Szumilewicz, Irena

Postulat mikroredukcji od Lukrecjusza do Boltzmanna i Brillouina

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 14/1, 15-29

1969

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.

Irena Szumilewicz

POSTULAT MIKROREDUKCJI OD LUKRECJUSZA DO BOLTZMANNA I BRILLOUINA

Postulat mikroredukcji, stanowiący uznaną i szeroko stosowaną w nauce dyrektywę, jest podobnie jak większość reguł metodologicznych przyjmowany na ogół bez uzasadnienia. W epoce jednak, która żąda od nauki nie tylko efektywności, ale i samowiedzy, taki status dyrektyw metodologicznych, składających się na taktykę i strategię uczonych, budzi niepokój.

Czy dyrektywy metodologiczne w naukach przyrodniczych dadzą się usprawiedliwić bez przyjęcia metanaukowych założeń? Jaki jest status logiczny procedury stosowanej w nauce? Na czym polega różnica między regułami logicznymi a metodologicznymi? Oto kilka spośród wielu pytań, które nasuwają się w związku z analizą postulatu mikroredukcji.

Jak postaramy się wykazać, istnieje związek między problemem usprawiedliwienia indukcji a niektórymi regułami metodologicznymi, stosowanymi na gruncie nauk empirycznych.

Usprawiedliwienie indukcji, stopień pewności twierdzeń nauk doświadczalnych przyciągały od wieków uwagę myślicieli i uczonych. Jeżeli bowiem eksperyment i obserwacja stanowią podstawę nauk empirycznych, to powstaje pytanie, jak przejść od zdań jednostkowych, opisujących doświadczenie, do uogólnień, do zdań uniwersalnych właściwych, tj. do postaci, w której nauka formułuje swe prawa i teorie.

Przez usprawiedliwienie indukcji rozumie się dziś zazwyczaj problem wartości indukcji jako sposobu uwiarygodniania sądów. Przy żadnym bowiem sposobie precyzacji reguł (kanonów) indukcji nie daje się ona usprawiedliwić tak, aby stać się rozumowaniem niezawodnym. Uznanie przesłanek nie obliguje tu logicznie do uznania wniosku. W innym zaś, szczególnie istotnym dla nas sformułowaniu, oznacza to, że żadne nagromadzenie sądów jednostkowych nie prowadzi — na gruncie empirycznej metodologii — do wyróżnienia pewnego sądu ogólnego jako jedynego dającego się racjonalnie uznać za indukcyjny wniosek z doświadczalnych przesłanek.

Wbrew temu, co sądzili wulgarni empiryści, rozwój nauki empirycznej nie polega na gromadzeniu „faktów", które rzekomo same narzucają się uczonemu jako określone, wyodrębnione fakty o takich a takich cechach. W tej sytuacji staje się jasna ogromna rola, jaką odgrywają postulaty heurystyczne, służące przedwstępnemu wartościowaniu teorii, takie m.in. jak postulat mikroredukcji i postulat prostoty; jaką zatem w rozwijaniu nauki odgrywają akceptowane przez uczonego, *implicite* lub *explicite*, nastawienia badawcze, program heurystyczny, aparatura pojęciowa,

wstępne presumpcje, predylekcje do teorii o określonych walorach formalnych.

Odróżnienie uogólnień naukowych od nie uzasadnionych spekulacji — oto najgłębszy sens problemu usprawiedliwienia indukcji, który w czasach nowożytnych został wysunięty przez Hume'a.

Dziś wiemy dobrze, iż indukcji nie da się usprawiedliwić w sposób ściśle logiczny, że w naukach empirycznych musimy posługiwać się zawodnymi sposobami rozumowania. O żadnym twierdzeniu empirycznym nie można bowiem orzec w sposób pewny, iż jest ono prawdziwe. Elementy ryzyka i fantazji nie dadzą się więc usunąć z nauk doświadczalnych. Przeprowadzenie zaś absolutnej cezury między nauką a metafizyką jest nie tylko nierealne, ale, co gorsza, mogłoby przynieść nauce niepowetowane straty. Na pewnym konkretnym etapie rozwoju każda nauka doświadczalna musi zatem zadowolić się prawdopodobieństwem, dając nam tylko prawdę względną. Czyni to z nauki pasjonującą przygodę intelektualną, fascynującą tych, którzy poświęcają się badaniom naukowym.

Problem usprawiedliwienia indukcji, tj. problem relacji między teorią a doświadczeniem, wiąże się ściśle z logiczną analizą podstawowych funkcji nauki: przewidywania, wyjaśniania i sprawdzania. Analiza nauki wykazuje przy tym w sposób niezbity, iż zarówno prognoza, jak wyjaśnianie i sprawdzanie mają w naukach doświadczalnych charakter probabilistyczny.

Przejście od doświadczenia do teorii lub od teorii do doświadczenia jest zawsze niepewne. Dlatego też zjawiają się próby znalezienia możliwie mało ryzykownej drogi przejścia, tj. najróżniejsze postulaty metodologiczne. W zależności zaś od tego, czy w grę wchodzi wyjaśnianie i przewidywanie, czy też sprawdzanie, mamy do czynienia np. z postulatem prostoty lub z dyrektywami mikroredukcji bądź makroredukcji.

Postulaty te różnią się — moim zdaniem — w sposób zasadniczy od reguł logicznych i nie dadzą się usprawiedliwić wyłącznie na drodze logicznej; przypominają one raczej praktyczne wskazówki doświadczonego człowieka niż reguły logiczne. Podobnie jak takie wskazówki, mogą one okazać się bardzo użyteczne, ale niekiedy korzystniejsze jest postępowanie z nimi sprzeczne.

Zgodny z dyrektywą metodologiczną lub sprzeczny z nią wybór najkorzystniejszej drogi do sformułowania hipotezy — to kwestia, w pewnym przynajmniej sensie, decyzji arbitralnej. Nie oznacza to, iż akceptacja takiego czy innego uogólnienia jest kwestią konwencji. Gdy podejmujemy decyzję i formułujemy prawo czy teorię, poddajemy je możliwie najsurowszej krytyce nowych doświadczeń i pytamy, czy wraz z pozostałą nauką dają spójny obraz świata. Arbitralny zaś charakter decyzji odnosi się raczej do wyboru drogi aniżeli do ostatecznego wyniku pracy poznawczej.

Te ogólne zagadnienia wykraczają poza ramy niniejszego artykułu, którego celem natomiast jest wykazanie, że postulatu mikroredukcji (podobnie jak innych dyrektyw metodologicznych) nie da się usprawiedliwić jedynie w oparciu o logikę. Niezrozumienie tego faktu przez klasyczny mikroredukcjonizm wynikało z jego jednostronności i niedostatecznej „samoświadomości metodologicznej". Artykuł ma też wykazać, że redukcja nie prowadzi na ogół do wyeliminowania z nauki teorii redukowanej, lecz tylko do ograniczenia zakresu jej stosowalności.

USTALENIA TERMINOLOGICZNE

Redukcja teorii (lub prawa) T_1 do teorii (lub prawa) T_2 polega na wykazaniu, że twierdzenia teorii T_1 stanowią następstwo, dla którego racją (chociaż nie zawsze jedyną) są twierdzenia teorii T_2.

Przykładem zastosowania tej metody w XVII w. było wykazanie, że — w określonych warunkach początkowych i brzegowych — prawa Keplera stanowią następstwo praw Newtona. Podobnie można powiedzieć, że mechanika klasyczna została (z pewnymi zastrzeżeniami) zredukowana do teorii względności: w określonych warunkach (przy prędkości znacznie mniejszej od prędkości światła w próżni) twierdzenia mechaniki klasycznej, które sprawdzają się w granicach błędu doświadczalnego, można uważać za konsekwencję twierdzeń teorii względności.

Niekiedy redukcję rozumie się w sposób bardziej swobodny: teoria T_1 zostaje zredukowana w tym ujęciu do teorii T_2, gdy dla obu znajdujemy wspólny model. Tak np. wspólnym modelem dla prawa powszechnego ciążenia i prawa elektrostatyki Coulomba jest pewien formalizm matematyczny:

$$k\frac{a_1 a_2}{r^2} = f.$$

Jeżeli przez a_1 i a_2 oznaczymy masy dwóch ciał znajdujące się w odległości r, przez k zaś współczynnik proporcjonalności, to f oznaczać będzie siłę przyciągania między tymi masami. Jeśli natomiast a_1 i a_2 będą dwoma punktowymi ładunkami znajdującymi się w odległości r, k zaś pozostanie współczynnikiem proporcjonalności, to f oznaczać będzie siłę wzajemnego oddziaływania między tymi ładunkami.

Wyjaśnianie i przewidywanie na podstawie wspólnego modelu odbywa się drogą wnioskowania przez analogię. Poszczególne terminy teorii zostają tu powiązane z modelem definicjami przyporządkowującymi, inna zaś grupa definicji ustala związek między terminami teorii a danymi doświadczenia. (Nie wymaga się przy tym, aby wszystkie terminy teorii zostały zinterpretowane empirycznie).

Redukcja może odbywać się w dwóch kierunkach. Z ontologicznego punktu widzenia można podzielić świat na dziedziny np. mikrozjawisk, makrozjawisk i supermakrozjawisk, przyporządkowując im odpowiednio indeksy: n, $n+1$, $n+2$. Między teoriami T_n, T_{n+1}, T_{n+2}, odnoszącymi się do różnych dziedzin rzeczywistości, możliwe są dwa kierunki redukcji, którym odpowiadają dwie dyrektywy metodologiczne.

Postulat mikroredukcji stanowi zalecenie, aby teorię T_{n+1} zredukować do teorii T_n. Upraszczając, można powiedzieć, że postulat mikroredukcji zaleca wyjaśnianie własności całości na podstawie własności jej części i relacji między nimi. Odwrotny kierunek redukcji zaleca postulat makroredukcji, zalecający, aby własności części tłumaczyć na podstawie własności całości i funkcji, jaką ta część pełni w całości.

W praktyce naukowej stosuje się oba kierunki redukcji, przy czym postulat mikroredukcji częściej był stosowany na terenie nauk fizycznych, dyrektywa zaś makroredukcji związana jest raczej z naukami biologicznymi i społecznymi. Usprawiedliwienie tych postulatów wymaga przyjęcia dodatkowych założeń.

PLURALISTYCZNA WIZJA ŚWIATA JAKO UZASADNIENIE POSTULATU MIKROREDUKCJI

Uzasadnieniem stosowania mikroredukcji może być niekiedy pluralistyczna wizja świata. Pluralizm w tym kontekście polega na założeniu, iż rzeczywistość składa się z pewnej liczby niezależnych od siebie elementów, które mogą istnieć jeden bez drugiego. (Monizm, przeciwnie, oznaczałby wizję świata, w którym nie ma samoistnych elementów, a samodzielnie istnieć może tylko całość).

Pluralistyczna ontologia stanowiła uzasadnienie mikroredukcji w starożytności. Atomistyczna koncepcja świata, reprezentowana m.in. przez Demokryta, a tak urzekająco przedstawiona przez Lukrecjusza, stanowiła podstawę tezy, iż wszystkie zjawiska świata można wyjaśnić, ukazując tkwiące u ich podstaw relacje między atomami.

Lukrecjusz w poemacie *O naturze wszechrzeczy* po mistrzowsku tłumaczył świat, redukując wszystko, co skomplikowane, do elementów prostych, niezmiennych, obdarzonych niewielką liczbą własności. Całe bogactwo i różnorodność otaczającej człowieka rzeczywistości zostały ukazane jako wynik różnych kombinacji, powstałych z niewielkiej liczby rodzajów niezmiennych i niepodzielnych atomów:

Oto w mych własnych wierszach odnajdziesz, przyjacielu,
Wiele jednakich liter, wspólnych wyrazom wielu,
Przyznasz jednak, że słowa i każdy w nich heksametr
Ma inny dźwięk, treść inną, znaczenie nie to samo —
Tyle potrafi zdziałać zmiana układu liter;
Ale zarodki rzeczy są bardziej rozmaite,
Z nich nieskończone powstaje bogactwo form materii [1].

W koncepcji demokrytejskiej zawarte są dwa założenia:

Po pierwsze, całość stanowi sumę samoistnych części zachowujących wszystkie własności, które te części miały wówczas, gdy nie były ze sobą związane. Własności całości są funkcją własności jej części składowych i relacji między nimi.

Po drugie, istnieje ścisły związek między hierarchią rzeczy w sensie ontologicznym a tą hierarchią w sensie poznawczym. Jeżeli część jest prostsza od całości, to pierwotniejsze w sensie logicznym są koncepcje opisujące części niż odnoszące się do całości.

Pierwsze założenie oznacza przyjęcie pluralistycznej wizji świata, drugie zaś stanowi epistemologiczną podstawę dyrektywy mikroredukcji. Dyrektywa ta zaleca wyjaśnianie swoistych własności złożonych układów materialnych na podstawie poznawania takich ich części składowych, które są owych własności pozbawione. Postulat mikroredukcji jest w tym sformułowaniu heurystyczną dźwignią rozwoju teorii mikroskopowej „warstwy" czy też „warstw" układów materialnych.

W bliskim związku z postulatem mikroredukcji pozostają pewne inne zalecenia metodologiczne, związane z przyjęciem *implicite* pluralizmu w zakresie poznania. Podstawowe założenie tej gnoseologicznej wersji pluralizmu związane jest z przyjęciem tezy, że zagadnienie skomplikowane można rozwiązać przez „rozłożenie" go na problemy prostsze, wchodzące

[1] Titus Lucretius Carus, *O naturze wszechrzeczy*. [Warszawa] 1957, s. 31 (ks. 1, w. 823—829).

jakby w jego „skład". Poznanie każdego z tych „składowych" problemów nie wymaga znajomości pozostałych, natomiast poznanie tego, co skomplikowane, wymaga uprzedniego poznania „części składowych" zagadnienia.

Przykładem takich zaleceń metodologicznych są dyrektywy Kartezjusza, który zaleca „podzielić każde z rozpatrywanych zagadnień na tyle cząstek, na ile się da i ile będzie tego wymagać lepsze ich rozwiązanie" [2]. A następnie stopniowo, w sposób zastosowany przez Kartezjusza w geometrii analitycznej, przechodzić od prostego do bardziej skomplikowanego. Tak np. położenie punktów wyznaczamy przez ich współrzędne. Linia prosta i jej równanie są wyznaczone przez dwa punkty. Koło można wyznaczyć na podstawie znajomości współrzędnych trzech punktów. Własności całości — tego, co skomplikowane — stanowią zatem funkcję własności części i ich relacji między sobą.

Podobnie należy — zdaniem Kartezjusza — postępować w każdym wypadku, gdy szukamy wyjaśnienia. Skomplikowane zagadnienie należy dzielić dopóty, dopóki nie dojdziemy do zagadnień, które są dla nas jasne, wyraźne i zrozumiałe. Te najprostsze problemy są zarazem najogólniejsze, występują bowiem w wielu różnych zagadnieniach.

Poszukiwanie najprostszych cegiełek poznawczych, najmniejszych „atomów poznania", które mają dostarczyć klucza do wyjaśnienia świata, pojawia się odtąd raz po raz w filozofii i jest szczególnie znamienne dla nurtu pozytywistycznego.

Pozytywiści świadomie unikają odpowiedzi na pytania dotyczące struktury i substancji świata. Kontrowersja monizm — pluralizm jest dla Macha jałową spekulacją, a dla Koła Wiedeńskiego — pseudoproblemem. Zarówno empiriokrytycyzm, jak neopozytywizm poszukują najmniejszych, „atomowych", ostatecznych i jednocześnie całkowicie pewnych elementów poznania. Dla Macha są to wrażenia zmysłowe, a dla Koła Wiedeńskiego podobną rolę odgrywają zdania protokolarne, które mają stanowić podstawę poznania.

Atomizm logiczny neopozytywizmu pozostaje pod dużym wpływem Wittgensteina, który nie solidaryzował się wprawdzie z Kołem Wiedeńskim, ale w sposób może najbardziej jaskrawy formułował określone dyrektywy metodologiczne. W *Traktacie logiczno-filozoficznym* (1921 r.) reprezentował on pogląd, że świat składa się z „faktów jednostkowych" wzajemnie od siebie niezależnych. Kluczem do poznania świata są zatem zdania opisujące owe fakty jednostkowe. Wszystkie inne zdania, a w szczególności ich prawdziwość lub fałszywość zależy od zdań elementarnych („atomowych"). Każdy fakt skomplikowany i odpowiadające mu zdanie nieelementarne mogą być rozłożone na fakty jednostkowe i odpowiadające im zdania jednostkowe.

Jest interesujące, że choć nie wszyscy zwolennicy wymienionych zaleceń metodologicznych byli zwolennikami mikroredukcjonizmu, to zwolennicy programu mikroredukcjonizmu uznawali często, iż wykonując ten program, spełnia się jednocześnie inne wymienione postulaty. Mikroobiekty miały być pod każdym względem „prostsze" od makroobiektów i podlegać „prostszym" pod każdym względem prawom [3], a więc mikroredukcja miała być redukcją złożonego do prostego. Prawa rządzące atomami czy cząsteczkami miały być przy tym jakoś bardziej „oczywiste".

[2] K a r t e z j u s z, *Rozprawa o metodzie*. [Warszawa] 1952, s. 37.

[3] Por. w następnym rozdziale wypowiedzi Boltzmanna.

A więc miała to być zarazem redukcja niezrozumiałego do oczywistego, nie znanego do znanego. W ten sposób zalecenia np. Kartezjusza były traktowane na gruncie mechanicyzmu *junctim* z postulatem mikroredukcji.

MECHANICYZM A POSTULAT MIKROREDUKCJI (NA PRZYKŁADZIE PRAC BOLTZMANNA) [4]

Jakkolwiek tendencja do mikroredukcji jest znacznie wcześniejsza od mechanicyzmu, rozumianego jako dojrzały już i w pełni ukształtowany kierunek filozoficzny, istnieje ścisły związek między mechanicyzmem a postulatem mikroredukcji.

Mechanicyzm jest — jak wiadomo — koncepcją filozoficzną, która osiągnęła szczyt rozwoju w wiekach XVIII i XIX, choć wątki mechanicyzmu spotykamy niemal od zarania myśli filozoficznej. W okresie szczytowego rozwoju mechanicyzm występował w wersjach: ontologicznej, gnoseologicznej i metodologicznej.

Założenia ontologiczne mechanicyzmu były następujące: po pierwsze, istnieje pewna grupa prawidłowości podstawowych, wiecznych i niezmiennych, które mają charakter uniwersalny i obowiązują w mikro-, makro- i supermakroświecie; po drugie, materia jest zbudowana z elementów prostych (np. atomów) o niezmiennych własnościach, a rodzajów tych elementów jest stosunkowo niewiele.

Założenia gnoseologiczne głosiły, iż podstawowe prawidłowości są poznawalne, a prawa mechaniki klasycznej stanowią adekwatne sformułowanie uniwersalnych prawidłowości.

Zgodnie zaś z założeniami metodologicznymi mechanicyzmu — aby wyjaśniać lub sprawdzać, należy redukować wszystkie prawa i teorie do praw i teorii podstawowych. Redukcja może być dokonywana dwiema drogami (które nie są zresztą rozłączne): przez tworzenie modeli mechanicznych i wnioskowanie o własnościach oryginału przez analogię, na podstawie własności modelu, bądź też przez redukcję ścisłą do mechaniki Newtona.

Wielki fizyk XIX w. Hermann Helmholtz w sposób może najbardziej dobitny reprezentował przedstawioną tu rekonstrukcję mechanicyzmu, gdy stwierdzał, że ostatecznym celem przyrodoznawstwa jest pochłonięcie go przez mechanikę [5].

Charakterystycznego przykładu mechanicystycznej interpretacji postulatu mikroredukcji dostarcza Ludwig Boltzmann. Obronę mechanicyzmu uważał on za swój cel, za coś w rodzaju życiowej misji. Pisał: „Uważam za swoje zadanie życiowe — o ile mi tylko sił starczy — wykazać poprzez możliwie jasne i logiczne opracowanie rezultatów klasycznej teorii, że tkwi w niej [w mechanice] jeszcze wiele dobrego i wiecznie trwałego" [6].

Metodologiczne zalecenia Boltzmanna sprowadzają się do redukcjonizmu w dwóch znaczeniach tego terminu. Po pierwsze, wyjaśnianie — to

[4] Treść niniejszego rozdziału artykułu częściowo stanowiła osnowę komunikatu, zgłoszonego przez autorkę na XII Międzynarodowy Kongres Historii Nauki i zamieszczonego (w jęz. angielskim) w t. 50 *Monografii z dziejów nauki i techniki: Etudes d'histoire de la science et de la technique*. Wrocław—Warszawa—Kraków 1968, ss. 207—215.

[5] Por.: H. Helmholtz, *Popular Lectures on Scientific Subjects*. London 1881.

[6] L. Boltzmann, *Populäre Schriften*. Leipzig 1905, s. 205.

sprowadzanie tego, co nie znane i skomplikowane, do tego, co proste i znane; to sprowadzanie praw skomplikowanych do prostych i podstawowych. Po drugie, wszystko, co naprawdę wielkie w fizyce, powstało dzięki konsekwentnemu stosowaniu modeli i analogii mechanicznych.

W oparciu o takie analogie i modele można wyjaśniać zjawiska istniejące i przewidywać nowe. Analogie i modele przemawiają do wyobraźni. Aby jednak osiągnąć pełne zrozumienie mechanizmu zjawisk, trzeba dotrzeć do najmniejszych, najprostszych składników materii — do atomów, które pozostaną już zawsze niewyjaśnione.

Olbrzymie znaczenie atomistyki polega — według Boltzmanna — na tym, że, docierając do najmniejszych składników materii, pozwala wyjaśnić skomplikowane zjawiska z najróżniejszych dziedzin. U podstaw bowiem różnych z pozoru zjawisk — leżą własności i zmiany konfiguracji atomów. Najgłębsze mechanizmy różnych z pozoru zjawisk leżą we wzajemnych relacjach najmniejszych cegiełek materii. I tu Boltzmann formułuje postulat mikroredukcji:

„Współczesna atomistyka [...] rozkłada w pewnej mierze cechy pojedynczych faktów na ich części składowe, na własności ich składników — atomów [...] tak, że pozwala to wyjaśnić fakty z większej liczby dziedzin [...]. Ma to tę zaletę, iż pozwala otrzymać prostszy i bardziej przejrzysty obraz o wiele większej sumy faktów" [7].

Boltzmannowska kinetyczna teoria gazów, podobnie jak jego statystyczna interpretacja drugiej zasady termodynamiki, stanowiły próbę pogodzenia dwóch metodologicznie odmiennych ujęć: fenomenalistycznego, który zadowalał się opisem zjawisk i był historycznie związany z termodynamiką, i atomistycznego, który stawiał sobie za cel wyjaśnianie mechanizmu procesów.

Pogodzenie obu sposobów ujęcia stało się możliwe dzięki zastosowaniu mikroredukcji. Zjawiska i prawa, które obserwuje się na makropoziomie, zostały ukazane jako logiczna konsekwencja koniunkcji praw mechaniki (zastosowanych do poziomu atomowego) i pewnych dodatkowych założeń. Rezultat ten Boltzmann interpretuje jako triumf mechanicyzmu.

W teorii kinetycznej gazów Boltzmann rozważał dwa poziomy: makro- i mikrozjawisk. Na makropoziomie rozpatruje się zachowanie zbiornika wypełnionego gazem (w szczególności badana jest zależność między ciśnieniem, objętością i temperaturą gazu), na mikropoziomie zaś rozważa się zachowanie cząsteczek gazu. Zbiór na mikropoziomie jest tu zbiorem rzeczywiście występującym w przyrodzie.

Cząsteczki gazu podlegają prawom mechaniki newtonowskiej, pozostając ze sobą we wzajemnym oddziaływaniu. Wprowadza się założenie, że cząsteczki gazu zachowują się przy zderzeniach jak kulki sprężyste, oraz że — wobec dużego rozrzedzenia gazu — siły przyciągania międzycząsteczkowego mogą być zaniedbane. Prawa Boyle'a—Mariotte'a i Gay-Lussaca, odnoszące się do makropoziomu, zostają na tej podstawie wyprowadzone jako logiczna konsekwencja praw mechaniki, odniesionych do poziomu atomowego.

W ten sposób Boltzmann dokonał redukcji teorii makroskopowej do mikrofizyki; został zatem zastosowany postulat mikroredukcji, oparty na założeniach mechanicyzmu. Aby przejść od poziomu atomowego, na którym występują ogromne liczby elementów (rzędu 10^{24} dla jednego mola

[7] Tamże, ss. 149—150.

gazu), do makropoziomu, Boltzmann zastosował matematyczny aparat teorii prawdopodobieństwa, wprowadzając pewne założenia dotyczące rozkładu prawdopodobieństw mikrostanów (tzw. hipotezę ergodyczną [8]).

Zastosowanie przez Boltzmanna postulatu mikroredukcji i uzyskanie logicznej wywodliwości praw makropoziomu z praw mikropoziomu zarówno dla kinetycznej teorii gazów, jak i w odniesieniu do drugiej zasady termodynamiki — był to wspaniały triumf mechanicyzmu i atomizmu naraz.

Boltzmannowska redukcja teorii makroskopowych do mikroskopowych reprezentuje w nauce empirycznej jeden z charakterystycznych typów redukcji teorii. Swoistość redukcji typu Boltzmannowskiego polega na tym, że trzeba przyjąć dodatkowe założenia (w danych wypadkach dopełnić mechanikę założeniami probabilistycznymi lub dotyczącymi rozkładów statystycznych „warunków początkowych" dla „izolowanych" części wszechświata).

Założenia teorii, do której Boltzmann dokonał redukcji, oraz założenia dodatkowe miały po części charakter idealizujący. Najbardziej interesujący z punktu widzenia charakteru dokonanej redukcji jest fakt, że redukcja teorii stanowi zarazem pewną jej korekturę czy ograniczenie ważności: np. odnośnie do Boltzmannowskiej statystycznej interpretacji drugiej zasady termodynamiki przejawia się to w udowodnieniu, że prawa teorii redukowanej opisują najbardziej prawdopodobne przebiegi procesów, jednakże — w świetle teorii sięgającej głębiej — odstępstwa od nich są możliwe.

Zabieg mikroredukcji dokonany przez Boltzmanna nasuwa zagadnienia o charakterze metodologicznym, m.in. problem zasadniczej odmienności praw typu statystycznego, jakie wprowadza Boltzmann, od praw mechaniki klasycznej. Gdy bowiem na poziomie atomowym panują prawa mechaniki klasycznej, w których występują zależności jednoznaczne, na poziomie makrozjawisk — występują zależności probabilistyczne wieloznaczne.

W związku z tym powstaje pytanie: czy prawdopodobieństwo może być zastąpione pewnością? Czy można uzyskiwać kompletną wiedzę o mikrostanach układów makroskopowych i na tej podstawie obliczać w sposób pewny, a nie tylko prawdopodobny, makroparametry? Boltzmann niewątpliwie miał świadomość — jakkolwiek nie wypowiadał tego nigdzie *expressis verbis* — jak trudne byłoby rozwiązanie takiego zadania.

Wystarczy zdać sobie sprawę z ogromnej liczby stopni swobody, jaką ma jeden mol gazu. Jeżeli traktować — jak czynił Boltzmann — cząsteczki gazu jako gładkie kulki, to żeby zapisać stan każdej z nich, trzeba 6 liczb (trzy składowe położenia i trzy składowe pędu). Mol gazu zawiera $6 \cdot 10^{23}$ cząsteczek. Po to więc, żeby zapisać stan początkowy wszystkich

[8] Hipoteza ergodyczna głosi, że każdy z możliwych mikrostanów układu zostanie prędzej czy później zrealizowany, a chwilowe przeciętne wielkości statystyczne dla wszystkich elementów układu są równe wartościom średnim w czasie dla każdego elementu (w nie zmienionych warunkach zewnętrznych). Boltzmannowi zarzuca się, iż założenie o równym prawdopodobieństwie wszystkich możliwych mikrostanów upraszcza wprawdzie obliczenia, lecz jest dowolne i sztuczne. W 1913 r. powstały dowody fałszywości hipotezy ergodycznej, oparte na teorii mnogości: wykazano, że punkty krzywej fazowej tworzą mnogość innej „kategorii" niż mnogość powierzchni energetycznej, oraz że mnogość punktów tej krzywej ma inną miarę niż mnogość punktów krzywej energetycznej. W rezultacie hipoteza ergodyczna została zastąpiona tzw. hipotezą *quasi*-ergodyczną.

cząsteczek, trzeba zanotować $3{,}6 \cdot 10^{24}$ liczb, co wymagałoby większej liczby stron, niż zawierają ich największe biblioteki naszego globu.

Jeśli już Boltzmann zdawał sobie najprawdopodobniej sprawę z praktycznej niemożności wyczerpującego poznania mikrostanu ciała makroskopowego, to współczesne teorie fizyczne wnoszą tu dalsze, zasadniczo nowe momenty, nie brane pod uwagę przez dawną fizykę.

Po pierwsze, jako główny argument przeciw możliwości zastąpienia prawdopodobieństwa pewnością wysuwana jest, m.in. przez tzw. szkołę kopenhaską, wynikająca z zasady nieoznaczoności nieuchronność zmiany stanu badanego mikroobiektu przez proces pomiaru, co uniemożliwia dokładne wyznaczenie parametrów poziomu atomowego. Przeciwstawne stanowisko zajmuje Bohm i tzw. szkoła paryska (m.in. de Broglie i Vigier): sądzą oni, że prawa probabilistyczne występujące na mikropoziomie stanowią rezultat działania praw kauzalnych na jeszcze niższym poziomie (ukrytym podpoziomie). Problemy te są przedmiotem ożywionej dyskusji, której przedstawienie wykracza poza ramy tego szkicu.

Drugą, i równie poważną, grupę argumentów wniosła do sporu teoria informacji, co zostanie omówione poniżej, w odrębnym paragrafie *Postulat mikroredukcji a teoria informacji.*

Niemożność zastąpienia prawdopodobieństwa pewnością nie kompromituje postulatu mikroredukcji, jakkolwiek uzyskanie pewnych i ścisłych danych na temat mikroparametrów układu umożliwiłoby sprawdzenie teorii w sposób bardzo ceniony w naukach empirycznych. Poza metodą bezpośredniego pomiaru stosuje się jednak w tych naukach wiele innych sposobów pośredniego sprawdzania teorii; praktyczna możliwość pomiaru warunków początkowych w sensie danej teorii nie jest zatem niezbędnym warunkiem uwiarygodnienia tej teorii.

Toteż niemożność poznania w sposób pewny i wyczerpujący mikrostanów ciał makroskopowych nie przeszkodziła Boltzmannowi w ugruntowaniu jego teorii mikroskopowej, do której się redukuje — w pewnym sensie tego słowa — klasyczna termodynamika. Teoria Boltzmanna pozwalała bowiem wyjaśnić i przewidywać nie znane lub nie powiązane dawniej ze sobą zjawiska (właśnie na tym polegało znaczenie badań nad ruchami Browna, studium Smoluchowskiego o niebieskiej barwie nieba itd.). Rozwijanie mikrofizyki jest więc możliwe, mimo słuszności współczesnej krytyki ideału uzyskiwalności pełnej informacji o stanach układów.

Wszystkie te fakty podbudowują doniosły metodologicznie wniosek, że redukcja nie prowadzi na ogół do wyeliminowania z nauki teorii redukowanej, ale tylko do takiego czy innego ograniczenia zakresu jej stosowalności. W wypadku zabiegu dokonanego przez Boltzmanna wynikało to z niemożności przeprowadzenia pomiarów, które by umożliwiły przewidywanie przebiegu indywidualnych zdarzeń w oparciu o teorię głębszą [9].

Główne mankamenty klasycznego mikroredukcjonizmu polegały na braku „samoświadomości metodologicznej". Boltzmann nie zastanawiał się nad prawomocnością dodatkowych założeń dotyczących makroukładów oraz nad znaczeniem idealizacji, którymi się posługiwał. Mimo tych braków teoria Boltzmanna stanowiła olbrzymi krok w postępie fizyki, a jego pomysły noszą znamię geniuszu.

[9] Bliższe zbadanie sytuacji, w których zakres teorii redukowanej okazuje się ograniczony w świetle teorii głębszej, byłoby bardzo interesujące. Wymagałoby to jednak odrębnego studium.

NIEKTÓRE SPRAWDZALNE TECHNICZNIE ASPEKTY POSTULATU MIKROREDUKCJI

Postulat mikroredukcji często (np. na gruncie mechanicyzmu) występuje łącznie z pewnymi założeniami metodologicznymi (np. z założeniami Kartezjusza), które prowadzą do wniosku, że całość jest bardziej skomplikowana niż jej części, tj. niż elementy, z których powstała.

W związku z tym nasuwa się pytanie: czy zawsze i pod każdym względem uzyskiwanie charakterystyki układu bardziej złożonego oraz przewidywanie jego zachowania jest zadaniem żmudniejszym, trudniejszym, „mniej prostym" niż uzyskiwanie charakterystyki i prognozy dla układu mniej złożonego? Otóż postulat mikroredukcji bynajmniej nie musi wiązać się z poglądem, że tak właśnie rzeczy stoją, i to pod każdym względem.

Bardzo często ważne są dla nas jedynie globalne cechy układów złożonych, które dają się realizować przez rozmaite mikrostany. Interesujemy się wtedy makroukładami pod takim względem, że dokładna znajomość stanu jego składników nie jest dla nas ważna. Tak więc, mimo że mikrostan makroukładu jest z pewnością „trudniejszy" do poznania a jego ewolucja „trudniejsza" do przewidzenia niż stan pojedynczej molekuły, to jednak śledzenie zmian wskazań termometru czy manometru jest z pewnością „łatwiejsze" niż śledzenie torów zderzających się molekuł, z których składa się roboczy element tych przyrządów. Łatwiej też przewidzieć, co stanie się z litrem wody w nagrzanym czajniku, niż rozwiązać zagadnienie trzech ciał dla boltzmannowskich molekuł.

Ciekawym aspektem tego zagadnienia jest tendencja, którą obserwujemy w technice, gdy konstruuje się pewne układy rozmyślnie tak, żeby sterowanie ich zachowaniem (pod względem interesującym technika) było problemem prostszym, niż sterowanie zachowaniem układów mniej złożonych, jakimi technik dysponuje pierwotnie [10].

W dziedzinie automatyki można uprościć własności dynamiczne układów elektronicznych przez zastosowanie korektora (jest to tzw. zagadnienie kompensacji).

Załóżmy, że funkcja przenoszenia układu bez korektora ma postać:

$$K_1(s) = \frac{1 + T_1}{(1 + T_2) \cdot (1 + T_3)},$$

gdzie T_1, T_2 i T_3 są funkcjami zmiennej s.

Jeżeli zastosujemy korektor o charakterystyce

$$K_2(s) = \frac{1 + T_2}{1 + T_1},$$

to, ponieważ funkcja $K_3(s)$ przenoszenia całego układu wraz z korektorem równa się iloczynowi charakterystyk części składowych, przybierze ona prostą postać:

$$K_3(s) = K_1(s) \cdot K_2(s) = \frac{1}{1 + T_3}.$$

[10] Podane niżej przykłady zawdzięczam mgrowi Jackowi Wyrwińskiemu.

Okazuje się zatem, że całość złożona z układu i korektora ma własności prostsze (pod pewnym określonym względem) niż jej części składowe.

Jako drugi przykład, również z zakresu układów elektronicznych, można przytoczyć linearyzację charakterystyk nieliniowych.

Charakterystyka statyczna układu może być opisana funkcją $y = F(x)$, przy czym charakterystyka ta jest zwykle nieliniowa. Gdy niekonieczne jest uzyskanie zależności liniowej między wielkościami: wejściową i wyjściową, stosuje się układ linearyzujący, którego charakterystykę można zapisać w postaci:

$$Z = a \cdot F^{-1}(y),$$

gdzie: a = stały współczynnik.

W rezultacie działania dwóch układów można otrzymać $Z = ax$.

Choć z reguły w praktyce nie można zrealizować idealnie układu o zależności

$$Z = a \cdot F^{-1}(y),$$

przy odpowiednim rozbudowaniu korektora zawsze jest możliwa linearyzacja o pożądanej dokładności.

Powyższe przykłady z pewnością nie są zrozumiałe dla wszystkich czytelników. Ta sama myśl może być jednak zilustrowana przykładami z zakresu inżynierii społecznej: oto np. dobrze znany fakt, że stosunkowo łatwiejsze jest przewidywanie zachowania i wpływanie na zachowanie dużej zbiorowości, niż poznawanie i poddawanie wpływowi każdego z osobna pojedynczego człowieka z tej samej zbiorowości.

POSTULAT MIKROREDUKCJI A TEORIA INFORMACJI

Bardzo interesujące światło na pewne trudności, związane z empirycznym sprawdzaniem teorii mikroskopowej „warstwy rzeczywistości", rzuciły badania związane z teorią informacji.

Redukcja teorii innych warstw rzeczywistości do teorii mikropoziomu, tj. do poziomu najmniejszych istniejących (znanych) cząstek, prowadzi do trudności — związanych z praktycznym mierzeniem mikroparametrów — innego jeszcze rodzaju niż te, które wynikają z zasady nieoznaczoności.

W pracy z zakresu teorii informacji Leon Brillouin [11] podaje zasadniczą przeszkodę w zdobyciu całkowicie dokładnych informacji odnoszących się do wielkości rzędu cząstek elementarnych.

W ślad za innymi Brillouin wykazuje, że istnieje ścisły związek między ilością informacji a entropią układu: wzrost ilości informacji podukładu zostaje zawsze osiągnięty kosztem wzrostu entropii układu nadrzędnego. Entropia w tym ujęciu może być zdefiniowana jako brak informacji [12].

W świetle przeprowadzonej analizy autor dowodzi, że tzw. demon Maxwella nie działa wbrew drugiej zasadzie termodynamiki. Aby bowiem ów demon, który tkwi w otworze przesłony dzielącej naczynie wypełnione gazem o jednakowej temperaturze, zdołał doprowadzić do różnicy temperatur między częściami naczynia — musi posiadać określone informacje

[11] L. Brillouin, *Science and Information Theory*. New York 1953.

[12] *A more precise statement is that the entropy measures the lack of information about the actual structure of the system.* Tamże, s. 160.

i na ich podstawie kierować szybkie cząstki do jednej, a wolniejsze — do drugiej części naczynia. To „regulowanie ruchu" może być osiągnięte tylko wówczas, gdy demon będzie miał informacje o prędkości cząstek. Za każdą jednak informację musi on płacić wzrostem entropii. Żadnych informacji odnośnie do układu fizycznego — pisze Brillouin — nie można uzyskać z niczego. „Przeanalizowaliśmy różne doświadczenia i doszliśmy do generalnego wyniku: do zasady negentropii informacji, która głosi, że każda informacja uzyskana z obserwacji fizycznej musi być opłacona wzrostem entropii w laboratorium" [13].

Jeszcze ważniejsze jest istnienie zasadniczej trudności związanej z mierzeniem najmniejszych odległości. Brillouin formułuje relację przypominającą zasadę nieoznaczoności, ale mającą odmienny charakter fizyczny. Zgodnie z tą zasadą [14] ilość energii potrzebnej do dokonania pomiarów małych wielkości jest bardzo duża i szybko wzrasta wraz ze zmniejszaniem się wielkości.

W sposób bardzo przekonywający autor wykazuje dalej, że błędy eksperymentalne nie są możliwe do uniknięcia i muszą stanowić integralną część każdej teorii opisującej świat fizyczny. Stare poglądy o możliwości uniknięcia błędu pomiarowego przez doskonalenie instrumentów [15] okazały się utopijne. Nie można dowolnie zmniejszać błędu pomiarowego, gdyż istnieje ścisła zależność między dokładnością pomiaru a ilością energii, która musi zostać rozproszona dla uzyskania informacji.

Autor akcentuje, iż chodzi tu już nie tylko o zasadę nieoznaczoności, ale o związek między ilością informacji a entropią. Pewna ilość informacji ΔI, dostarczona przez obserwację, może być zmierzona ilościowo i porównana z wzrostem entropii ΔS w czasie pomiaru, przy czym zawsze $\Delta S \geqslant \Delta I$.

Warunek ten oznacza, iż dla uzyskania ΔI informacji skończona ilość energii ΔE musi zostać zdegradowana i zmieniona w ciepło, gdyż: $\Delta E = T \cdot \Delta S \geqslant T \cdot \Delta I$, gdzie: T — temperatura bezwzględna.

Gdy potrzebna jest bardzo duża dokładność, wówczas zjawia się nowe ograniczenie, które w szczególności utrudnia mierzenie bardzo małych wielkości. Okazuje się, że dla wyznaczenia wielkości x z bardzo małym błędem Δx potrzebna jest bardzo duża energia. Im mniejszy przy tym jest Δx, tym większa ilość energii ΔE zostaje rozproszona: już przy Δx rzędu 10^{-4} cm warunek ten prowadzi do degradacji niezmiernie dużych ilości energii [16], takich, jakimi nie rozporządzają najlepiej wyposażone laboratoria świata.

Te rozważania z zakresu teorii informacji ograniczają (przynajmniej w pewnej mierze) możliwość praktycznego stosowania postulatu mikroredukcji. Gdy redukujemy teorię z makropoziomu lub supermakropoziomu do teorii odnoszącej się do mikropoziomu, występuje dodatkowe utrudnienie przy jej empirycznym sprawdzeniu. Choć bowiem można porównywać teorię z doświadczeniem w sposób pośredni, konfrontując niektóre jej konsekwencje z wynikami doświadczenia, sprawdzenie bezpośrednie poprzez pomiar miało i mieć będzie dla nauk empirycznych kapitalne znaczenie.

[13] Tamże, s. 229.
[14] Por.: tamże, s. 236.
[15] Por.: tamże. ss. 304—305.
[16] Por.: tamże, s. 305.

ПОСТУЛАТ МИКРОРЕДУКЦИИ ОТ ЛУКРЕЦИЯ ДО БОЛЬЦМАНА И БРИЮЭНА

Автор доказывает, что постулат микроредукции (как и все методологические директивы) нельзя оправдать, основываясь только на логике. Классический микроредукционизм не мог учитывать этого факта. Этот недостаток был следствием его односторонности и недостаточного „методологического самосознания".

Чтобы облегчить рассуждения, автор вводит терминологические установки. В статье представлены два главных типа редукции одной теории к другой теории. Дается дефиниция постулата микроредукции и постулата макроредукции. Автор указывает на связь между постулатом микроредукции, плюралистической концепцией мира и механицизмом (в онтологической, познавательной и методологической версиях).

Главная и самая обширная часть статьи посвящена анализу микроредукции в классической физике на примере связанных с механицизмом рассуждений Людвига Больцмана. Больцмановская редукция соответствующих макроскопических теорий к микроскопическим теориям представляет собой тип редукции, характерный для эмпирических теорий. Специфика редукции больцмановского типа заключается в том, что она требует применения дополнительных предпосылок, а в данном случае восполнения механики пробабилистическими принципами, касающимися, например, статистического распределения „начальных условий" в изолированных частях вселенной. Принципы теории, к которой Больцман применил редукцию (также и те дополнительные предпосылки) носили частично идеализирующий характер.

В связи с характером сделанной редукции представляет интерес то, что редукция определенной теории является до некоторой степени одновременно ее корректурой (или уменьшением значения). В больцмановской редукции это находит свое выражение в доводах, что законы редуцируемой теории (напр. второго принципа термодинамики в классической трактовке) формулируют лишь наиболее вероятные варианты протекания процессов. Однако отступления от этих вариантов протекания процессов — в свете вникающей „глубже" теории — возможны.

В предпоследней части статьи автор указывает на некоторые аспекты постулата микроредукции, которые можно проверить с помощью техники. Оказалось, что изыскание характеристики более сложной системы и предвидение ее действия является не всегда (и не во всех отношениях) более трудной или „менее простой" задачей, чем изыскание характеристики и прогноза менее сложной системы. В технике некоторые системы конструируются с таким расчетом, чтобы управление работой этих систем (в аспекте, представляющим интерес для техника) сделать более простым, чем управление работой систем менее сложных, которыми техник первоначально располагает.

Последняя часть статьи посвящена новым, не учитывавшимся классической физикой аспектам, которые в проблематику макроредукции вводит современная теория информации. Оказывается, что за каждую информацию в низшей системе неизбежно приходится платить ростом энтропии в более обширной системе. Ни одной информации о физической системе нельзя получить из ничего. Каждая информация, полученная на основании физических наблюдений, приводит к росту энтропии в лаборатории.

Еще более важным является то, что существует основная трудность, связанная с измерением самых малых расстояний. Существует зависимость между точностью измерений и количеством энергии, которую надо затратить на то, чтобы получить информацию. Измерение малых величин связано с большим расходом энергии и он быстро увеличивается по мере того как уменьшаются исследуемые величины.

Следовательно, когда мы редуцируем теорию высшего уровня до теории, которая относится к микроуровню, то мы неизбежно вводим дополнительные трудности в эмпири-

ческую проверку ее. Хотя теорию можно сравнить с опытом косвенным образом, тем не менее непосредственная проверка посредством измерений всегда имела и будет иметь основное значение для эмпирической науки.

THE MICROREDUCTION POSTULATE FROM LUCRETIUS TO BOLTZMANN AND BRILLOUIN

The aim of the article is to prove that the microreduction postulate (like all methodological directives) cannot be excused only on the basis of logic. Classical microreduction could not take this fact into consideration. This defficiency was the result of its unilaterality and its insufficient „methodological selfconsciousness".

In order to make the deliberations easier, terminology has been introduced in the article. The author gives two basic types of reducing one theory to another. The microreduction postulate and the macroreduction postulate are defined. Then the connection between the microreduction postulate and the pluralistic vision of the world and mechanicism are pointed out (in ontological, epistemological and methodological versions).

The most important and, at the same time, the greatest part of the article contains an analysis of microreduction in classical physics on the example of Ludwig Boltzmann's deliberations (which are connected with mechanicism). Boltzmann's reduction of certain macroscopic theories to microscopic theories represents the type of reduction that is characteristic of empirical theories. The peculiarity of Boltzmann's type of reduction is based on the fact that additional presuppositions must be adopted — in the given case the mechanics must be supplemented by probabilistic presuppositions which, for example, concern stastistical dispositions of „initial conditions" for „isolated" parts of the universe. The presuppositions of the theory to which Boltzmann made the reductions (and the additional presuppositions) were a partial idealization.

Because of the character of the performed reduction the fact that the reduction of a defined theory is at the same time a corrective of it (or a limitation to its validity) is very interesting. In Boltzmann's case this becomes noticeable in the proof that the laws of the reduced theory (for example the second law of thermodynamics in the classical interpretation) only describe the most probable course of processes. However, departure from these courses is possible in the light of the theory that reaches „deeper".

In the chapter before the last one the author points out some aspects of the microreduction postulate that can be verified technically. It turns out that gaining a characteristic of a more complicated structure and anticipating its behaviour is not always (and not in every respect) a more difficult or „less simple" task than gaining the characteristic and prognosis for a less complicated structure. In technics certain structures are constructed so that directing their behaviour (in a respect that is interesting from the point of view of technics) would be simpler than directing the behaviour of less complicated structures, which a technician has at his disposal initially.

The last chapter is devoted to new aspects (that are not taken into consideration by classical physics) which are introduced in the problematics of the microreduction postulate by the contemporary information theory. It appears that there exists the inevitability of paying for each information in the subsystem with an increase of entropy in the main system. No information can be gained from nothing. Each information gained from physical observation must be payed for by an increase in entropy in the laboratorium.

The difficulty connected with measuring the smallest distances is more important. There is a dependence between the exactness of the measurement and the amount of energy that must become dissipated in order to gain information. The amount of energy needed to measure small quantities is very great and it increases together with the diminishing of the quantities that are examined.

Therefore when we reduce a theory from a higher level to a theory that refers to the microlevel, we inevitably introduce an additional difficulty in empirical testing.