

Średniawa, Bronisław

Władysław Natanson (1864-1937), fizyk, który wyprzedził swoją epokę : (w sześćdziesięciolecie śmierci i setną rocznicę publikacji pracy "O prawach zjawisk nieodwracalnych")

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 42/2, 3-22

1997

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.



Bronisław Średniawa
(Kraków)

**WŁADYSŁAW NATANSON (1864–1937),
FIZYK, KTÓRY WYPRZEDZIŁ SWOJĄ EPOKĘ**
(W SZEŚĆDZIESIĘCIOLECIE ŚMIERCI I W SETNĄ ROCZNICĘ PUBLIKACJI PRACY
O PRAWACH ZJAWISK NIEODWRACALNYCH)

WSTĘP

Władysław Natanson (1864–1937)¹ urodził się w Warszawie jako syn Ludwika Natansona, lekarza i autora prac z dziedziny medycyny i pedagogiki. O atmosferze intelektualnej, panującej w rodzinie, Władysław Natanson napisał pod koniec życia w swojej autobiografii²:

„W rodzinie mej, mieszczańskiej, o tradycjach pracy umysłowej, zamiłowanie do nauk przyrodniczych i cześć dla nich istniała od dawna.”

Po studiach fizyki w Petersburgu Natanson przebywał przez rok u J.J. Thomsona w Cambridge. Następnie, po uzyskaniu doktoratu w Dorpacie i po krótkim pobycie u Ludwika Boltzmanna w Grazu przeniósł się do Krakowa, gdzie habilitował się w 1891 r. Po habilitacji związał swoje losy z Krakowem. W 1894 został profesorem nadzwyczajnym tytularnym, w 1899 profesorem nadzwyczajnym i w 1902 profesorem zwyczajnym fizyki teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 1935 r., po przejściu na emeryturę, otrzymał godność profesora honorowego tegoż Uniwersytetu.

Jak pisał profesor Jan Weysenhoff³:

„Bogata spuścizna naukowa Zmarłego [Władysława Natansona] obejmuje sto kilkadziesiąt prac⁴ opublikowanych w najrozmaitszych czasopismach naukowych polskich i zagranicznych – przeważnie w sprawozdaniach Polskiej Akademii Umiejętności, której ś.p. Natanson był członkiem od

1891 r. Śmiało można rzec, że nie było prawie gałęzi fizyki, którą by się Natanson nie interesował i do której budowy nie dorzuciłby własnych cegiełek.”

Przedmiotami wieloletniej intensywnej pracy badawczej Natansona były następujące działy fizyki: przed habilitacją (uzyskaną w 1891 r.) teoria kinetyczna gazów, później w latach 1893–1907 termodynamika procesów nieodwracalnych i jej zastosowania do hydrodynamiki płynów lepkich, od 1907–1926 r. teoria elektronów, teoria promieniowania i optyka, zwłaszcza teoria przechodzenia światła przez gazy, a w latach trzydziestych zagadnienia związane z mechaniką kwantową.

W pracach o termodynamice procesów nieodwracalnych, ogłoszonych w latach 1896–1902, oraz w pracy z 1911 r. o statystyce kwantów promieniowania, jako cząstek nierozróżnialnych, Natanson wyprzedził o dziesięciolecie swoją epokę.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY NAUKOWEJ

Prawie cała działalność naukowa Natansona była poświęcona fizyce teoretycznej. Wyjątkami były wczesne prace doświadczalne o dysocjacji dwutlenku azotu, publikowane wspólnie z bratem Edwardem oraz praca o barometrze z odczytywaniem przy pomocy zetknięć elektrycznych wykonana z J. J. Boguskim w 1888 r. Wszystkie swoje prace teoretyczne Natanson ogłaszał jako ich jedyny autor, był uczonym samotnikiem. Co więcej – pomimo studiów u znanych fizyków, J.J. Thomsona w Cambridge i Boltzmanna w Grazu, Natanson uważał się za samouka. W swojej autobiografii⁵ pisał:

„Zamykając rzut oka na okres wstępny mego życia powiem, że istotny wpływ na mnie wywarli: w dzieciństwie mój Ojciec oraz starszy brat mój Edward, pod koniec tego okresu, jak wspominałem wyżej, Gosiewski i Witkowski. Na ogół byłem jednak i pozostałem samoukiem. Ani w szkole, ani w Uniwersytecie, ani podczas pielgrzymki po świecie nie umiałem, nie potrafiłem, nie miałem szczęścia być uczniem. Już wówczas rozumiałem, że będzie to dla mnie wielkim brakiem na przyszłość. Z żalem widziałem (i dziś znowu widzę), że byłem samoukiem i mam wszystkie braki i wady samouka. Głębszą przyczyną tego niedostatku mojego przygotowania była prawdopodobnie jakaś wewnętrzna własność umysłu, która sprawiła, że byłem sobie istotnym nauczycielem; sam sobie byłem przewodnikiem, słabym naturalnie i niedoświadczonym. Przez całe jednak życie starałem ze wszystkich sił uczyć się od najwyższych mistrzów, chociażby ich dawno już nie było na Ziemi. Ile nauczyłem się tym sposobem od Newtona, od Lagrange’a, Kelvina, Clausiusa, od J.W. Gibbsa, od G.G. Stokesa, od Lorda Rayleigh, P. Duhema, H.A. Lorentza. Najpierwszym, umiłowanym wzorem był zawsze J. Clerk Maxwell. Obcowanie z dziełami genialnych twórców

pozostawia w umyśle i w duszy ślady i skutki, których mym zdaniem żadne wykłady – seminaryjne, zagraniczne – wydać nie mogą.”

Mimo iż Natanson pracował samotnie, wywierał silny wpływ przez swoje wykłady, prace, artykuły, listy i podręczniki na środowiska naukowe, nie tylko w Krakowie, lecz i w innych ośrodkach naukowych krajowych i zagranicznych (zwłaszcza francuskich).

Przytoczymy tu wypowiedzi profesorów: fizyka teoretyka Leopolda Infelda (1898–1968), fizyka eksperymentatora Arkadiusza Piekary (1904–1989) oraz chemika, specjalisty w dziedzinie chemii fizycznej Kazimierza Gumińskiego (1908–1983), na których działalność naukową Władysław Natanson wywarł decydujący wpływ.

Wykłady Natansona o teorii względności (włączone do kursu mechaniki teoretycznej), wywarły wielkie wrażenie na Leopoldzie Infeldzie, który wówczas studiował fizykę w Krakowie. Infeld poświęcił teorii względności prawie całą swoją działalność naukową. Swoją pracę naukową z tej teorii, wykonaną w Berlinie, Infeld przedstawił po powrocie do Krakowa Natansonowi, który podjął się funkcji promotora przewodu doktorskiego Infelda⁶. Po latach Infeld pisał w swoich pamiętnikach⁷:

„Zastanawiam się, co dał mi profesor Natanson, i czego mi nie dał. Dał mi rzecz najważniejszą: poczucie piękna fizyki teoretycznej, rozbudził drzemiące jeszcze zamiłowanie do niej ... Nigdy jednak nie miałem ściśle naukowej dyskusji z mym profesorem... Nasze rozmowy toczyły się wokół problemów naukowych, nigdy zaś nie dotyczyły samych problemów naukowych... W miarę, jak rozwijała się moja praca naukowa, wpływ mego profesora malał coraz bardziej.. Miałem mu prawdopodobnie za złe, że nie dał mi tego, czego przy najlepszych chęciach dać nie mógł, że nie nauczył mnie techniki pracy naukowej i nie dał mi warunków do tej pracy... Dziś dopiero oceniam lepiej skomplikowany charakter mego profesora. Widzę w nim człowieka niezdolnego do intryg, rycerskiego i szlachetnego... Człowieka samotnego, tak w nauce, jak i w życiu, dla którego bezosobowość w stosunkach z ludźmi była pancerzem ochronnym... Naukowo był blisko, bardzo blisko wielkich odkryć, np. sformułowania statystyki Bosego. Z powodu izolacji naukowej, braku osobistych kontaktów, nie rozwinął w pełni swoich zdolności naukowych; rozwinął natomiast w pełni swoje zdolności pisarskie. Nie miał uczniów, ale miał duży wpływ na kulturę narodową...”

Arkadiusz Piekara w przedmowie do wydanego przez siebie wyboru artykułów Natansona⁸ pisał:

„Władysław Natanson był moim mistrzem, którego ja nigdy nie byłem formalnym uczniem, ale który nauczył mnie wiele, bardzo wiele.”

Swoją książkę *Nowe oblicze optyki*⁹ Piekara zadedykował:

„Pamięci mistrzów moich: Profesora Doktora Stefana Pieńkowskiego, u którego pierwsze kroki w optyce stawiałem, Profesora Doktora Władysława Natansona, który mi jej piękno ukazał, Profesora Doktora Aimeé Cottona, który mnie rzemiosła nauczył, książkę tę poświęcam.”

W liście Natansona do Piekary¹⁰ z dnia 24 czerwca 1933 znajdujemy taką żartobliwą pochwałę optyki:

„Doradzam optykę, która jest cudem, ale nie obstaję, jeżeli Pan woli co innego. Elektryony, protony, positrony, neutrony – to ponętne, ale bardzo śliskie. Trzeba na to być Rutherfordem. Jako szkoła optyka jest 10^{10} razy lepsza. Surowsza, ale dobroczyzna.”

Piekara znaczną część swoich badań poświęcił optyce.

Prace Natansona w dziedzinie termodynamiki procesów nieodwracalnych były źródłem zainteresowania Kazimierza Gumińskiego, założyciela krakowskiej szkoły chemii teoretycznej, który uważał się za ucznia Natansona i profesora Stefana Pieńkowskiego z Uniwersytetu Warszawskiego. Gumiński poświęcił w swojej działalności naukowej wiele uwagi termodynamice procesów nieodwracalnych, publikując na ten temat prace i podręczniki oraz kształcąc uczniów w tej specjalności.

TEORIA KINETYCZNA GAZÓW

Natanson otrzymał stopień magistra w Uniwersytecie w Dorpacie na podstawie rozprawy pt. *Teoria cynetyczna gazów niedoskonałych*¹¹. Zakładając, że przy spotkaniu cząsteczek gazu niedoskonałego działają krótkozasięgowe siły przyciągające, mogące spowodować chwilowe utworzenie się agregatów dwóch lub więcej cząsteczek, Natanson wyprowadził równanie stanu gazu. Lewa strona tego równania jest iloczynem ciśnienia gazu p i jego objętości (molowej) V , a prawa strona ma postać iloczynu RT (gdzie R jest stałą gazową, T temperaturą bezwzględną), pomnożonego przez szereg nieskończony funkcji dwóch parametrów V i T . Wyprowadzone przez Natansona równanie stanu różniło się od prawa van der Waalsa, gdyż jak podkreślił, jego założenia były różne od założeń van der Waalsa.

W 1887 r. Natanson uzyskał (również w Dorpacie) stopień doktora na podstawie pracy o kinetycznej teorii zjawiska Joule’a. Natanson rozważał tam gaz rzeczywisty, a zjawisko Joule’a wyjaśniał przez fakt, że nie wszystkie drobiny gazu mają tę samą prędkość. Szybsze z nich dochodzą wcześniej, a powolniejsze później do końca krótkiej rury, w której gaz ulega rozprężeniu. Przez to powstają różnice w średniej energii kinetycznej cząsteczek, a więc wytwarza się różnica temperatur. Jak wynika z treści rozprawy Natansona, jest to pierwsze wytłumaczenie zjawiska Joule’a na podstawie teorii kinetycznej gazów.

Wśród prac przedstawionych przez Natansona do publikacji w 1891 r. znajdują się jeszcze cztery prace z teorii kinetycznej gazów. W dwóch z nich,

zatytułowanych *Studia nad prawem Maxwella*¹² i *O zadaniu Taita*¹³ Natanson zajął się zagadnieniem dochodzenia rozkładu prędkości cząsteczek gazu do rozkładu Maxwella. Stosując metodę Boltzmanna doszedł do wniosku, że prawo Maxwella jest prawem asymptotycznym, do którego zbliża się rozkład prędkości cząsteczek gazów rzeczywistych, gdy liczba cząsteczek jest bardzo duża, a czas między kolejnymi spotkaniami zdąża do zera. Zdążanie do rozkładu Maxwella odbywa się z początku bardzo szybko, ale wkrótce ulega spowolnieniu i maleje do zera. Już w tych pierwszych pracach teoretycznych Natanson, zwracając uwagę na zjawisko dochodzenia układu do równowagi, poruszył fundamentalne zagadnienie mechanizmu i praw procesów nieodwracalnych, którymi zajmował się później przez wiele lat.

W pracach zatytułowanych *Przyczynek do teorii dysocjacji*¹⁴ oraz *Drugi przyczynek do teorii dysocjacji*¹⁵ Natanson zajął się badaniem mechanizmu tego zjawiska. Przyjął istnienie krótkozasięgowych sił przyciągających między cząsteczkami gazu i sprawdził metodami teorii kinetycznej gazów konsekwencje dwóch hipotez:

- a) cząsteczka gazu może się rozpaść tylko wskutek zderzenia z inną cząsteczką lub atomem gazu,
- b) cząsteczka gazu rozpada się samorzutnie po upływie pewnego czasu.

Natanson stwierdził, że hipoteza b) jest zgodna z doświadczeniem.

Podjęcie przez Natansona badań w dziedzinie kinetycznej teorii materii dowodziło nie tylko jego trafnej intuicji, lecz i odwagi przeciwstawienia się poglądom panującym wówczas wśród fizyków, chemików i filozofów, tworzących pod kierunkiem Ernesta Macha i Wilhelma Ostwalda tzw. „szkołę energetyczną”. Energetycy zwalczali energicznie teorię kinetyczną gazów. Sytuację tę trafnie ujął Natanson w jednym ze swoich artykułów w słowach¹⁶:

„W końcu XIX stulecia zapanowało w Atomistyce niejaki zniechęcenie: pojawili się myśliciele, którzy zaprzeczyli jej użyteczności. [...] Ernest Mach, Ostwald i inni filozofowie uznali Atomistykę za prostą zabawkę umysłu, której, jak się wydawało wówczas, błahą naiwność obnażyli wybornie. I gdy Atomistyka była podana we wzgardę, stało się, czego najmniej można się było spodziewać, niemal ośmieszona doktryna strzeliła płomieniem i nowym światłem załała nowe obszary nauki.”

TERMODYNAMIKA PROCESÓW NIEODWRACALNYCH

Lata 1891–1899 to okres badań Natansona w dziedzinie termodynamiki, które uczyniły go prekursorem termodynamiki procesów nieodwracalnych. W latach tych opublikował 19 prac z tej dziedziny.

Można je podzielić na trzy grupy. Do pierwszej należą publikacje poświęcone analizie wyników doświadczalnych, dotyczących zgodności z doświadczeniem zredukowanego równania stanu gazów rzeczywistych oraz roztworów. Prace te powstały w latach 1891–1895 w związku z badaniami (wówczas już nie żyjącego) Zygmunta Wróblewskiego i Karola Olszewskiego nad ustaleniem warunków, umożliwiających skroplenie wodoru, Natanson opierając się na wynikach doświadczalnych Wróblewskiego i Olszewskiego, obliczył temperaturę krytyczną wodoru oraz ustalił warunki, w których można oczekiwać zamglenia, zmacenia i skroplenia gazu. Wyjaśnił, dlaczego Olszewski otrzymał przejściowe zjawisko zamglenia oziębionego wodoru (zwane też skropleniem w stanie dynamicznym).

Drugą grupę prac termodynamicznych Natanson poświęcił rozwijaniu termodynamiki tradycyjnej. Cykl ważnych publikacji z tej dziedziny otwierała praca *O potencjałach termodynamicznych*¹⁷, w której Natanson badał własności czterech funkcji termodynamicznych, noszących dzisiaj nazwy energii wewnętrznej, energii swobodnej, entalpii i entalpii swobodnej, nazwanych przez niego potencjałami termodynamicznymi. Przy ich pomocy sformułował warunki zachodzenia przemian odwracalnych i nieodwracalnych, przyjmując entropię jako zmienną niezależną. Pracę tę cytował i dyskutował Pierre Duhem¹⁸, jeden z największych wówczas znawców i specjalistów od precyzowania podstaw termodynamiki.

Trzecia, najważniejsza grupa prac termodynamicznych Natansona, która stanowiła jego najważniejsze osiągnięcie naukowe i wyprzedziła swoją epokę, dotyczyła badania zjawisk nieodwracalnych. (Zjawiskom tym poświęcił uwagę już w swoich pierwszych pracach o dochodzeniu stanów gazów do stanu równowagi.) W latach 1884–1889 Natanson ogłosił cykl fundamentalnych prac poświęconych termodynamice procesów nieodwracalnych.

Jak pisał Kazimierz Gumiński w artykule *O pracach termodynamicznych Natansona*¹⁹, Natanson zmierzał do wyjaśnienia zjawisk nieodwracalnych dwiema drogami. Pierwsza opierała się na badaniu własności funkcji dyssypacji (rozpraszania) energii metodami teorii kinetycznej gazów. W pracach z lat 1893–1895: *O znaczeniu kinetycznym funkcji dyssypacyjnej*²⁰ i *O energii kinetycznej ruchu ciepła i funkcji dyssypacyjnej odpowiedniej*²¹ Natanson obliczył z równań teorii kinetycznej wprowadzoną przez Rayleigha funkcję dyssypacyjną dla przepływu płynu i rozważał sposoby rozpraszania się energii w płynie lepkiem.

Druga droga polegała na szukaniu uogólnień ówczesnej termodynamiki (którą Natanson nazwał termostatyką), mających za cel znalezienie teorii (którą nazwał termokinetyką), obejmującej zarówno procesy odwracalne jak i nieodwracalne.

Najważniejszą i najbardziej odkrywczą była tu praca Natansona *O prawach zjawisk nieodwracalnych*²² z 1896 r. (Zob. też podręcznik K. Gumińskiego²³). We wstępie do tej pracy napisał:

„Nauka o rozpraszaniu energii jest dotychczas mało rozwinięta. Znamy wprawdzie prawa zjawisk odwracalnych, ale w tych zjawiskach energia nie

jest rozpraszana; o zjawiskach zaś nieodwracalnych mamy tylko jakościową wiadomość, że energia jest w nich rozpraszana. Nie znamy bynajmniej dotychczas ilościowych praw rozpraszania się energii w zjawiskach nieodwracalnych.

Wydaje się przecież, że istnieje pewna ogólna, nad nieodwracalnymi zjawiskami panująca zasada. Wynika ona łatwo z uogólnienia zasady Hamiltona. Lord Rayleigh, G. Kirchhoff, von Helmholtz, P. Duhem wygłosili ją w rozmaitych kształtach i w rozmaitym stopniu ogólności. Twierdzeniom, odkrytym przez tych uczonych, można nadać postać prostego prawa, które sprawdza się powszechnie w zjawiskach fizycznych. Pragnęlibyśmy, aby zwrócono uwagę na obszerność i wagę tej zasadniczej formuły, ponadto sądzimy, że wskazuje ona drogę do znalezienia praw ilościowych rozpraszania się energii.”

(Badania poprzedników Natansona przedstawił obszernie M. Kokowski²⁴).

W omawianej pracy o procesach nieodwracalnych Natanson przyjął zasadę wariacyjną, którą nazwał zasadą termokinetyczną, mającą opisać proces termodynamiczny, podobnie jak zasada Hamiltona opisuje prawo ruchu w dynamice. W zasadzie termokinetycznej do wariacji lagrangianu mechaniki dodany jest przyrost energii wewnętrznej, będący sumą wykonanej pracy i ciepła, pochłoniętego w procesie. Na proces termodynamiczny składają się według Natansona zarówno przemiany odwracalne, jak i nieodwracalne. Odpowiednio do tego pochłonięte ciepło jest sumą ciepła „skompensowanego”, wymienionego w procesie odwracalnym i „nieskompensowanego”, wymienionego w procesie nieodwracalnym. Ciepło nieskompensowane jest związane z istnieniem w układzie fizycznym przyczyny nieodwracalności, które później nazwano źródłem entropii. Natanson pokazał, jak z zasady termokinetycznej wynikają, otrzymane przez Duhema termodynamiczne równania Lagrange’a, zasada zachowania energii, dynamika i termodynamika odwracalna, prawa dyfuzji i ogólne prawa promieniowania cieplnego. Równocześnie Natanson zdefiniował funkcję dyssypacji, związaną ściśle z nieodwracalnością zjawisk i podjął próbę znalezienia zależności tej funkcji od czasu w trakcie przebiegu procesu.

Uzupełnieniem tej pracy była wydana w 1897 r. publikacja *O termodynamicznych własnościach potencjałów termodynamicznych*²⁵ oraz dwie prace, stosujące zasadę termokinetyczną do zjawisk nieodwracalnych w płynach: *O wpływie ruchu na zmiany stanu skupienia*²⁶ i *O termokinetycznych własnościach roztworów*²⁷.

ZASTOSOWANIE TERMODYNAMIKI PROCESÓW NIEODWRACALNYCH DO HYDRODYNAMIKI PŁYNÓW LEPKICH

Idee termodynamiki procesów nieodwracalnych znalazły zastosowanie również w teorii płynów lepkich. Natanson już w trakcie badań nad termodynamiką

zwrócił się ku hydrodynamice płynów lepkich i rozwijał ją do 1907 r. Seria jego prac na ten temat obejmuje 10 pozycji²⁸. Zwróćmy uwagę na dwie prace, w których Natanson przedstawił metodę swoich badań w tej dziedzinie.

W pracy *O prawach tarcia wewnętrznego*²⁹ z 1896 r. sformułował założenia odnoszące się do hydrodynamiki płynów lepkich. Uważał procesy zachodzące w materii za grę dwóch czynników: inercji, czyli bezwładności i koercji, powodującej stopniowe dostosowanie się materii do każdego odkształcenia i odpowiedzialnego za zanikanie stanu napięcia. To zanikanie napięć, w szerokim tego słowa znaczeniu, czyli relaksacja (zluźnianie) może odbywać się z różną szybkością, której miarą jest czas relaksacji. Niedostatecznie sprecyzowanego pojęcia koercji dzisiaj raczej (poza zjawiskami magnetycznymi) nie używa się, było ono jednak przewodnikiem Natansona w jego badaniach. W szczególnych przypadkach precyzował on pojęcie koercji i nadawał mu ścisły sens fizyczny (zob. też artykuł o inercji i koercji³⁰).

Omawiana tu praca Natansona o prawach tarcia wewnętrznego opierała się na poglądzie Poissona, rozwiniętym później przez Stokesa i Maxwella, według którego płyn poddawany odkształceniu zachowuje się przez bardzo krótki czas jak ciało sprężyste, po czym objawia się w nim działanie koercji, tj. dążności do osłabienia deformacji, do zamiany energii sprężystej na cieplną. Natanson uwzględnił działanie tych dwóch czynników rozkładając pochodną tensora ciśnień na sumę dwóch składników, z których jeden opisuje odwracalną stronę zjawiska, a drugi relaksację, czyli jego część nieodwracalną. Stosując ten rozkład w ogólnych równaniach ruchu ośrodka ciągłego, Natanson otrzymał różniczkowo-całkowe równanie ruchu hydrodynamiki płynów lepkich, będące uogólnieniem równania Naviera-Stokesa.

W pracy *O prawach zjawisk dyfuzyjnych*³¹ z 1901 r. Natanson zastosował do termodynamiki pojęcie bodźca (zwanego w dzisiejszej termodynamice procesów nieodwracalnych w sposób niewłaściwy „siłą”).

Pojęcie to Natanson wprowadził już w 1890 r. w swoim podręczniku pt. *Wstęp do fizyki teoretycznej*³², określając całkiem ogólnie bodziec jako miarę rozpraszania dowolnej wielkości fizycznej.

W pracy³³ o prawach zjawisk dyfuzyjnych pisał:

„Podobieństwo panujące pomiędzy rozmaitymi rodzajami zjawisk dyfuzyjnych upoważnia do wprowadzenia pewnych pojęć uogólnionych, z których pomocą prawa owych zjawisk mogą ułożyć się w schemat jednostajny. Próbę pod tym względem podamy w pracy niniejszej. Istota rzeczy, we wszystkich tych zagadnieniach, leży w ustanowieniu związku między „przepływem” uważanej ilości (masy, ilości ruchu, energii) a pewną wektoralną wielkością, którą nazywamy „bodźcem” (stimulus) zjawiska. Według teorii klasycznych przepływ jest wprost proporcjonalny do bodźca; takie założenie odpowiada idealnemu granicznemu przypadkowi „całkowitego” rozpraszania energii użytecznej bodźca; dyfuzja Fourierowska stanowi więc

przykład zjawiska doskonale lub zupełnie rozpraszającego, kraniec przeciwny zjawisk wcale nie rozpraszających, jakimi zajmujemy się w termodynamice klasycznej. Według uogólnionej teorii, czynność bodźca polega nie na samym tylko wytwarzaniu przepływu, lecz nadto i na zmienianiu z biegiem czasu jego natężenia; dlatego według takiej teorii, energia użyteczna bodźca rozprasza się tylko po części, po części zaś nagromadza się, nadając „impet” przepływającej ilości... Te działania moglibyśmy nazwać: pierwsze koercyjnym, drugie inercyjnym. Stosunkowy wpływ jednego i drugiego działania zależy przede wszystkim od długości tzw. czasu „złuznienia” (czyli relaksacji).”

W omawianej przez nas pracy Natanson wyszedł z teorii kinetycznej materii, a mianowicie z ogólnego równania transportu Maxwella³⁴, które nazwał równaniem kinetycznym zasadniczym. Równanie to jest bilansem dowolnej wielkości fizycznej Q w trakcie transportu. Jego szczególnymi przypadkami są równania ruchu ośrodka ciągłego i równania opisujące zależność temperatury od czasu i miejsca.

W równaniu ruchu występują wyrazy mające charakter perturbacji. Natanson założył, że zanikają one z biegiem czasu. Otrzymał równanie, będące uogólnieniem równania przewodzenia ciepła Fouriera. Jednym z granicznych przypadków tego równania (dla $\tau \rightarrow \infty$) jest równanie Fouriera, opisujące zjawisko „doskonale rozpraszające”, w którym bodziec jest proporcjonalny do gradientu ilości ciepła (grad Q), natomiast drugim przypadkiem granicznym (dla $\tau \rightarrow 0$) jest równanie fali, opisujące zjawisko „wcale nie rozpraszające”. Wtedy przepływ zależy nie tylko od bodźca, ale i od sposobu jego zmieniania się. W przypadku ogólnym zjawisko polega na tym, że złuznienie rozchodzi się ze znaczną, ale skończoną prędkością i pozostawia za sobą „ogon” dyfuzyjny.

Wyniki badań Natansona nad zastosowaniami termodynamiki procesów nieodwracalnych do hydrodynamiki procesów lepkich pobudziły fizyków doświadczalnych do badania zjawiska podwójnego załamania w poruszających się cieczach. W Krakowie zajęli się tym ówcześni asystenci katedry fizyki doświadczalnej Konstanty Zakrzewski (1876–1948) i Kamil Kraft (1873–1945).

Pracami Natansona z hydrodynamiki płynów lepkich zainteresował się krakowski profesor matematyki Stanisław Zaremba (1863–1942), który podjął w 1903 r. trwającą około roku polemikę z Natansonem³⁵.

Publikacja Zaremby pt. *Uwagi o pracach Profesora Natansona nad teorią tarcia wewnętrznego*³⁶ zapoczątkowała dyskusję, obejmującą pięć prac Zaremby³⁷ i pięć prac Natansona³⁸. Zaremba stawiał coraz to nowe zarzuty pracom Natansona oraz rozwijał własne modyfikacje teorii tarcia wewnętrznego w płynach. Natanson odpierał zarzuty Zaremby uważając, że polegają one na niezrozumieniu tekstów jego prac, natomiast modyfikacje Zaremby albo są błędne, albo prowadzą praktycznie do tych samych wyników, które otrzymał Natanson. Natanson miał ostatnie

słowo w polemice, gdy ogłosił pracę *Uwagi nad pracami prof. Zaremby, dotyczącymi się załamania światła w cieczach odkształconych*³⁹.

UWAGI O DALSZYM ROZWOJU TERMODYNAMIKI PROCESÓW NIEDWRACALNYCH

Prace Natansona z termodynamiki procesów nieodwracalnych nie były przez ówczesnych fizyków i chemików rozumiane. Pozostawały przez długi czas niedocenione. Termodynamika procesów nieodwracalnych nie była rozwijana przez następne trzy dziesięciolecia. Instensywny jej rozwój nastąpił dopiero w latach trzydziestych po ogłoszeniu (niezależnie od Natansona) w 1931 r. dwóch prac z tej dziedziny przez Larsa Onsagera. Onsager sformułował liniową termodynamikę procesów nieodwracalnych (zwaną później Classical Irreversible Thermodynamics, CIT), w której przepływy termodynamiczne (przepływ energii, przepływ masy itp.) są liniowymi funkcjami bodźców (takich jak różnica temperatur, różnica stężeń itp.), wywołujących przepływy, a macierz współczynników związków liniowych między bodźcami i przepływami (zwanymi współczynnikami fenomenologicznymi), jest symetryczna. Założenia liniowych związków między przepływami i bodźcami i założenie symetrii macierzy współczynników fenomenologicznych w tych związkach pozwoliło na uwzględnienie związków między pokrewnymi zjawiskami (czyli tzw. efektów krzyżowych) i otworzyły drogę do zastosowań praktycznych, przez co spowodowało szersze zainteresowanie teorią procesów nieodwracalnych.

Teoria Onsagera bada materiały, których własności stosują się do założenia równowagi lokalnej. Oznacza to, że lokalne i zachodzące w tej samej chwili związki pomiędzy własnościami cieplnymi i mechanicznymi materiału są takie same, jak dla jednorodnego układu znajdującego się w równowadze. Teoria ta opisuje przeto procesy niezbyt odległe od procesów quasistatystycznych. Prace Onsagera, Prigogine'a i jego szkoły, de Groota, i innych, wykonywane od lat czterdziestych, doprowadziły ich autorów do sformułowania zasad wariacyjnych, z których wynikała liniowa termodynamika procesów nieodwracalnych. Uogólnieniem tych wyników (również w zakresie teorii liniowej), były sformułowane pod koniec lat sześćdziesiątych zasady wariacyjne Gyarmatiego i Vojty⁴¹.

Głównym powodem niezrozumienia prac Natansona z dziedziny termodynamiki procesów nieodwracalnych była ich ogólność. Teoria liniowa Onsagera tkwi w pracach Natansona jako pierwsze przybliżenie z wyjątkiem jednego podstawowego punktu: Natanson, chociaż wspominał o liniowym przybliżeniu związków między bodźcami a przepływami, nie zauważył efektów krzyżowych, nie mógł więc sformułować w liniowym przybliżeniu swojej zasady wariacyjnej założenia symetrii współczynników fenomenologicznych, istotnej dla zastosowań teorii do konkretnych zjawisk.

Zasadę Natansona można stosować też do procesów, w których zależności między bodźcami a przepływami mają charakter nieliniowy, na przykład do zjawisk termoplastycznych lub reakcji chemicznych, odbywających się w warunkach dalekich od równowagi.

Dalszy rozwój termodynamiki, począwszy od lat sześćdziesiątych, poszedł w kierunku badania procesów nieodwracalnych, odbywających się daleko od stanów równowagi. Główną rolę odegrały tu dwa podejścia, nazwane termodynamiką racjonalną (Rational Thermodynamics, RT) oraz rozszerzoną termodynamiką procesów nieodwracalnych (Extended Irreversible Thermodynamics, EIT).

W termodynamice racjonalnej; sformułowanej przez Truesdella, Colemana i Nolla w połowie lat sześćdziesiątych, stan układu fizycznego w danej chwili opisany jest za pomocą parametrów termodynamicznych, zależnych zarówno od chwili t , jak i od historii układu. Temperatura i entropia przyjmowane są jako pojęcia zasadnicze, bez nadania im precyzyjnej interpretacji fizycznej. Włączenie historii układu do równań teorii komplikuje jej postać matematyczną. Zaawansowane metody matematyczne stosowane w termodynamice racjonalnej zdobyły jej uznanie wśród matematyków, natomiast fizycy i chemicy widzieli jej wady, spowodowane nie całkiem precyzyjnym sformułowaniem jej interpretacji fizycznej⁴².

Te wady termodynamiki racjonalnej i dążność do stworzenia teorii nie opartej na zasadzie lokalnej równowagi (jak termodynamika Onsagera) oraz nie dopuszczającej możliwości nieskończonego szybkiego rozchodzenia się zaburzeń doprowadziła do powstania pod koniec lat sześćdziesiątych i rozwinięcia się przez następne dziesięciolecia podejścia do termodynamiki, zwanego rozszerzoną termodynamiką nieodwracalną (EIT). Sformułowali ją i rozwijali J. Müller, G. Lebon, Garcia Colin, D. Jon, J. Casas-Vázquez i inni⁴³. Ta termodynamika opierała się na następujących zasadach:

1. Niezależne zmienne termodynamiczne i zmienne hydrodynamiczne dzielą się na dwa zbiory. Pierwszy zbiór jest wzięty z termodynamiki klasycznej, zmienne tego zbioru spełniają prawa zachowania; drugi zbiór składa się z przepływów podlegających dyssypacji, równania opisujące ewolucję układu zależą od obu zbiorów zmiennych.
2. Równania opisujące ewolucję układu są równaniami różniczkowymi pierwszego rzędu względem czasu (wyrażają tzw. słabą nielokalność w czasie).
3. Addytywna entropia (będąca funkcją współrzędnych i czasu) powinna mieć minimum określające równowagę trwałą. Źródło entropii powinno być dodatnie.

Podział zmiennych termodynamicznych w rozszerzonej termodynamice odpowiada przyjętemu w pracy z 1896 podziałowi Natansona na zjawiska odwracalne i nieodwracalne, biorące udział w procesie termodynamicznym. Równania róż-

niczkowe opisujące procesy są w obu teoriach równaniami pierwszego rzędu względem czasu, źródło entropii w obu procesach powinno być dodatnie.

Zarówno Natanson jak i twórcy rozszerzonej termodynamiki przyjmują w zastosowaniach do hydrodynamiki jako podstawę równanie transportu Maxwella z 1867 r.⁴⁴ Równania obu teorii są równaniami różniczkowymi pierwszego rzędu względem czasu. Twórcy termodynamiki rozszerzonej budowali ją niezależnie od Natansona i w swoich publikacjach nie powoływali się na jego prace. W tym znaczeniu można powiedzieć, że Natanson wyprzedził rozwój termodynamiki procesów nieodwracalnych o około 100 lat. J. Badur i J. Mikielewicz⁴⁵, którzy analizowali bilanse przepływów wielkości termodynamicznych i mechanicznych w teorii Natansona, uważają, że prace Natansona zawierają jeszcze wiele niezinterpretowanych elementów i ich pełna analiza jest wciąż godna uwagi.

Rzeczony rozwój termodynamiki procesów nieodwracalnych doprowadził przeto pod koniec XX wieku do sformułowania i rozwinięcia teorii na tych zasadach, które przed około stu laty Natanson przyjął jako podstawę swojej termodynamiki zjawisk nieodwracalnych.

Według K. Gumińskiego⁴⁶:

„zasada Natansona wyprzedziła rozwój nauki tak znacznie, że jeszcze dziś właściwe jej znaczenie musi być niedoceniane. Być może, że podobnie, jak to było z zasadami Fermata i Maupertuis, głębszy jej sens objawi się niespodziewanie, tak jak się stało z tamtymi w hipotezie de Broglie'a.”

STATYSTYKA KWANTÓW ŚWIATŁA

Studia w dziedzinie termodynamiki płynów lepkich doprowadziły Natansona do zagadnień optyki. Najpierw chodziło o własności optyczne poruszających się cieczy lepkich. Później, będąc pod wrażeniem sukcesów teorii elektronów Larmora i Lorentza, Natanson stosował przez długie lata tę teorię do badań własności optycznych gazów i do teorii promieniowania. Zajmował się przechodzeniem spolaryzowanej liniowo lub kołowo fali elektromagnetycznej przez warstwę gazu optycznie obojętnego i optycznie czynnego w polu elektrycznym lub magnetycznym. Otrzymał wyjaśnienie różnych efektów optycznych. Najbardziej znany jego wynik w tej dziedzinie nosi nazwę „reguły Drudego-Natansona”⁴⁷. Miarą zainteresowania Natansona zagadnieniami optyki jest fakt, że pierwsza z jego prac optycznych ukazała się w 1907 r., ostatnia w 1926 r.

W 1911 r. Natanson skierował swoje zainteresowania ku teorii promieniowania. Ogłoszona przez niego w owym roku publikacja *O statystycznej teorii promieniowania*⁴⁸ jest jedną z najważniejszych jego prac. W niej, podobnie jak w pracach w dziedzinie termodynamiki, Natanson wyprzedził swoją epokę. We wspomnianej pracy została po raz pierwszy sformułowana statystyka kwantowa. Zagadnieniem wprowadzenia z mechaniki statystycznej rozkładu energetycznego

promieniowania doskonale czarnego, opisanego prawem Plancka⁴⁹ zajmował się sam Planck i oprócz niego Einstein, Larmor, Debye, Lorentz, Rayleigh i Jeans. Natanson przyjął za Planckiem i Einsteinem, że energia układu fizycznego składa się z niepodzielnych jednostek energii, które nazwał „jednostkami materialnymi”. Natanson jako pierwszy założył, że jednostki materialne o tej samej energii są obiektami nierozróżnialnymi („undistinguishable”, „unterschiedlos”) między sobą. Rozkład energetyczny obiektów nierozróżnialnych różni się zasadniczo od rozkładu energetycznego zbioru obiektów rozróżnialnych, takich jak na przykład molekuly rozważane w klasycznej teorii kinetycznej gazów.

Natanson rozważał dyskretne widmo energetyczne jednostek materialnych przyjmując, że w stanie energii ϵ_k ($k = 1, 2, \dots$) znajduje się n_k nierozróżnialnych między sobą jednostek materialnych. Różne rozkłady energetyczne (czyli zależność liczb n_k od wartości energii ϵ_k) są realizowane z różnymi prawdopodobieństwami. Stan równowagi jest oczywiście stanem najbardziej prawdopodobnym. Natanson wyznaczył rozkład energetyczny jednostek materialnych dla stanu równowagi. Rozkład ten sprowadza się dla stanów o małej liczbie jednostek materialnych, przypadających na stan energetyczny do rozkładu, mającego kształt prawa Plancka, a w przypadku dużej ich liczby do klasycznego rozkładu Maxwella.

Natanson nie wiązał jeszcze energii „jednostki materialnej” promieniowania (fotonu) z jego częstotliwością. Uczynił to w rok później w wydanej w języku polskim monografii *Zasady teorii promieniowania*⁵⁰. Założył tam za Planckiem, że poziomy energetyczne ϵ_k są wartościami energii skwantowanego oscylatora harmonicznego, oraz że energia ϵ jest związana z częstotliwością ν fotonu wzorem $\epsilon = h\nu$ (gdzie h jest stałą Plancka). Otrzymał on rozkład energetyczny liczby fotonów, równanie tożsame z prawem Plancka.

Metodę swojej pracy o statystycznej teorii promieniowania Natanson zastosował w 1911 r. w pracy *O zawartości energii w ciałach materialnych*⁵¹ do obliczenia energii ciała stałego. Przedstawił, podobnie jak przedtem Einstein, ciało stałe jako układ skwantowanych oscylatorów o różnych częstotliwościach i otrzymał na energię ciała stałego wzór tego samego kształtu jak Einstein we wspomnianej przed chwilą teorii ciepła właściwego ciał stałych.

Praca Natansona o statystyce kwantów światła pozostała przez kilkanaście lat niedoceniona. Rozkład energetyczny liczby fotonów otrzymał niezależnie od Natansona dopiero trzynaście lat później fizyk hinduski N.S. Bose⁵². Bose założył, tak jak Natanson, nierozróżnialność fotonów oraz przyjął hipotezę Plancka o poziomach energetycznych układu fotonów w równoważnej postaci, przypisując każdej komórce przestrzeni pędów o objętości h^3 dwa (ze względu na dwie polaryzacje) stany pędu fotonu. Z założeń tych otrzymał prawo Plancka. Sformułowaną przez Bosego statystykę zastosował do ciała stałego Einstein. Statystykę tę nazwano statystyką Bosego-Einsteina.

Fakt niedoceny pracy Natansona o statystycznej teorii promieniowania wynikał przede wszystkim stąd, że teoria ta, zawierając nową i nieprzewidywaną

dotąd zasadę nierozróżnialności obiektów mikroskopowych („jednostek materialnych”), napisana była w formie trudnej do zrozumienia. Niemniej jednak historyk nauki Armin Hermann uważa⁵³, że Natanson znalazł się obok Maxa Plancka, Alberta Einsteina i Paula Ehrenfesta wśród pierwszych uczonych, tworzących podstawy statystyk kwantowych i zasługi jego nie zostały jeszcze należycie docenione przez historyków fizyki.

MECHANIKA KWANTOWA A ZASADA FERMATA

Natanson zajmował krytyczne stanowisko wobec starej teorii kwantów. Świadczy o tym fragment jego listu z dnia 29 stycznia 1918 do Wojciecha Rubinowicza (cytowany przez R.S. Ingardena⁵⁴). Natanson pisał:

„Czy Laplace, Fourier, Ampère budowali w ten sposób [jak stara teoria kwantów] swoje teorie? Wyznaję, że pomimo wielkiej czci dla Plancka, Einsteina, Ehrenfesta, Sommerfelda etc., etc. byłbym bardzo szczęśliwy, gdyby pewnego dnia „quanta” całkowicie z fizyki znikły. Zapewne ci panowie byliby również zadowoleni.”

Do tych słów Ingarden dodaje uwagę:

„Na obronę Natansona trzeba powiedzieć, że przecież „stara teoria kwantów” nie była jeszcze „teorią” w matematycznym sensie tego słowa, opierała się bowiem na sprzecznych założeniach, dopiero „nowsza teoria kwantów” jest w tym sensie teorią. Natanson miał tu więc niewątpliwie dobre wyczucie matematyczne, Sommerfeld jednak, mimo że profesjonalny matematyk, miał silniejsze wyczucie fizyczne, gdy – w pewnym sensie wbrew matematyce – zawierzył ideom Plancka, Einsteina i Bohra.”

Natanson zaakceptował natomiast mechanikę kwantową. W swojej monografii pt. *Pierwsze zasady mechaniki undulacyjnej*⁵⁵ napisał o mechanice kwantowej w 1930 r.:

„Plancka założenie *quantowe* jest wielkiej wagi zwrotem w dziejach naukowego myślenia; jest pierwszym stwierdzeniem *nieciągłości* w ilościowych pojęciach, nieodzownych w opisie zjawisk Natury. Wyniki doświadczenia są wprawdzie zawsze nieciągłe; ciągłość, którą posługujemy się w rozumowaniach, jest pozadoświadczalną i ponadempiryczną fikcją. Ale Newton przypuścił, że z rosnącą precyzją badania, zbliżamy się nieograniczenie do związków pomiędzy wielkościami ciągłymi, że, w tem dążeniu do granicy, nie uderzamy nigdzie o sprzeczność z faktami; Planck założył, przeciwnie, że czeka nas tutaj zaporą, barjerą, którą symbolizuje „*h*”. Jesteśmy zatem zmuszeni do zejścia z dotychczasowych torów ilościowego myślenia; w świątyniach, w szczerych metodach postępowania, wskazujących dziś przez Heisenberga, przez Diraca i innych badaczy, oglądamy następstwa, nieuchronnie płynące z Plancka założeń. Za przewodem Diraca,

zapewne po raz pierwszy w Analizie Natury, doprowadzeni zostaliśmy w Fizyce do nowego gatunku pojęć, do pojęć nie podpadających pod pomiar; ale łącząc ze sobą takie nieobliczalne pojęcia, Dirac umie powracać do związków ilościowych, do ilościowych twierdzeń, bez których nauka przestaje być użyteczna. Systemat Diraca ogranicza rolę, obniża w nauce cenę ilościowego myślenia, w opisie świata wyznacza mu rangę pośrednią, nieomal podrzędną; otwierając przecież nieogarniony widnokrąg, czaruje nas śmiałością niebywałego polotu... Teoria stworzona przez de Broglie'a, przez Schrödingera rozwinięta i udoskonalona, jest *quantowo* pogłębionym i wzbogaconym układem dynamiki Newtona, Lagrange'a i Hamiltona. Leży w niej postęp niezmierny, nieobliczalna zapowiedź; niewątpliwie dzieło geniuszu."

Natanson widział jednak niedoskonałości i zupełność mechaniki kwantowej:

„Ale dynamika, mimo jej nadzwyczajną głębokość, jest przecież doktryną dość szczupłą. Siły nieskończenie szybko przeskakują w niej przestrzeń, szybkość roznoszenia się wpływów jest w niej nieskończona. Wyobraźmy sobie układ punktów, obdarzonych *elektrycznymi ładunkami*, ruch takich punktów nie podpada pod prawa Lagrange'a i Hamiltona. Zjawiska *dysypacyjne* są wyłączone z pod panowania klasycznej dynamiki. Dzieło Maxwella, dzieło Fouriera, jeszcze nie jest wcielone do układu właściwej, skoordynowanej już Fizyki. Niema wzmianki o h w teorii zjawisk grawitacyjnych, ani w teorii Newtona ani w teorii Einsteina. Na oceanach niepojmowania dostrzegamy nietylko drobne lecz niespójne wysepki sformułowanej już wiedzy."

Natansona interesowała przede wszystkim strona falowa mechaniki kwantowej. Świadczy o tym nazwa „mechanika undulacyjna” (czyli falowa), którą nadał mechanice kwantowej. Fale de Broglie'a nazwał „protofalami”. Badając aspekt falowy mechaniki kwantowej Natanson obrał oryginalną drogę, zajmując się związkiem uogólnionej przez siebie zasady wariacyjnej Fermata optyki geometrycznej z mechaniką klasyczną i kwantową. Wyniki kilku prac zebrał we wspomnianych *Pierwszych zasadach* i w pracy o zasadzie Fermata⁵⁶.

ZAKOŃCZENIE

Swój bogaty i uznany na świecie dorobek naukowy Natanson ocenił bardzo skromnie. W liście z dnia 9 lutego 1935 r. do Arkadiusza Piekary napisał⁵⁷:

„Usiłowałem być pożyteczny, pragnąłem społeczeństwu przydać się, pomóc. Bardzo małe są widoki, które umiałem pokazać współczesnemu mi pokoleniu. Nie potrafiłem pogłębić się, skupić, wyrzec się w życiu mnóstwa rzeczy. Ale pragnąłbym, gdy mnie już nie będzie, gdy przeminie ślad mego

istnienia, pragnąłbym, by ktoś o mnie pomyślał: ten człowiek miał wzrok skupiony ku horyzontom dalekim.”

Przypisy

Oznaczenia

BIAC – „Bulletin International de l'Academie de Cracovie”, Classe math. et nat. Serie A.

RWMP – „Rozprawy Wydziału Mat.-Przyr. Akademii Umiejętności”

ZpCh – „Zeitschrift für physikalische Chemie”

ZfP – „Zeitschrift für Physik”

Uwaga

Władysław Natanson zwykle publikował prace naukowe w języku polskim w wydawnictwach Akademii Umiejętności i również te same prace w czasopismach zagranicznych w językach obcych. W przypisach podajemy tytuły prac w języku polskim (jeżeli nie podano ich w tekście) i w ogólnie dostępnym czasopiśmie w jednym z języków obcych.

¹ J. Weysenhoff: *Władysław Natanson*. „Acta Physica Polonica” 1937 t. 6 s. 295–302; L. Klecki: *Władysław Natanson*. „Wiadomości Matematyczne” 1938 t. 45 s. 77–95; T. Piech, J. Hulewicz: *Natanson Wojciech* [w:] *Polski Słownik Biograficzny* 1977 t. 22 s. 611; B. Średniawa: *History of Theoretical Physics at Jagellonian University in XIXth and in the First Half of XXth Century*. „Zeszyty Naukowe U.J. Prace Fizyczne” 1985 t. 24 s. 1–238. Zob. Chs. 3–5.

² W. Natanson: *Autobiografia*. „Postępy Fizyki” 1958 t. 9 s. 115–119.

³ J. Weysenhoff, dz.cyt.

⁴ Kompletny spis prac W. Natansona zobacz J. Weysenhoff, dz.cyt. i B. Średniawa, dz.cyt.

⁵ W. Natanson: *Autobiografia*.

⁶ L. Infeld: *Moje wspomnienia o Einsteinie*. Warszawa 1956 „Iskry” 149 s. (cyt. s. 7).

⁷ L. Infeld: *Szkice z przeszłości*. Warszawa 1964 PIW 299 s. (cyt. s. 33).

⁸ W. Natanson: *Wspomnienia i szkice*. Kraków 1977 Wyd. Lit. 439 s. (cyt. s. 10).

⁹ A. Piekara: *Nowe oblicze optyki*. Warszawa 1964 PWN 112 s.

¹⁰ W. Natanson: *Wspomnienia*, (cyt. s. 18).

¹¹ „Kosmos” 1988 t. 13 s. 58–63, 150–175.

¹² „Prace Matematyczno-Fizyczne” 1888 t. 1 s. 26–45.

¹³ Tamże t. 1 s. 46–52.

¹⁴ „Kosmos” 1888 t. 13 s. 222–232.

¹⁵ Tamże t. 13 s. 301–307.

¹⁶ W. Natanson: *O teoriach materii*. W: W. Natanson: *Oblicze natury*. Kraków 1924 Krak. Spółka Wyd. s. 321.

¹⁷ „RWMP” 1893 t. 24 s. 137–151; *Über thermodynamische Potentiale*. „ZpCh” 1892 t. 10 s. 733–747.

¹⁸ P. D u h e m : *Traité d'énergetique et de thermodynamique générale*. Paris 1911 Gauthier-Villars (cyt. Rozdz. 10).

¹⁹ „Nauka Polska” 1966 t. 14 s. 729–753.

²⁰ „RWMP” 1894 t. 29 s. 171–180; *Über die kinetische Bedeutung der Dissipationsfunktion*. „ZpCh” 1894 t. 13 s. 437–444; (Pełne teksty prac wymienionych w przypisach 22, 24 i 28 z komentarzami znajdują się w monografii: *Wkład polskich uczonych do fizyki statystyczno-molekularnej*. Red. T. Piech. Wrocław 1962 Ossolineum.

²¹ „RWMP” 1895 t. 27 s. 233–278; *Über die kinetische Energie der Bewegung der Wärme und die entsprechende Dissipationsfunktion*. „ZpCh” 1895 t. 16 s. 289–302.

²² „RWMP” 1896 t. 30 s. 309–336; *Über die Gesetze nicht umkehrbarer Vorgänge*. „ZpCh” 1896 t. 21 s. 193–217.

²³ K. G u m i ń s k i : *Termodynamika procesów niedwracalnych*. Warszawa 1983 PWN 182 s. (zobacz rozdziały 4 i 5).

²⁴ M. K o k o w s k i : *Geneza sytuacji problemowej zaistniałej w teorii zjawisk cieplnych przed sformułowaniem zasady termokinetycznej Natansona*. Cz. I: *Sformułowanie dwóch zasad termodynamiki i wynikające stąd konsekwencje dla nauki o zjawiskach cieplnych*. „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 1993 t. 38 nr 4 s. 42–69, Cz. II: *Poszukiwanie mechanicznych i fenomenologicznych zjawisk, poprzedzające pracę Natansona*. Tamże 1994 t. 39 nr 1 s. 21–41.

²⁵ „RWMP” 1897 t. 34 s. 67–80; *Über thermokinetische Eigenschaften thermodynamischer Potentiale*. „ZpCh” 1897 t. 24 s. 302–314.

²⁶ „RWMP” 1898 t. 35 s. 220–246; *Über die Zustandsgleichungen in einem in Bewegung begriffenem System*. „ZpCh” 1897 t. 26 s. 285–305.

²⁷ „RWMP” 1898 t. 35 s. 220–246; *Über die kinetischen Eigenschaften der Lösungen*. „ZpCh” 1899 t. 30 s. 681–704.

²⁸ B. Ś r e d n i a w a , dz.cyt. s. 221–222.

²⁹ „RWMP” 1901 t. 41 s. 223–240; *Über die Gesetze der inneren Reibung*. „ZpCh” 1901 t. 38 s. 640–704.

³⁰ W. N a t a n s o n : *Inercja i koercja; dwa ogólne pojęcia w teorii zjawisk fizycznych*. „Oblicze Natury” s. 35–50.

³¹ „RWMP” 1901 t. 41 s. 447–461; *Sur les lois de diffusion*. „BIAC” 1901 s. 335–348.

³² Warszawa 1890 Wyd. Prac. Mat.-Fiz. XII + 459 s. Zobacz s. 227.

³³ W. N a t a n s o n : *O prawach zjawisk dyfuzyjnych*, „RWMP” 1901 s. 447–461.

³⁴ J.C. M a x w e l l : „Phil. Trans.” 1876 t. 157 s. 22; W. N a t a n s o n , j.w.

³⁵ B. Ś r e d n i a w a , dz.cyt. s. 69, 222; J. S z a r s k i : *Stanisław Zaremba*. „Wiadomości Matematyczne” 1962 t. 5 s. 15–28; J. B a d u r , J. M i k i e l e w i c z : *Władysław Natanson, prekursor rozszerzonej termodynamiki*. „Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery” 1996 z. 100 s. 178–193.

³⁶ „RWMP” 1903 t. 43 s. 14–21.

³⁷ B. Ś r e d n i a w a , dz.cyt. s. 222–223.

³⁸ Tamże s. 70.

³⁹ „RWMP” 1904 t. 44 s. 133–143; *Remarques sur les travaux de M. Zaremba relatifs a la théorie de la double réfraction accidentelle dans les liquides.* „BIAC” 1904 s. 103–113.

⁴⁰ L. Onsager: *Reciprocal relations in irreversible processes I.* „Phys. Rev.” 1931 t. 37 s. 405–426, tamże t. 38 s. 2265–2279.

⁴¹ K. Gumiński: *On the Natanson principle of irreversible processes.* „Acta Physica Polonica” 1980 t. A58 s. 501–507.

⁴² K. Wilmański: *Podstawy termodynamiki fenomenologicznej.* Warszawa 1974 PWN, zobacz rozdziały 4–6; C. Truesdell: *Rational Thermodynamics.* Berlin 1988 Springer.

⁴³ G. Lebon, J. Casas-Vázquez: *Towards a thermodynamic theory of the third type.* W: *Thermodynamics and Philosophy.* Red. K. Martinas, R. Ropolyi, P. Szegedi. Singapore 1991 „World Scientific”, zobacz s. 317–328; D. Jou, J. Casasaas-Vázquez, G. Lebon: *Extended irreversible thermodynamics.* „Progress of Theoretical Physics” 1988 t. 51 s. 1105–1179.

⁴⁴ J.C. Maxwell, dz.cyt.

⁴⁵ J. Badur, J. Mikielewicz, dz.cyt. s. 189.

⁴⁶ K. Gumiński, *O pracach termodynamicznych...*, s. 132.

⁴⁷ W. Natanson: *Studia nad teorią elektromagnetyczną dyspersji i ekstynkcji w ciałach gazowych.* „BIAP” 1907 s. 318–354; *Beitrag zur elektromagnetischen Theorie der Extinction und Dispersion im gasförmigen Stoffen.* „ZfP” 1907 t. 61 s. 321–355; J. Weyssenhoff, dz.cyt.; B. Średniawa, dz.cyt. s. 72.

⁴⁸ *On the statistical theory of radiation.* „BIAC” 1911 s. 134–148; *Über die statistische Theorie der Strahlung.* „Physikalische Zeitschrift” 1911 t. 12 s. 659–666.

⁴⁹ M. Planck: *Über irreversible Strahlungsvorgänge.* „Annalen der Physik” 1900 t. 1 s. 61–122; *Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum.* Tamże 1901 t. 4 s. 553–566.

⁵⁰ W. Natanson: *Zasady teorii promieniowania.* Wyd. Prac Matematyczno-Fizycznych. Warszawa 1912, 88 s.

⁵¹ „BIAC” 1911 s. 95–103.

⁵² S.N. Bose: *Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese.* „ZfP” 1924 t. 26 s. 178–181.

⁵³ A. Hermann: *The Genesis of Quantum Theory (1894–1928).* Cambridge Mass. 1971, zobacz s. 141.

⁵⁴ R.S. Ingarden: *Fizyka i fizycy.* Toruń 1994 Wyd. Uniw. M. Kopernika, zobacz s. 181.

⁵⁵ W. Natanson: *Pierwsze zasady mechaniki undulacyjnej.* „Prace Mat.-Fiz.” 1930 t. 37 s. 1–76, zobacz s. 5.

⁵⁶ *Fermat’s principle.* „Phil. Mag.” 1933 t. 16 s. 178–192.

⁵⁷ W. Natanson: *Wspomnienia...*, s. 15.

Bronisław Średniawa

WŁADYSŁAW NATANSON (1864–1937),
THE PHYSICIST WHO WAS AHEAD OF HIS EPOCH

Władysław Natanson was in the years 1891–1894 privatdozent, and in the years 1894–1935 professor of theoretical physics at Jagellonian University in Cracow. His main domains of research were: the thermodynamics of irreversible processes, theory of radiation and molecular optics. His results in thermodynamics and in the statistics of indistinguishable processes went some decades ahead of the investigations of the physicists of his time. In molecular optics he obtained important results, appreciated by his contemporaries.

Before his habilitation he was busy in the kinetic theory of gases. He studied the problem of the state of the gas tending to the state of equilibrium and to Maxwell distribution of velocities of molecules.

During the last decade of the 19th century Natanson was busy in thermodynamical research. His work in this domain can be divided into three groups. The first one consisted in the collaboration with Cracow experimentalists, who worked in low temperature physics; in the second one Natanson developed research in classical thermodynamics. The third group of his investigations in thermodynamics was the most important one. In the paper *On the laws of irreversible processes* he formulated in 1896 the variational principle (called by him the thermokinetic principle), which described mechanical and thermal processes. The Lagrangian of this principle was composed of mechanical Lagrangian, of the increase of internal energy and of the absorbed heat. According to Natanson both reversible and irreversible changes participate in thermodynamical processes. Accordingly, the absorbed heat is the sum of the „compensated” heat (exchanged in reversible process) and of the „non-compensated” heat (exchanged in irreversible processes). The non-compensated heat exchange is connected with the existence of its cause, which was later called entropy source.

In many papers Natanson applied his principle to thermodynamic processes and then to the hydrodynamics of viscous fluids.

Natanson’s thermokinetic principle was, because of its generality, not understood by his contemporaries. The development of the thermodynamics of irreversible processes was initiated in the third decade of 20th century by the „linear” theory of Onsager, formulated independently of Natanson’s research. Onsager’s theory, called later „Classical irreversible thermodynamics” (CIT), was less general than Natanson’s principle but it was better adapted to applications to thermodynamic processes. In the sixties and seventies two new approaches to the thermodynamics of irreversible processes were formulated: „Rational thermodynamics” (RT) and „Extended irreversible thermodynamics” (EIT). This last approach was based (of course in modern mathematical and physical language) on very

similar assumptions to Natanson's theory. In this sense we can say that Natanson's thought was about one hundred years ahead of the thermodynamics of his time.

In 1911 Natanson formulated, in his paper *On statistical theory of radiation*, the statistics of the ensemble of indistinguishable particles. He found the function of energy partition, which for photons gave Planck's law and for solid bodies – the partition function of Einstein. This paper was also not understood by contemporaries and the partition function for indistinguishable objects was independently discovered by S.N. Bose in 1924 and then developed by Einstein. In this domain Natanson was also several years ahead of the physics of his time.