawności, Clausius dochodzi do wniosku, że jedynym skutkiem takiego zamkniętego cyklu byłoby przejście ciepła od ciała zimniejszego do cieplejszego. To jednak jest niemożliwe, zdaniem Clausiusa, gdyż byłoby sprzeczne z innymi faktami obserwowanymi w przyrodzie. Ponadto sądzi też, że twierdzenie Carnota szczęśliwie uzupełnia zasadę równoważności ciepła i pracy, czego dowodem są konsekwencje wynikające z wzoru Clapeyrona wyrażonego przez Clausiusa w postaci:

$$r=C(s - \sigma) dp/dt$$

gdzie

- C - funkcja Carnota,
- r - ciepło utajone parowania,
- s i σ - objętości właściwe pary i cieczy,
- dp/dt - prędkość wzrostu prężności pary nasyconej w miarę wzrostu temperatur.

Wstawiając do tego wzoru wyrażenia na funkcję Carnota (uzyskaną niezależnie od Helmholtza) w formie: $C=A(1/\alpha + t)$, Clausius porównuje tak uzyskany wzór z danymi eksperymentalnymi dla wody otrzymanymi przez Regnaulta i Gay-Lusacca. Stąd dostaje wartość odwrotności mechanicznego równoważnika ciepła zgodną z wartością podaną przez Joule'a. Tym samym, faktycznie twierdzenie Carnota uzupełnia zasadę równoważności ciepła i siły.

W 1851 roku W. Thomson publikuje serię pięciu artykułów o wspólnym tytule "O dynamicznej teorii ciepła wraz z wynikami liczbowymi wyprowadzonymi z równoważnika jednostki cieplnej p. Joule'a i z obserwacji

nad parą p. Regnaulta⁶⁹. Przedstawia w nich niezależnie uzyskaną od Clausiusa nową teorię zjawisk cieplnych. Pierwszy artykuł jest analogiczny do rozprawy Clausiusa, natomiast już następne wnoszą istotny przyczynek do badań tego typu zjawisk. Thomson również znajduje funkcję Carnota, lecz w odróżnieniu od Clausiusa stosującego analityczną metodę tylko dla nieskończenie małych różnic temperatur grzejnicy i chłodnicy silnika, używa jej w przypadku skończonych różnic. W tym celu tworzy nieskończony szereg pracujących silników doskonałych, z których każdy pracuje przy nieskończenie małej różnicy temperatur grzejnicy i chłodnicy, tak, iż chłodnica pierwszego stanowi grzejnicę drugiego, itd. Stosując

do każdego silnika wzory Clausiusa sumując je w granicach temperatur grzejnicy S i chłodnicy T otrzymuje dla pobranego jednostkowego ciepła wartość uzyskanej pracy W:

$$W = A (S' - T') / (1/\alpha + S')$$

gdzie

- A - mechaniczny równoważnik ciepła,
 α - współczynnik rozszerzalności objętościowej gazu doskonałego.

W 1854 roku Thomson powraca do pomysłu wprowadzenia skali bezwzględnej temperatur. Wykorzystuje do tego celu zasadę zachowania energii i wyrażenie na ilość pracy jaką można uzyskać w idealnym silniku Carnota. Praca wykonana przez silnik doskonały wyrażona jest przez dwie równości:

$$W' = A (H - R) = W H$$

gdzie

- H i R - ciepła pobrane i oddane.

Stąd wstawiając wartość pracy W Thomson otrzymuje związek definiujący temperaturę w skali bezwzględnej:

$$(1/\alpha + S') / (1/\alpha + T') = H/R$$

⁶⁹ W.Thomson, Mathematical and physical papers. vol. I, pp. 177-189, 189-200, 200-210, 210-222, 222-232.

Dlatego temperaturę liczoną w skali bezwzględnej wyznacza się ze wzoru:

$$T = 1/\alpha + t$$

gdzie

- α - współczynnik rozszerzalności objętościowej gazów doskonałych,
 t - temperatura wyrażona w skali gazowej.

Następny ważny krok należał do Clausiusa. W 1854 roku w pracy "O zmienionej postaci drugiej zasady mechanicznej teorii ciepła"⁷⁰ Clausius, rozważając dowolny zamknięty cykl odwracalny, dzieląc go na nieskończoną liczbę elementarnych przekształceń odwracalnych nadaje znaczenie fizyczne wielkości dQ/T , gdzie dQ jest wielkością oddaną przez układ w czasie przekształcenia elementarnego, a T jest temperaturą w skali absolutnej. Wielkość tą nazywa "zawartością przekształceń" (Verwandlungsinhalt), albo przekształceniem. Dlatego twierdzenie Carnota przyjęło następującą formę: Suma przekształceń jakiemu podlega układ w zamkniętym cyklu odwracalnym jest równa zeru:

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

Podczas, gdy u S.Carnota z racji substancjalności ciepła miało postać:

$$\int dQ = 0.$$

Osiem lat później, w 1862⁷¹ roku Clausius uogólnia tę zasadę na przekształcenia odwracalne nie tworzące zamkniętego cyklu. W 1865⁷² roku, wprowadza zamiast pojęcia zawartości przekształceń pojęcie entropii

70 R.Clausius, Über die veränderte Form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie, Pogg. Annalen, Bd. XCIII, 1854, S. 481.

71. R.Clausius, Über die Anwendung des Satzes von der Äquivalenz der Verwandlung auf die innere Arbeit, Abhandlungen, Abt. I, S. 242-279; Sur l'application du principe de l'équivalence des transformations au travail intérieur, (Théorie mécanique de la chaleur, Trad. Folie, vol. I, m'em VI, 1862).

72 R.Clausius, Über Verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie; Pogg. Annalen, Bd. CXXV, 1865, S. 353, Abhandlungen. Abt. II, S. 1-44. Sur diverses formes des équations de la théorie mécanique de la chaleur, (Théorie mécanique de la chaleur, Trad. Folie, vol. I, mém IX, 1865).

pii, od greckiego wyrażenia entropijn przekształcać. Zmiana entropii jest całą ilorazu pobranego ciepła i temperatury bezwzględnej zbiornika, z którego pobierane jest to ciepło:

$$S_1 - S_0 = \int_0^1 \frac{dQ}{T}$$

gdzie

S_0, S_1 - entropia początkowego i końcowego stanu układu zamkniętego,

T - temperatura w skali bezwzględnej.

Dla zjawisk odwracalnych tj. spełniających warunek zamkniętego cyklu Carnota, przyrost entropii równy jest zeru, a w przypadku zjawisk nieodwracalnych przyjmuje wartość ujemną.

Równoległe do tych rozważań Clausius wprowadza miarę odstępstwa zjawiska nieodwracalnego od zjawiska odwracalnego. Przedstawmy ją w jej ostatecznej postaci z roku 1865. Miarą tą jest pojęcie transformacji, albo inaczej entropii nieskompensowanej przemiany termodynamicznej N Clausius czyni to w następujący sposób: układ, który przechodzi od stanu początkowego 0 do stanu końcowego 1 przez serię przemian, z których conajmniej jedna jest nieodwracalna, po czym ze stanu 1 powraca do stanu 0 przez spełnia warunek:

$$\int \frac{dQ}{T} < 0$$

Stąd entropia nieskompensowana takiej przemiany termodynamicznej wynosi:

$$N = - \int_1^0 \frac{dQ}{T} - \int_1^0 \frac{dQ}{T} = - \int_0^1 \frac{dQ}{T} - (S_1 - S_0)$$

Na mocy powyższych rozważań, N dla przemiany nieodwracalnej jest większe od zera, a dla przemiany odwracalnej przyjmuje wartość 0.

Wśród uczonych trwa ożywiona dyskusja, czy jest uzasadnione korzystanie z pojęcia entropii w przemianach nieodwracalnych.

Konsekwencje dwóch zasad termodynamiki

Próba ujęcia stacjonarnych zjawisk nieodwracalnych przy pomocy metody Thomsona.

Korzystając z zasady równoważności pracy i ciepła oraz twierdzenia Carnota, termodynamika około roku 1850 potrafiła z dostateczną dokładnością opisywać tylko procesy równowagowe. Spełniony był w nich warunek W.Thomsona (sformułowany w 1852 roku) zgodnie z którym, w rozpatrywanych zjawiskach nie było dyssypacji energii. Zadano sobie wówczas powtórnie pytanie postawione w 1824 roku przez S.Carnota, wyrażone w nowym języku W.Thomsona, jak matematycznie ująć rzeczywiste, niewyidealizowane zjawisko termodynamiczne. Innymi słowy, zadano pytanie, jakie prawa będą rządzić zjawiskami w których występuje dyssypacja energii. Pierwszą próbę odpowiedzi podjął W.Thomson i ograniczył ją do stacjonarnych zjawisk nieodwracalnych.

W 1854 roku W.Thomson⁷³ rozważając efekt powstawania ciepła Joule'a i Peltiera podczas przepływu prądu w termoparach znalazł sposób, by pomimo faktu, iż w tym stacjonarnym zjawisku następowało rozproszenie energii, można było zastosować oprócz pierwszej zasady termodynamiki także twierdzenie Carnota, tak jak gdyby ten proces odbywał się w sposób odwracalny. Na mocy zasady równoważności pracy i ciepła Joule'a wynikało, iż praca wykonana przez siłę elektromotoryczną P i prąd γ jest równoważna wydzielonemu podczas przepływu prądu ciepłu Q , będącemu sumą ciepła Joule'a ($\alpha \gamma^2$) i ciepła proporcjonalnemu do natężenia prądu ($\alpha \gamma$).

$$P\gamma = J (-A \gamma + B \gamma^2)$$

gdzie

J - mechaniczny równoważnik ciepła,

B - stała materiałowa zawsze większa od zera,

A - stała materiałowa większa, równa, bądź mniejsza od zera.

73 W.Thomson, „On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr Joule equivalent of a Thermal Unit, and M.Regnault's Observations on Steam. Part VI. Thermo-electric Currents”. Trans. of the Royal Soc. of Edinburgh, vol. XXI, part I, 1 V 1854; w: W.Thomson, Math., vol. I, p. 232-291.

W konsekwencji tego, natężenie prądu płynącego w układzie wynosi: $\gamma = (P + J A)/(J B)$ i może przyjmować wartość dodatnią, ujemną, bądź też być równe zero.

Wartość stałej A jest sumą wszystkich ciepł generowanych w układzie, z wyjątkiem ciepła Joule'a generowanego na skutek rozproszenia energii prądu elektrycznego na oporach elektrycznych.

$$A = \sum_i \alpha_i(t) = \sum_i (\Pi_i + \int_T^{T'} \sigma_i dt)$$

gdzie sumowanie rozciągamy na wszystkie części układu będącego sytemem szeregowo z sobą połączonych i – przewodników

Π_i - absorbowane lub wydzielane ciepło Peltiera w i - tym złączu termopary,

T, T' - temperatury stykających się z sobą przewodników,

σ_i - ciepło właściwe elektryczności (zwane obecnie współczynnikiem materiałowym Thomsona) i-tej części układu.

Na mocy twierdzenia Carnota dla odwracalnego efektu cieplnego będącego sumą ciepła Peltiera i Thomsona spełniony jest, zdaniem W.Thomsona, warunek: $\sum \frac{\alpha_i(t)}{t} = 0$. W konsekwencji, rozważając szczególnie przypadek termopary złożonej tylko z dwóch gałęzi, które utrzymywane były w nieznacznie różniących się temperaturach W.Thomson otrzymał ważkie związki jakie powinny być obserwowalne eksperymentalnie, o ile w ogóle przyjęta przez niego metoda była trafna. Mianowicie:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \Pi/t - d\Pi/dt \quad \text{oraz} \quad F = J (\Pi/t)\tau$$

gdzie

F - siła elektromotoryczna
równoważąca termoelektryczność.

Te postulowane analityczne związki zostały potwierdzone eksperymentalnie przez samego W.Thomsona w 1856 roku⁷⁴.

Pomimo faktu zgodności teoretycznych przewidywań z doświadczeniem W.Thomson był świadomy sztuczności założeń swego rozumowania i nie potrafił podać ich zadowalającego uzasadnienia.

74 W.Thomson, „On the Electro-dynamic Qusalitas of Metals”, Part II „On thermo-electric Inversion”, Transactions of the Royal Soc. Feb 1856; w: W.Thomson, Math. ..., vol. II, p. 251-266.

i nie potrafił podać ich zadowalającego uzasadnienia.

Idąc śladem W.Thomsona, nie trując się problemem poprawności uzasadnienia używanej metody, nie poszukując jakiejś nadzwyczajnej ścisłości rozważań, inni uczeni stosują tę metodę do podobnych, nieodwracalnych zjawisk stacjonarnych. Czyni tak m.in. Helmholtz (1878), Eastmann i Wager, oraz Nerst (1889). Helmholtz analizuje zjawisko powstawania elektrycznego potencjału dyfuzyjnego na styku dwóch rozтворów elektrolitów o różnych stężeniach i przyjmuje w przeciwieństwie do Thomsona, przepływ prądu jako zjawisko odwracalne, a zjawisko dyfuzji jako nieodwracalne. Pomimo tego, a właściwie dzięki temu, wyliczenia Helmholtza zostają potwierdzone w eksperymencie. To dodatkowo komplikuje uzasadnienie metody Lorda Kelwina. Był to poważny problem ówczesnej termodynamiki i czekać on będzie jeszcze przez wiele lat na swe uzasadnienie. Uczyni to dopiero Onsager w 1931 roku.

Energia

Sformułowanie zasady zachowania siły żywej czy zasady równoważności pracy i ciepła (1842-7) oraz sformułowanie zasady, czy twierdzenia Carnota (1850) doprowadziło W.Thomsona (1852) i Rankine'a (1853, 1855) do wniosku, iż podstawową wielkością fizyczną nie jest siła, lecz energia. W związku z tym wspomniane powyżej zasady ujmowano jako zasady zachowania i rozproszenia energii. W konsekwencji ich energetycznego rozumienia W.Thomson i Rankine uświadomili sobie, iż mechanika nie może opisywać i wytłumaczyć całości zjawisk zachodzących we wszechświecie, gdyż jej prawa są jedynie przybliżeniem opartym na zaniedbaniu sił lepkości i tarcia. Innymi słowy, mechanika nie ma ostatecznego i niepodważalnego charakteru i dlatego nie może być ontologią świata.

Świat z perspektywy energetycznej jawił się ogółowi ówczesnych uczonych jako przeniknięty i ożywiony energią. Zjawiska Natury i ich związki, to manifestacje energii i jej przemian. Kwestią sporną pozostawało pytanie czy istnieje jeden czy też więcej rodzajów energii. Jednakże jasne było, że metodoligiczna analiza zasady zachowania energii doprowadziła do sfalsyfikowania substancjonalistycznej teorii ciepłika przyjmowanej przez L.N.M.Carnota i tradycję inżynierską, a matematycznie rozwiniętej przez Biota(1804) i szczególnie Fouriera (1807, 1811). Inną stąd wynikającą konsekwencją była hipoteza Thomsona-Clausiusa śmier-

Hipoteza Thomsona-Clausiusa o śmierci cieplnej świata

W 1852 r. W.Thomson, w artykule pt. "O występującej w przyrodzie powszechnej tendencji rozpraszania energii mechanicznej"⁷⁵ wprowadził bardzo ważne pojęcie energii rozproszonej (D)⁷⁶. Jest ona różnicą maksymalnej pracy (W_{\max}) możliwej do uzyskania w zjawisku (a to zachodzi w doskonałym cyklu Carnota) i rzeczywistej wykonanej pracy (W): ($D = W_{\max} - W$). W wyniku istnienia w realnych zjawiskach procesów tarcia, przewodnictwa ciepła czy lepkości rzeczywista praca (W) wykonana przez silnik jest mniejsza od pracy wykonanej w idealnym cyklu Carnota (W_{\max}). Dlatego energia rozproszona jest zawsze większa bądź równa zero ($D \geq 0$), a znak równości zachodzi dla cyklu doskonałego Carnota i w ogólności, dla każdego zjawiska odwracalnego. W.Thomson następnie stosuje to rozumowanie do całego świata. W wyniku procesów typu tarcia, przewodnictwa ciepła, itp. następuje, jego zdaniem, w całym świecie systematyczne zmniejszanie energii użytecznej, jej rozproszenie i degradacja do postaci energii cieplnej. „W materialnym świecie istnieje wspólnie powszechna tendencja do rozproszenia energii mechanicznej”⁷⁷.

Gdyby dodatkowo założyć, że tendencja ta istniała w przeszłości i istnieć będzie w przyszłości wówczas należy dojść do wniosku, iż z biegiem czasu nastąpi rozproszenie całej użytecznej energii, która może wykonać pracę. Stąd W.Thomson wysnuwa wniosek, iż zarówno w odległej przeszłości, jak i przyszłości życie człowieka nie było i nie będzie możliwe.

Clausius, w roku 1865, stosując koncepcję wzrostu entropii układu izolowanego do całego świata, dochodzi do analogicznych wniosków co W.Thomson, który mówił o rozproszeniu energii użytecznej. Zasady mechanicznej teorii ciepła w sformułowaniu Clausiusa brzmią następująco:

1. Energia świata jest stała,
2. Entropia świata dąży do maksimum⁷⁸.

75 W.Thomson, „On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy”, Proc. of the Royal Soc. of Edinburg for 19 April 1852; Phil. Mag., 1852; Lord Kelvin, Math. and Physical Papers, vol. I, p. 511-514.

76 Dla jasności rozważań korzystamy z nieznacznie zmienionych oznaczeń algebraicznych przyjętych przez W.Natansoną w: W.Natanson, *Wstęp do Fizyki*, Wzd. Redakcja „Prac matematyczno-fizycznych”, Warszawa 1890, s. 223-229.

77 W.Thomson, op. cit., cyt. wg. Dzieje... op. cit., s. 340.

78 R.Clausius, Pogg. Ann. Phys., Bd. 125, 1865, S. 400; tłumaczenie wg: B.I.Spaskij, *Istoria fizyki*, cz. II; Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, Moskwa 1964, s. 28.

W konsekwencji prac W.Thomsona i Clausiusa zagadnienie śmierci cieplnej świata staje się jednym z ważniejszych problemów naukowych i filozoficznych, nie tylko wieku XIX-tego, ale i pierwszego ćwierćwiecza wieku XX-tego. Problem ten znajdzie swój epilog z chwilą, gdy zostanie ujęty w nowej formie języka teorii względności⁷⁹.

Sformułowanie zasad termodynamiki w języku energii i jej rozproszenia ożywiło pytania o podstawy nauki o ciepłe i o relacje zachodzące między nią a mechaniką. Nawiązując do tych koncepcji Rankine formułuje nową naukę - Energetykę.

Energetyka Rankine'a: pierwsza próba stworzenia dynamiki jakościowo odmiennych zjawisk odwracalnych

Rankine, dostrzegając znaczenie dla zjawisk cieplnych pojęcia energii i prawa jej zachowania ogłasza w roku 1853 artykuł pt. „O powszechnym prawie transformacji energii”⁸⁰. Dwa lata później, w 1855 roku, uogólnia te rozważania w pracy pt. „Zarys nauki Energetyki”⁸¹. Jego koncepcja składa się z części krytycznej i konstruktywnej. W części krytycznej Rankine odrzuca kartezjański mechanicyzm panujący ówczesnie w nauce, zgodnie z którym istnieje tylko jedna pierwotna jakość: rozciągnięta materia, której skutkiem, zgodnie z prawami mechaniki powstawać by miały jakości wtórne np.: ciepło-zimno, wilgoć-suchość, itp. Nawiązując do renesansowej tradycji, Rankine uważa, iż takie założenie wykracza poza metodę naukową opartą na matematyzacji obserwowalnych i mierzalnych zjawisk przyrody i w związku z tym ma ono jedynie charakter spekulacyjny i hipotetyczny (w rozumieniu Newtona). Przechodząc do części pozytywnej, by być w zgodzie z obserwacjami, Rankine sądził, iż należy przywrócić sens arystotelesowskim pojęciom: substancji, przypadłości,

79 R.C.Tolman, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Oxford 1934; W tej kwestii zobacz np. M.Heller „Czas i kreacjonizm” w: M.Heller, J.Życiński „Wszczę świat i filozofia”, Polskie Towarzystwo Teologiczne, Kraków 1986, s. 209-221.

80 W.J.M.Rankine, „On the General Law of the Transformation of Energy”, *Miscellaneous Scientific Papers*, p. 203-209, London, 1881.

81 W.J.M.Rankine, „Outlines of the Science of Energetics”, *Proc. of the Phil. Soc. of Glasgow*, III, 1848-1855 i *Miscellaneous Scientific Papers*, p. 209-228, London, 1881.

różnych jakości i ich intensywności. Z drugiej zaś strony, podobnie jak Carnot (1824), Rankine przyjmuje, iż wzorem teorii naukowej jest dynamika, gdyż jej matematyczny język oparty na rachunku różniczkowo-całkowym idealnie nadaje się do pełnego (deterministycznego) opisu biegu wydarzeń przyrody. Rdzeniem jego koncepcji jest pojęcie energii i jej transformacji. Rankine uważa, że pojęcie energii jest najogólniejszą kategorią jaką może rozpatrywać fizyka teoretyczna, gdyż ująć może ogół zjawisk zachodzących w przyrodzie. Pojęcie to rozumiał bardzo szeroko i określał tak, by nie zawierało jawnie pojęć mechanicznych, ale by mogło w szczególnym przypadku pokrywać się z pojęciem energii mechanicznej. Ponadto sądził, iż wszystkie rodzaje energii są jednorodne i dlatego też istnieje możliwość przemiany jednej formy energii w drugą. Łącząc podane wyżej elementy Rankine podał ideę, zarys koncepcji identycznych w swych formach teorii ogółu obserwowanych w przyrodzie jakościowo odmiennych, a przez to nieredukowalnych do siebie zjawisk. Ta identyczna forma wykorzystywała język matematyczny sformułowany w trakcie rozwoju dynamiki, i była pewną postacią dynamiki. Nieredukowalność zjawisk, i wymóg zgodności z obserwacjami narzucał, wedle Rankine'a, konieczność użycia pojęcia substancji, przypadłości, różnych jakości i ich natężeń. Tą identyczną formą była Energetyka. Rankine w swej pracy w 1855 podawał tylko jej zarys, gdyż wiedział, że matematyczne założenia jego teorii nie były jeszcze dość sprecyzowane. Energetyka miała być nową fundamentalną nauką, której przedmiotem miał być ilościowy i deterministyczny opis ogółu zjawisk przyrody - przemian energetycznych zgodnych z zasadą zachowania energii i twierdzeniem Carnota. W konsekwencji przyjętych założeń szczególnym przypadkiem Energetyki była klasyczna termodynamika (z zasadą równoważności pracy i ciepła i klasycznie rozumianym twierdzeniem Carnota) jak i uogólniona dynamika.

By to osiągnąć, Rankine zmuszony był użyć na nowo, wyrugowane już przez Kartezjusza, jakości i ich natężenia, wprowadzone przez Arystotelesa i scholastyków. Pomimo to jednak, otrzymane przez Rankine'a wyniki nie różniły się jakościowo od wyników uzyskanych przy przeciwnym, mechanistycznym założeniu. Dlatego też ogół uczonych odrzucił koncepcję Rankine'a, gdyż ekonomia myślenia nakazywała trwać przy kartezańsko-mechanistycznie rozumianej dynamice. Takie pojmowanie dynamiki było ówczesnie dogmatem wiary naukowej, należąc do rdzenia programu badawczego mechanicyistów. Doskonale opisują to słowa Maxwella, autora przełomowych prac z elektrodynamiki i teorii kinetyczno-molekularnej, zacytowane przez Natansona w szkicu poświęconym temu

uczonemu. W odczycie wygłoszonym w lutym 1875 roku przed Towarzystwem Chemicznym w Londynie pt. "O dynamicznym dowodzie drobinowej budowy ciał" ("On the dynamical Evidence of the molecular Constitution of bodies") Maxwell mówi: "Jeżeli fizyczne zjawisko może w zupełności być opisane jako zmiana rozmieszczenia lub ruchu materialnego układu, powiadamy, że wytłumaczyliśmy całkowicie, dynamicznie, owo zjawisko. Nie możemy wyobrazić sobie, ażeby inne, lub dalsze wytłumaczenie było porządane lub nawet możliwe; skoro wiemy, co znaczą wyrazy: rozmieszczenie, ruch, masa, siła, pojmujemy, że odpowiadające im pojęcia są tak proste, iż nie mogą być sprowadzone do prostszych"⁸².

Pomimo swych braków próba Rankine'a stanowiła jednak pewną metodologiczną wskazówkę dla tych badaczy, którzy dostrzegali konieczność zmatematyzowania ogółu zjawisk przyrody zauważając jednocześnie jakościową odmienną zjawisk cieplnych i zjawisk, które skutecznie do tej pory rozpatrywała mechanika. Ale swych następców Rankine zdobydzie dopiero po około dwudziestu latach.

Podsumowując Energetykę Rankine'a mogliśmy powiedzieć, iż jego matematyczne uogólnienie nie było zbyt nowatorskie, a używając dosadnego metodologicznego języka Bohra - stwierdzić, iż było ono po prostu za mało zwariowane, by być prawdziwe. Byłoby to o tyle uzasadnione, że Rankine uznawał za wzór teorii fizyki teoretycznej strukturę matematyczną dynamiki uogólnionej Lagrange'a oraz przyjmował zasadę zachowania równoważności pracy i ciepła, czy też zasadę zachowania siły żywej i twierdzenie Carnota w ich klasycznych sformułowaniach. Gdybyśmy jednak tak stwierdzili, popełnilibyśmy ogromny błąd, bowiem w wieku dziewiętnastym, nikt z uznanych fizyków nie dopuszczał myśli o nieadekwatności matematycznych narzędzi dynamiki do opisu ogółu zjawisk przyrody. Oddajmy jeszcze raz głos Maxwellowi, który w "Nature" w 1877 roku, w artykule poświęconym działalności Helmholtza stwierdza: "Gdy dwie nauki stapiają się w jedną naukę, operacja ta wymaga zwyczajnie głębokiego rozbioru ustanowionych metod, odrzucenia mnóstwa okazywanych mniemanej wiedzy, które może długo i wysoko ceniono w nauce. Większość umiejętności fizycznych, zajętych badaniem nieożywionej przyrody, bądź już została poddana takiemu procesowi stopienia, bądź też

82 W. Natanson, J.C. Maxwell, *Widnokrąg Nauki*, Książnica-Atlas, 1934, Warszawa, s. 214; Porównaj też tłumaczenie tego fragmentu podane w *Dziejach... op. cit.*, s. 349.

przygotowuje się do niego widocznie; każda przy tym nauka przybiera w końcu postać pewnej gałęzi dynamiki"⁸³.

Problem zatem nie polegał w istocie na słabości założeń matematycznych teorii Rankine'a, lecz przede wszystkim na przyjęciu u podstaw teorii odmiennej jakościowo - ilościowej wizji arystotelesowskiej. Energetyka Rankine'a miała jednak swoją słabą stronę, gdyż nie podawała prawa zjawiska rozpraszania energii użytecznej w układzie izolowanym, na które zwrócił uwagę W. Thomson (1852).

Niezależnie od samej próby Rankine'a łączącej w śmiały sposób elementy ontologii arystotelesowskiej, termodynamiki i dynamiki uogólnionej, pewne było po roku 1855 dla ogółu uczonych, iż zjawisko rozproszenia energii wywołane istnieniem tarcia, lepkości czy przewodnictwem ciepła musi być w przyszłości wytłumaczone przy pomocy precyzyjnych, ilościowych praw opisujących ten proces. Rozwiązanie to należało znaleźć albo w obrębie samej dynamiki pojmowanej mechanistycznie, jeśli miała być ona nadal teorią ontologiczną świata, albo ewentualnie przyjmując założenia Rankine'a i dokonując jej jakościowego uogólnienia w języku arystotelesowskim. Innych rozwiązań ówczesna nauka nie widziała.

Zakończenie

Poszukiwania ogólnej teorii zjawisk cieplnych w duchu dynamiki podejmą po Rankine'ie (1855) nie tylko nieliczni przeciwnicy, ale i liczni zwolennicy ontologicznego traktowania mechaniki. Pomimo ontologiczno-metodologiczno-epistemologicznego sporu, który będzie stopniowo narastał w nauce o zjawiskach cieplnych w drugiej połowie dziewiętnastego wieku, nikt z uczonych nie będzie wątpił w wartość zarówno dotychczasowych, jak i przyszłych osiągnięć dynamiki. Nikt bowiem nie będzie podważał zasadności pojęcia pracy, energii, potencjału oraz zasady zachowania energii. Wszyscy też uczeni będą przeświadczeni o możliwości zastosowania w nauce o zjawiskach cieplnych metod matematycznych wypracowanych w trakcie rozwoju dynamiki, a w szczególności równań Lagrange'a II-ego rodzaju, czy zasady Hamiltona. Sądono bowiem, zdaniem Natansona, że potrafią one ująć w zjawiskach ruchu i równowagi

83 W.Natanson, op. cit.

"ostatnie, nikłe już ślady prawd szerszych, tkwiących na dnie wszelkiej zmienności"⁸⁴. W duchu takich fundamentalnych uogólnień uczeni będą poszukiwać jednolitej teorii zjawisk cieplnych. Z drugiej zaś strony, w tych poszukiwaniach stopniowo będzie nabierała znaczenia i stawać się będzie coraz bardziej wyrazista sprzeczność między prawami odwracalnej dynamiki zjawisk astronomicznych, a prawami nieodwracalnych, rozproszeniowych zjawisk cieplnych. Wraz z próbą ich zrozumienia narastać też będzie znaczenie pojęcia energii i entropii.

By lepiej zrozumieć ten proces, w części drugiej naszego artykułu, mającego na celu ukazanie sytuacji problemowej jaką musiał rozważyć Natanson by sformułować zasadę termokinetyczną, przedstawimy zarys rozwoju teorii zjawisk cieplnych w latach 1857-1896, tj. w okresie bezpośrednio poprzedzającym prace Natansona dotyczące tego tematu.

84 op. cit., s. 214-215.

