

Robert Janusz

Co pojęcie entropii wniosło do filozofii?

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce nr 45, 27-44

2009

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Robert JANUSZ

„Ignatianum” & Centrum Kopernika, Kraków

CO POJĘCIE ENTROPII WNIOŚŁO DO FILOZOFII?

W niniejszym studium zostanie przedstawiony historyczny zarys wprowadzenia pojęcia entropii w nauce wraz z jego rosnącą rolą w filozofii. Ponieważ pojęcie to wiązało się ściśle z pojęciem energii, jest zatem konieczne przynajmniej szkicowe omówienie wybranych zagadnień związanych z energią. Szkicowe z konieczności rozważania, oparte na historii rozwoju tych pojęć, mają na celu osadzenie ich w konkretnych realiach, wolnych od nazbyt pobieżnych metodologicznie interpretacji, niewiele mających wspólnego z rzeczywistością naukową. W odniesieniu do energii i entropii okazuje się to szczególnie ważne także z tej racji, że pojęcia te nieustannie są treściowo zgłębiane. Perspektywa historyczna pozwala na uchwycenie swoistego zapętlenia wokół nauki: poczynając od filozoficznego ferworu (zwłaszcza w okresie dokonywania nowych odkryć) czy niebezpiecznych etycznie postaw (gdy chwilowe sukcesy nauki są przez uczonych zamrażane i przedstawiane jako ugruntowane ontologicznie tezy), aż po okres dojrzałszej filozoficznej refleksji (gdy nauka natrafia na nieprzewidywane dotąd odniesienia pojęć do nowych eksperymentów i teorii).

Doniosłość energii i entropii płynęła niewątpliwie — i nadal płynie — z filozofii zawartej w naukowym badaniu świata. Ekstrapolacji obu pojęć fizycznych na cały Wszechświat dokonał m.in. Rudolf Emanuel Clausius (1822–1888). Jego idee mają szersze niż ściśle naukowo-empiryczne znaczenie, gdyż wyrażają aspirację nauki do wskazywania

pewnych wielkości czy obiektów, które są stałe albo zmienne (monotoniczne¹), a właśnie poszukiwania tego, co zawsze stałe i podstawowe oraz przyczyn różnych zmian podejmowali się od samego początku filozofowie. Poza tym w fizycznych prawach wzrostu entropii czy stałości energii ukryta jest *implicite* fundamentalna rola matematyki. Bez subtelnego ujęcia matematycznego nie byłaby znana owa stałość czy zmienność. Oznacza to, że jakościowe badania świata, bez ujęć matematycznych, są skazane na jałowość.

Wspomniane wyżej sformułowanie Clausiusa zaczęło być istotne filozoficznie z racji wskazania tego, co stałe oraz monotoniczne w całym Wszechświecie. Ma ono bardzo prostą wymowę: przyjmując pojęcia energii i entropii „możemy wyrazić fundamentalne prawa wszechświata, odpowiadające dwóm podstawowym zasadom mechanicznej teorii ciepła, w następującej postaci:

- (1) Energia wszechświata jest stała.
- (2) Entropia wszechświata dąży do maksimum”².

W sformułowaniu tym energia wydaje się doskonałym kandydatem substancjalnym, entropia zaś — doskonałym postulatem porządku czasowego, warunkującym ukierunkowaną zmienność w całym Wszechświecie. W oparciu o te zasady poszukiwano więc nowych filozoficznych inspiracji, od wykorzystania ich w monizmie filozoficznym, aż po argumentację na istnienie Boga w teologii naturalnej. Jak się okazało, były to ekstrapolacje przedwczesne, co samo w sobie jest ważną wskazówką, gdzie nie należy oczekiwać „substancjalnej” rzeczywistości.

¹Termin ten oznacza funkcje (nie)rosnące lub (nie)malejące.

²R. Clausius, „Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie”, [za:] A.K. Wróblewski, *Historia fizyki*, s. 355.

1. ENERGIA

Termin „energia” wyraża ogólnie aktywność i dotyczy nie tylko fizyki, ale również ludzkiego ducha, ludzkiej woli. Tak rozumiany filozoficznie termin (od gr. „ἐνέργεια”) był od dawna używany na oznaczenie działania, aktu, entelechii czy siły. W filozofii średniowiecznej wyrażano go łacińskimi: *virtus* lub *vis*. Dzisiaj — w węższym znaczeniu — „energia” jest pojęciem właściwym dziedzinie fizyki, gdzie oznacza zdolność jakiejś siły do wykonania pracy. Samo pojęcie „pracy” ewoluowało stopniowo, począwszy od Johanna Keplera (1571–1630) (będąc jeszcze niezbyt jasno odróżnionym od koncepcji „siły”), poprzez Galileusza (Galileo Galilei, 1564–1642) (pojęcie „momentu”), aż do Jamesa Watta (1736–1819), u którego było ono fundamentalnie ważne. Systematyczne użycie pojęcia pracy przyjęło się od Jean-Victora Ponceleta (1788–1867), po roku 1829 (*Introduction à la mécanique industrielle*, Paryż), kiedy to nabrało dzisiejszego znaczenia: iloczynu skalarnego wektorów przesunięcia i siły³.

Omawiana zasada fizycznego zachowania energii dotyczy układu izolowanego od wpływu sił zewnętrznych. W takim układzie energia mechaniczna jest zachowana, tzn. suma energii kinetycznych (ruchu) i potencjalnych (miejsca) jest stała. Do zasady tej dochodzono stopniowo, gdyż pod wieloma względami energia nie przystaje do mechanicznego obrazu świata, a taki obraz był wpływowy.

Własność zachowania energii mechanicznej była przeczuwana przez Gottfrieda Wilhelma Leibniza (1646–1716), który sądził, że *facultas agendi* nie jest tracona, gdyż malejąca energia kinetyczna powoduje wzrost energii potencjalnej. Przykładem tego jest wahadło, którego energia ruchu jest zerowa, potencjalna zaś — największa, gdy jest ono najbardziej wychylone. Gdy wahadło przechodzi przez punkt równowagi sytuacja staje się odwrotna. Wymiana form energii (z energii ruchu na energię miejsca) zachodzi podczas całego cyklu ruchu wahadła. Okazało się jednak, że ta zasada stałości czy zachowania energii była, co prawda, poprawna dla ruchów planetarnych, ale zawo-

³Zob.: „Energia”, [w:] *Dizionario delle idee*, s. 316.

dziła w innych doświadczeniach: wahadła się zatrzymują, ruch ustaje, a z nim — energia ginie. Tak więc energia mechaniczna miałaby własność nie tyle zachowawczą, co dyssypatywną⁴.

Wydawało się więc, że energia ulega rozproszaniu, zanikowi — nie jest więc stała. Można by ewentualnie już to rozpraszanie uznać za jakiś rodzaj „prawa”, ale nie byłoby to jeszcze określenie ściśle naukowe. Dopiero dalsze eksperymenty naświetliły ten problem od zupełnie innej strony, nieoczekiwanej dla dotychczasowego obrazu świata. Ówczesny mechanicyzm miał bowiem poważny problem w tłumaczeniu wszystkich zjawisk fizycznych, a swoje naukowe luki uzasadniał filozoficznie — tak zresztą, jak to zawsze czyniono i nierzadko czyni się dzisiaj. Mechanicyzm ten nie potrafił wyjaśnić m.in. natury ciepła, zatem uznawał, że jest ono rodzajem substancji — „ciała”, „fluidu” odpowiedzialnego za „zimno” i „ciepło” — tzw. cieplika.

Naukowe badania nad ciepłem rozpoczęły się dość przypadkowo. Hrabia Rumford (Benjamin Thompson) (1753–1814), po Rewolucji Amerykańskiej opuścił ojczyznę i przez pewien czas był ministrem wojny Elektora Bawarskiego. Systematycznie obserwował wtedy zjawisko wzrostu temperatury podczas wiercenia luf armatnich. Wnioskował stąd, że ciepło jest formą ruchu cząstek ciała, a nie „flogistonem” — substancją przejawiającą się jako ciepło i podlegającą odrębnemu prawu zachowania. Z kolei w roku 1824, gdy nie uznawano jeszcze ciepła za energię, Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796–1832) opublikował pracę dotyczącą maszyn cieplnych, co przyczyniło się później do sformułowania II zasady termodynamiki. Jednakże dopiero w 1842 roku Juliusz Robert Mayer (1814–1878) zasugerował, że wszystkie postacie energii, włączając w to ciepło, są sobie równoważne a energia jako taka jest zachowana. Mayer podał też oszacowanie ilościowe swoich dociekań, lecz ze względu na filozoficzny sposób wykładu jego idee były marginalizowane przez ok. 20 lat. Do definitywnego uznania, że ciepło jest jedną z form energii przyczyniły się długoletnie badania Jamesa Prescottta Joule’a (1818–1889). W roku 1843 opublikował on wyniki pomiarów cieplnego równoważnika pracy, stwarzając

⁴Zob.: tamże.

tym samym warunki dla uratowania zasady zachowania energii. Joule posługiwał się w swoich doświadczeniach kołami łopatkowymi i opornikami elektrycznymi, dzięki czemu pomiary były bardzo precyzyjne. W dowód uznania jego zasług, jednostkę pracy nazwano dżulem [1J]⁵.

Ratunkiem dla zachowania energii stała się zatem I zasada termodynamiki, która poszerzyła pojęcie energii o pojęcie ciepła. Ciepło można zamieniać na energię mechaniczną i odwrotnie. Zasada zachowania energii, z uwzględnieniem ciepła, została więc uratowana w poszerzonym sformułowaniu: w układach izolowanych suma energii mechanicznych i ciepła jest stała. Pozwala to na wytłumaczenie zjawisk, w których energia mechaniczna jest rozpraszana, jak choćby w przypadku ruchu wahadła omawianego wyżej: wygasanie ruchu wahadła powoduje wzrost ciepła spowodowany jego ruchem i siłami tarcia. Pod wpływem filozoficznych prądów poszukiwania teorii unitarnej w XIX w. pojęcie energii zaczęło odgrywać fundamentalną rolę także w rozwijającej się nauce. Udowodniano, jak można zamieniać jedną formę energii w inną, a tych form energii poznawano coraz więcej: od energii mechanicznej i cieplnej poprzez energie chemiczną, akustyczną, światła, magnetyczną, elektryczną itd. Starano się jednak sprowadzić tę rozbudowującą się klasyfikację do dwóch form podstawowych: energii potencjalnej i kinetycznej. W połowie XIX w. zasada zachowania energii przybierała dwie formy wyrazu: „w układzie izolowanym energia całkowita jest stała” lub „energii nie można wytworzyć ani zniszczyć”. W ten sposób fizyka przybrała postać nauki nie tylko o materii, ale i o energii⁶.

Naukowcy zawsze są zanurzeni w jakieś filozoficzne światopoglądy. Dziewiętnastowieczni uczeni tacy jak Ernst Mach (1838–1916) czy Wilhelm Ostwald (1853–1932) uważali, że fizyka powinna posługiwać się jedynie pojęciami obserwowalnymi i dlatego zwalcza

⁵Zob.: F. Reif, *Fizyka statystyczna*, ss. 157, 230, 322. Mayer uważał, że zachowanie energii sprzeciwia się materializmowi i ateizmowi (zob.: M. Heller, „Zagadnienia kosmologiczne przed Einsteinem”, s. 36).

⁶Zob.: „Energia”, [w:] *Dizionario...*, dz. cyt. Podział na energię kinetyczną i potencjalną jest, oczywiście, silnie inspirowany Hamiltonowskim formalizmem w mechanice.

oni hipotezę atomową, gdyż atomy były przez nich nieobserwowane empirycznie. Przeciwnikiem tych poglądów był Ludwig Boltzmann (1844–1906) — jeden z twórców fizyki statystycznej. Ten austriacki fizyk rozwinął atomową teorię gazów, a jego prace z roku 1872 miały fundamentalne znaczenie dla wyjaśnienia procesów nieodwracalnych z perspektywy mikroskopowej. Boltzmann pisał w 1898 roku, że jest jedynie „osamotnioną jednostką usiłującą iść pod prąd aktualnych poglądów”. Jego tragiczna śmierć nastąpiła dwa lata przed eksperymentami potwierdzającymi atomową budowę materii: doświadczeniami, które przeprowadził Jean Baptiste Perrin (1870–1942) nad ruchami Browna i doświadczeniem Roberta Andrewsa Millikana (1868–1953) z naładowanymi kroplami oliwy⁷. Tak więc Ostwald, jak i zresztą Boltzmann, uprawiali naukę w ewidentnie filozoficznym kontekście.

Ważnym twórcą mechaniki statystycznej był Josiah Willard Gibbs (1839–1903), profesor Uniwersytetu w Yale, pierwszy wysokiej klasy amerykański fizyk teoretyk. Jego pionierskie prace z termodynamiki ukazały się w latach 1870-tych i dotyczyły makroskopowych wielkości ujętych w formie analitycznej. Dzięki temu podejściu można było rozwiązać wiele ważnych zagadnień z fizyki i chemii. W późniejszym okresie, na przełomie wieku, Gibbs przedstawił bardzo ogólne sformułowanie mechaniki statystycznej, posługując się pojęciem tzw. zespołu statystycznego. Od Gibbsa pochodzi także pojęcie tzw. zespołu kanonicznego. Formalizm amerykańskiego fizyka jest stosowany do dziś, z pewnymi modyfikacjami pochodzącymi od nowych teorii (np. od mechaniki kwantowej)⁸. Dzięki temu możliwe jest poznanie np. granic opisu układu klasycznego.

Jeśli chodzi o energię jako taką, to fizyka relatywistyczna dokonała niespodziewanie nowego odkrycia. Okazało się, że masa i energia są sobie równoważne, że obie są przejawami czegoś wspólnego i mogą być zamieniane: energia na masę i masa na energię. W ten sposób dualizm masy i energii został przełamany i w miejsce dwóch zasad

⁷Zob.: F. Reif, dz. cyt., s. 186.

⁸Zob.: tamże, s. 187.

zachowania masy i energii pojawiła się jedna zasada zachowania masy-energii⁹.

Przedstawiony wyżej zarys ewolucji pojęcia energii pozwala na bliższe określenie entropii. Pojęcie entropii jest bowiem ściśle związane z pojęciem energii i oba one pełnią zasadniczą rolę w termodynamicznym opisie świata. Również to pojęcie zostanie przedstawione w historycznym zarysie wystarczającym do określenia filozoficznej wymowy entropii.

2. ENTROPIA

Termin „entropia” pochodzi od gr. „ἐν” i „τρέπω” (zwracać; „τροπή” — zwrot) i oznacza coś niezwracalnego. W fizyce entropia jest matematyczną funkcją stanu układu, którą w roku 1865 wprowadził do termodynamiki Clausius dla określenia energii nieużytecznej, energii, której nie można zamienić na pracę mechaniczną. Entropia jest związana z II zasadą termodynamiki, którą Clausius sformułował razem z Lordem Kelvinem (William Thomson, 1824–1907) w oparciu o czysto makroskopowe wielkości. Z drugiej zasady termodynamiki wynika, że funkcję entropii można zawsze wyrazić przez wielkości: temperaturę bezwzględną i zmianę ciepła pochłoniętego lub oddanego przez układ. Wyraża to sławna formuła: w systemie izolowanym każda zachodząca w nim zmiana nie zmniejsza całkowitej entropii; dla idealnego, odwracalnego układu entropia byłaby stała, dla układów nieodwracalnych całkowita entropia zawsze rośnie. Entropia charakteryzuje więc kierunek przebiegu procesów w układzie izolowanym¹⁰.

Makroskopowo entropia S związana jest z ciepłem Q i temperaturą bezwzględną T poprzez równanie: $dS = \delta Q/T$, co oznacza, że nieskończenie mała zmiana entropii (dS) wiąże się z nieskończenie małą

⁹Zob.: „Energia”, [w:] *Dizionario...*, dz. cyt.

¹⁰Zob.: „Entropia”, [w:] *Dizionario...*, dz. cyt., s. 319; H. Piersa, „Entropia. Entropia w fizyce”, s. 172; F. Reif, dz. cyt., s. 217. Clausius, już w 1850 roku, sformułował II zasadę termodynamiki jako niemożność przenoszenia ciepła od ciała chłodniejszego do cieplejszego i do wyrównywania się temperatur między takimi ciałami (zob.: M. Heller, dz. cyt., s. 36).

ilością ciepła (δQ). Autorem podstawowego związku: $S = k \ln W$, wiążącego entropię z liczbą mikroskopowych stanów dozwolonych układu (W), był Boltzmann (k oznacza tu fizyczną stałą Bolzamna). Dzięki temu związkowi, zestawionemu z makroskopowym określeniem entropii (dS), można uzyskać wgląd w mikroskopowe parametry W , a także obliczyć stałą k ¹¹. Im bardziej układ jest uporządkowany, tym jego entropia jest mniejsza. Poza tym statystyczna definicja entropii pozwala wiązać ją np. z informacją: im więcej informacji w danym układzie, tym bardziej jest on uporządkowany, czyli jego entropia jest ujemna (jest to tzw. negentropia)¹².

Naukę o cieple, niemal od początku jej rozwoju, próbowano zastosować do Wszechświata jako całości, i to jeszcze przed Clausiusem. Jean-Baptiste Joseph de Fourier (1768–1830) zastosował swoją teorię ciepła do opisu „świata”, czyli Układu Słonecznego (jak „świat” wówczas rozumiano). Zastosowanie termodynamiki do kosmologii rozwijał także Thomson, nie stroniąc nawet od wniosków teologicznych. Hermann Helmholtz (1821–1894) mówił o śmierci cieplnej Wszechświata w jego stanie równowagi, kiedy to ustaną wszystkie procesy naturalne. Również Boltzmann chciał pogodzić termodynamikę zastosowaną do kosmologii z filozoficznymi przekonaniem o wiecznym i nieograniczonym Wszechświecie. Według niego, Wszechświat już znajduje się w stanie równowagi, a „nasz świat” jest fluktuacją, odchyleniem od równowagi, w którym entropia miałaby lokalnie rosnać¹³.

Zatem gdyby stosować entropię w najszerszej skali i uznać Wszechświat za układ izolowany, wtedy jego entropia rosłaby do stanu maksymalnego, z którego już nie można by dokonać żadnej innej zmiany, a więc byłaby to śmierć fizycznego Wszechświata. W takim ujęciu przyjmuje się jednak co najmniej dwie hipotezy nieweryfikowalne naukowo: (1) Wszechświat jest rzeczywiście systemem izolowanym oraz (2) poznane dotąd prawa są uniwersalne oraz stałe w czasie

¹¹Zob.: F. Reif, dz. cyt., ss. 186, 234n.

¹²Zob.: J. Turek, „Entropia w kosmologii”, s. 173.

¹³Zob.: M. Heller, dz. cyt., ss. 36–38; autorowi (w tekście podaje on „William Thompson”) chodzi tu zapewne o Williama Thomsona, a nie o Benjamina Thompsona.

i przestrzeni. Na tej samej podstawie, na której określa się entropijną przyszłość, można powiedzieć, że przeszłość również ma skończony czas trwania, a więc kiedyś miał miejsce początek kosmicznej ewolucji. W ten sposób formułuje się ów sławetny entropijny argument za istnieniem Boga¹⁴.

Refleksje filozoficzne dotyczące entropii — w odniesieniu do ważkich zagadnień naukowych, szczególnie kosmologicznych czy biologicznych — nie zawsze są przejrzyste. Zapewne jest to nadal powodowane szukaniem swoistych „dowodów substancjalnych” na rzecz materialistycznego bądź teistycznego światopoglądu. Należy mieć nadzieję, że zgłębianie ściśle naukowego ujęcia entropii dostarczy właściwego wglądu w te ważne zagadnienia. Zanim to nastąpi poznane dotąd teorie fizyczne trzeba jednak jakoś bardziej odpowiedzialnie łączyć na filozoficznym gruncie.

Według J. Turka, w kosmologicznych zastosowaniach entropii podkreśla się dwie trudności w jej ekstrapolacji na pojedynczy Wszechświat: indukcyjny charakter entropii (element niekoniecznościowy) oraz jej statystyczne ujęcie (wyrażone przez prawdopodobieństwo). Miałyby to oznaczać możliwość nieobowiązywania wzrostu entropii we Wszechświecie jako całości. Wątpliwości te okazały się związane z różnorodnym podejściem do entropii w kosmologii i ukazały złożoną rolę entropii w kosmicznej ewolucji: z jednej strony wzrost entropii Wszechświata sugerowałby jego rosnącą dezintegrację prowadzącą od porządku do chaosu, z drugiej zaś strony ewolucja Kosmosu ukazuje wzrost organizacji i złożoności, a więc malenie entropii. Obrazy te, choć przeciwstawne, można starać się jakoś uzgodnić. Kosmologiczne prace Richarda C. Tolmana (1881–1948) czy zagadnienia związane z tzw. parowaniem Hawkinga ukazują, że nauka ma jeszcze wiele do odkrycia w zakresie entropii¹⁵.

Zasada wzrostu entropii miała nierzadko służyć do wyjaśnienia tzw. (termodynamicznej, entropijnej) strzałki czasu. Byłoby to więc

¹⁴Zob.: „Entropia”, [w:] *Dizionario...*, dz. cyt.

¹⁵Zob.: J. Turek, dz. cyt., ss. 173n; bardziej szczegółowe analizy autora, ze względu na ich prowizoryczny charakter, zostają tu pominięte.

fizyczne określenie jego kierunku. Wobec powyższego podkreśla się jednakże statystyczny — zatem niekoniecznościowy — charakter entropii. Nie jest jasne, jak uśrednianie mechanicznych cech mikroskopowych, niewrażliwych na kierunek upływu czasu, miałyby prowadzić do wielkości wskazującej jego kierunek. Wsuwa się przypuszczenie, że może być to przejawem nieznanych efektów kwantowych. Poza tym statystyczny charakter entropii czyni bezpodstawnym jej stosowanie dla pojedynczego obiektu¹⁶.

Jak wspomniano wyżej, entropię wykorzystywano w filozoficznym argumentowaniu istnienia Boga w teologii naturalnej. Ten „entropijny argument” wysuwał już Clausius. Chociaż energia jest zachowana, to jednak entropia rośnie i doprowadzi kiedyś Wszechświat do równowagi termodynamicznej, w której ustaną procesy makroskopowe. Thomson nazywał ten stan „śmiercią cieplną” Wszechświata. Oznacza to z drugiej strony, że do dzisiejszej wartości entropii Wszechświat rozwijał się w skończonym czasie — istniał więc moment jego początku. Teistycznie nastawieni myśliciele wnioskowali, że musi zatem istnieć Stwórca, co spotkało się z ostrą krytyką materialistów. Z metodologicznego punktu widzenia popełnia się tu błąd pomieszania porządków poznawczych: filozoficzną zasadę (stworzenia, absolutnego porządku czy też istnienia Stwórcy) określa się indukcyjnym prawem, które nie ma nic wspólnego z filozoficznymi koncepcjami takimi jak: stworzenie z nicości czy samoistność egzystencjalna. Jednakże prawo wzrostu entropii nie musi prowadzić w konieczny sposób do termodynamicznej równowagi oznaczającej śmierć Kosmosu. Wnioskować można jedynie to, że nie są znane przyczyny, dlaczego we Wszechświecie bardziej prawdopodobne jest nieuporządkowanie niż porządek; choć mechanika statystyczna wskazuje, że stanów nieuporządkowanych jest więcej, więc łatwiej byłoby zniszczyć porządek niż — w sposób ściśle określony — go zaprowadzić¹⁷. W ogólności chodzi zatem o to, że czym innym jest filozoficzna interpretacja nauk przyrodniczych, a czym innym — nieuprawniona „naukowa” ekstra-

¹⁶Zob.: tamże, s. 175.

¹⁷Zob.: tamże, ss. 175n.

polacja w dziedzinę filozofii. Z tej perspektywy fizyczny, „entropijny argument” nie jest poważnym argumentem filozoficznym.

W biologii entropia dotyczy rozpraszania swobodnej energii organizmu a jej użycie w tej dziedzinie jest dyskusyjne, gdyż organizmy biologiczne są zwykle otwarte na środowisko. Niektórzy zwolennicy autonomii świata ożywionego nawet w ogóle wyłączają entropię z biologii, wykluczają bowiem możliwość wytłumaczenia życia prawami pozabiologicznymi, inni — zazwyczaj redukcjoniści — uważają, że układy biologiczne podlegają fizyce, a więc również entropii. Jednakże już Boltzmann wskazywał na użyteczność entropii jako funkcji stanu i zastosowania jej w biologii. Twórca nierelatywistycznej mechaniki kwantowej, Erwin Schrödinger (1887–1961), wyjaśnił funkcjonowanie organizmów biologicznych przez wprowadzenie pojęcia tzw. entropii ujemnej, będącej miarą uporządkowania cechującego organizmy żywe. Badania nad przemianą materii żywych organizmów ukazały, że wytwarzają one swoje uporządkowanie kosztem pobierania ujemnej entropii (negentropii) z otoczenia. Takie podejście do biologii traktuje organizmy żywe jako swoiste „systemy informacji”: organizm pobiera masę, energię i informację z otoczenia i podnosi przez to swój stopień organizacji, zmniejszając entropię. Ewolucyjne różnicowanie się tak pojętych systemów informacji preferuje formy coraz lepiej uporządkowane. W ten sposób biosfera Ziemi podporządkowała sobie zasoby energii, zwłaszcza tej pochodzącej ze Słońca do tego stopnia, że — zdaniem niektórych biologów — negentropia przeważa nad entropią planety¹⁸.

W filozoficznych dociekaniach nad energią i entropią swego rodzaju graniczną postawę przyjął Wilhelm Ostwald (1853–1932). Ten wpływowy chemik był jednym z twórców monizmu energetycznego uznającego energię i rządzące ją prawa za fundamentalną rzeczywistość. W kategoriach energetycznych Ostwald tłumaczył „niepoprawne” pojęcia masy, siły czy materii (nie chodzi tu o relatywistyczną równoważność, ale filozoficzną wtórność pojęcia materii względem energii). Swoje tezy energetyczne Ostwald rozszerzył także na bio-

¹⁸Zob.: S. Zięba, „Entropia w biologii”, ss. 176n.

logię (zmysły reagują na zmiany energii), odchodząc przy tym od mechanicyzmu, materializmu i atomizmu. Materia bowiem, według Ostwalda, byłaby jedynie przestrzennie uporządkowaną energią, której nie można zniszczyć, ale którą można przetwarzać na różne jej formy. Czas związany byłby ze wzrostem entropii, a prawo dyssypacji obowiązywałoby nie tylko w fizyce, ale i we wszystkich procesach zachodzących w świecie, włączając w to ludzkie myślenie, działanie i wszelakie zjawiska społeczne. Świadomość miałaby być u człowieka przejawem jego „energii nerwowej”. Ludzkimi wyborami i wartościami miałby rządzić tzw. imperatyw energetyczny: Nie trwój energii, ale ją zastosuj. Oznaczał on, przynajmniej początkowo, m.in. poszukiwanie takich form współpracy międzynarodowej w nauce, aby wysiłki uczonych nie były tracone. Nietrudno jednak dostrzec, w tak substancjalnym podejściu Ostwalda do energii, filozoficznie niedopracowanego systemu, gdyż energetyczny monizm, który uczony chciał wprowadzić do filozofii według naukowych zasad antymetafizycznych, właśnie z energii uczynił metafizyczną zasadę wszechrzeczy, niesprawdzalną naukowo. W imię tak słabo ugruntowanej filozofii Ostwald jednak ostro walczył z religią, uważając, że ludzkie potrzeby religijne zanikną wraz z postępem nauki. Ostwald, sądząc, że nauka stanowi najwyższą wartość, sam czynił z niej swoistą religię, mniej lub bardziej parodiując przy tym, może nieświadomie, religię objawioną (np. w *Kazaniach niedzielnich*). Moralny kolaps monizmu energetycznego jest sam w sobie wymowny. Wpływowy uczony i społecznik Ostwald, w obliczu I wojny światowej z pacyfisty i internacjonalisty stał się wyznawcą Niemieckiego imperializmu¹⁹. Epilogiem monistycznej substancji widzianej przez Ostwalda w energii było uznanie, że Niemcy stanowią najwyższą formę w rozwoju ludzkości, co objawia się w organizacji, wydajności i maksymalnej oszczędności energii Rzeszy Niemieckiej²⁰.

Jak widać, uznanie praw naukowych za filozoficzny pewnik może być dramatyczne. Ale jest także i druga strona tego filozoficznego nastawienia, skierowana właściwie przeciw samej nauce. Jak zauważa

¹⁹Zob.: E. Czerwińska, „Przedmowa”, ss. 7–36.

²⁰Zob.: M. Čapek, „Ostwald, Wilhelm”, ss. 5n.

Heller, „[j]est rzeczą symptomatyczną, że żadnemu z ówczesnych krytyków zasady termodynamiki nie przyszło nawet na myśl, w jaki sposób może ją ograniczyć nauka przyszłości”. W kontekście ogólnej teorii względności, jak to zauważył pierwszy Tolman, II zasada termodynamiki wymaga uogólnienia, a równowaga termodynamiczna powinna zależeć także od grawitacji. W ogólnych rozważaniach kosmologicznych trzeba zatem odwoływać się do termodynamiki relatywistycznej²¹.

3. STAŁOŚĆ I ZMIANA — ODWIECZNY PROBLEM W FILOZOFII

Poszukiwanie „substancji” w postaci zachowywanej energii i tłumaczenie jej przemian w fizycznym świecie ma, jak widać w tym szkicowym ujęciu, bogatą przeszłość, a także swoistą redukcjonistyczną tradycję prowadzącą do monizmu, będącego — w filozoficznym sensie — swoistym materializmem (np. u W. Ostwalda²²). Niezachowanie tego, co pierwotnie rozumiano przez energię mechaniczną i poszerzenie pojęcia energii o pojęcie ciepła, a następnie kolejne rozciąganie pojęcia energii na inne pojęcia związane z różnymi jej rodzajami, sprawiają, że „energia” ewoluuje, poszerza się jej znaczenie. Jednak tym samym badania Wszechświata wskazują, że nie w dziedzinie fizycznych wielkości i pomiarów należy szukać filozoficznej „substancji”, gdyż sama nauka opiera się na innym fundamencie, na badzie którego możliwe jest formułowanie zasad zachowania. Należy się spodziewać, że dalszy rozwój nauki przyniesie odkrycia jeszcze innych rodzajów energii (np. w biologii), które wciąż będą poszerzać fizyczną zasadę jej zachowania. Podobnie ma się sprawa z pojęciem entropii (czy negentropii w biologii). Pojęciom tym można przewidywać bardzo bogatą i ważną ewolucję, która — zachowując fizyczne prawo — coraz

²¹Zob.: M. Heller, dz. cyt., ss. 38–39.

²²Chociaż Ostwald uważał siebie za (fizycznego) antymaterialistę, z punktu widzenia filozofii jego energetyczny monizm właśnie taki jest, gdyż za jedyną substancję uznaje fizyczną energię, z której wyprowadzał dosłownie wszystko.

wyraźniej będzie falsyfikować „substancjalność” nauk przyrodniczych. Nauki te opierają się bowiem na bardziej solidnym fundamencie niż najlepsze i nawet najprecyzyjniejsze eksperymenty.

Obok tego przyrodniczo „substancjalnego” podejścia do nauki, obecne jest w niej także inne — reprezentowane m.in. przez Fouriera. Jego wkład do nauki o ciepłe był bardzo istotny i zasługuje na szczególną uwagę choćby z tej racji, że Fourier podchodził do opisu ciepła, abstrahując od filozoficznych sporów dotyczących jego natury (cieplik albo atomy). Jednakże autorowi *Théorie analytique de la chaleur* chodziło o coś bardziej fundamentalnego. Fourier wyraził swoją filozofię fizyki następująco: „Zjawiska cieplne odbywają się według niezmiennych praw, których nie można odkryć bez pomocy analizy matematycznej. Celem teorii, którą tu objaśniamy, jest wykazanie tych praw; sprowadza ona wszystkie badania fizyczne nad rozchodzeniem się ciepła do zagadnień rachunku całkowego, którego elementy są dostarczone przez doświadczenie”²³. Trudno o bardziej poprawny metodologicznie wzór uprawiania fizyki. Fourier wskazuje tu jednoznacznie, że fundamentem, „substancją” fizyki, jest matematyka.

Nie zawsze jednak kontynuacja genialnych poprzedników jest równie klarowna filozoficznie czy rozwijana przez jego następców. Po Fourierce, podobnie jak po Newtonie, fizycy chętnie powracają do przyrodniczej „substancjalności”, jak na to wskazuje ewolucja pojęć energii i entropii. Heller podaje, że to Fourier zauważył, iż równanie opisujące przewodzenie ciepła ma rozwiązanie jedynie dla dodatnich wartości czasu — i właśnie ta uwaga stała się inspiracją dla Thomsona do wyciągania filozoficznych wniosków dotyczących zerowego punktu na osi czasu²⁴. Następnie filozofia przyrodniczego czasu miałyby argumentować za istnieniem Boga tak, jakby to Bóg miał podlegać fizycznym prawom. A przecież prawom tym nie podlega już sama, fundamentalna dla fizyki matematyka.

²³J.-B.J. Fourier, *Théorie analytique de la chaleur*, pocz. rozdz. 1, [za:] A.K. Wróblewski, dz. cyt., s. 338.

²⁴Zob.: M. Heller, dz. cyt., ss. 36–37.

Immanuel Kant (1724–1804) dokonał bardzo ważnego spostrzeżenia odnoszącego się do roli matematyki już nie tylko w fizyce, ale w ogóle w naukach przyrodniczych:

[...] w każdej poszczególnej nauce przyrodniczej jest tylko tyle nauki ścisłej, ile jest w niej zawartej matematyki [...] ścisła nauka, szczególnie przyrodnicza, wymaga części ścisłej polegającej na poznaniu zjawisk przyrody *a priori*, na której opiera się część empiryczna [...] Jak długo jeszcze nie znajdzie się właściwego pojęcia [ścisłego] [...] tak długo [...] [nauka przyrodnicza] nie może być niczym innym więcej, jak jedynie sztuką usystematyzowaną, albo nauką eksperymentalną — nigdy jednak nauką we właściwym tego słowa znaczeniu [...]]²⁵.

Na zasadę zachowania energii można zatem spojrzeć czysto matematycznie tak, że wyraża ona prawo, które przybiera postać matematycznej równości dla sumy różnych form energii:

$$E_{\text{całkowita}} = E_{\text{forma1}} + E_{\text{forma2}} + \dots = \text{const}$$

Oczywiście, tej formule towarzyszy pewien „efekt Ostwalda” — została ona zapisana z pewnym minimalnym wydatkiem energii etc., ale — z punktu widzenia matematyki — żadna fizyczna energia nie jest konieczna do wyrażenia matematycznej równości; równości takich jest nieskończenie wiele, mogą to być nawet sumy nieskończone (jak przy sumowaniu energii pola), a jednak niewymagające żadnej fizycznej energii i żadnej fizycznej dyssypacji. Matematyczna równość zachowuje matematyczną prawdę, matematyczną treść na sposób całkowicie niefizyczny. Elementy tego równania mogą być dostarczane przez eksperyment, jakby powiedział Fourier, a gdy zostaną właściwie rozpoznane — oznacza to, że nauka osiągnęła ścisłość.

²⁵I. Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, [w:] H.E. Fierz-Dawid, *Historia rozwoju chemii*, s. 14, [za:] A.K. Wróblewski, dz. cyt., s. 383; Kant mówi tu o chemii; Wróblewski ma tu błędne imię Fierz-Dawida. Kanta ograniczona filozofia matematyki nie wytrzymuje współczesnej krytyki i ze względu na poboczne znaczenie jest ona tu pomijana. Jest ona jednak wystarczająco ostra, by ukazać rolę matematyki i doświadczenia w jakichkolwiek naukach przyrodniczych.

4. PODSUMOWANIE

W naukach przyrodniczych dostrzec można nieustanną ewolucję pojęć: energii i entropii. Na wybranych przykładach z historii fizyki odkryte zasady zachowania energii czy wzrostu entropii skłaniały uczonych do filozoficznych deklaracji wykraczających poza metodę ściśle naukową. W fizycznej energii czy entropii (odniesionej do czasu) chciano odnaleźć substancjalne obiekty podległe stosownemu prawu zachowania. Jednakże „kandydaci” na takie substancje nie mogą być wielkościami fizycznymi, których pojęcia wciąż ewoluują, gdyż to, co miałyby być zachowywane, wraz z odkryciami w nauce jest uzupełniane o nowe formy i ograniczenia. Dokonuje się to na bazie równań matematycznych. I tak np. chcąc mieć formę równania: $E = const$, należy wciąż dookreślać różne „formy” energii, a wskazanie fizycznego obiektu „substancjalnego” jak dotąd nie jest możliwe. Zgoła inaczej zachowuje się sama matematyczna treść wyrażająca matematyczną równość. Oznacza ona, że „stałość” jest w matematyce, w wyrażeniu matematycznie prawdziwym, w niezmienności matematycznej prawdy, wyrażonej na wiele równych sobie sposobów. Spojrzenie od tej strony wskazuje na substancjalną rolę matematyki w fizyce. Matematyka nie jest więc tylko językiem wyrazu wielkości fizycznej, bardziej precyzyjnym niż język potoczny; nie jest jedynie „zmatematyzowaniem” (wyabstrahowaniem) ilościowym jakiegoś „bytu”. Matematyka, którą wyraża się prawo zachowania, przenosi niezmienniczą matematyczną treść w fizykę i na niej opiera się doświadczenie. Rozpoznanie więc form energii oznacza „wstrzelenie” się w matematyczną „stałość” równania realizowanego w całym bogactwie nieskończonego pola matematycznych równości. Można powiedzieć, że chwilowe niezachowanie takiego równanie „czeka” na właściwy człon, na jego pojawienie się w fizycznej interpretacji, także eksperymentalnej. Z tej perspektywy fizyka jawi się jako niezmierne bogactwo realizacji równości matematycznych na nieograniczoną liczbę sposobów, wciąż utrzymującą się w zgodzie z pewną fundamentalną, najprostszą

równością: $E - const = 0$, gdzie poszczególne składniki rozwinięcia $E = E_1 + E_2 + \dots$, to tylko „chwilowe substancje” fizyczne.

Matematykę odkrywają osoby. Co prawda można nauczyć komputery mechanicznego operowania liczbami czy symbolami, ale uchwycenie matematycznych treści właściwe jest jednak tylko osobom. Substancjalność osób przewyższa „substancjalność” ewoluującego zresztą świata.

LITERATURA CYTOWANA

- Čapek M.**, „Ostwald, Wilhelm”, [w:] *The Encyclopedia of Philosophy*, t. 6, [ed. in chief:] P. Edwards, The Macmillan & The Free Press, New York, Collier — Macmillan, London 1967, ss. 5n.
- Clausius R.**, „Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie”, *Ann. Phys.* **125**, 353 (1865).
- Czerwińska E.**, „Przedmowa”, [w:] W. Ostwald, *Wybór pism*, [red.:] E. Czerwińska, CoOpera t. V, Wyd. Naukowe Inst. Filozofii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań 2002, ss. 7–36.
- Dizionario delle idee*, Centro di studi filosofici di Gallarate, G.C. Sansoni Editore, Firenze 1977.
- Encyclopaedia Britannica*, <<http://www.britannica.com>>.
- Fierz-Dawid H.E.**, *Historia rozwoju chemii*, PWN, Warszawa 1958.
- Fourier J.-B. J.**, *Théorie analytique de la chaleur*, Paryż 1822.
- Heller M.**, „Zagadnienia kosmologiczne przed Einsteinem”, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 37 (2005), ss. 32–40.
- Kant I.**, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Riga 1786.
- Leksykon PWN*, Warszawa 1972.
- [PEF] *Powszechna Encyklopedia Filozofii*, Polskie Towarzystwo Tomasza z Akwinu, Lublin 2000–2008.

- Piersa H.**, „Entropia. Entropia w fizyce”, [w:] [PEF], t. 3 (2002), s. 172.
- Poncelet J.-V.**, *Introduction à la mécanique industrielle*, Paryż 1829.
- Reif F.**, *Fizyka statystyczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975.
- Turek J.**, „Entropia w kosmologii”, „Entropia a teologia naturalna”, [w:] [PEF], t. 3 (2002), ss. 172–176.
- Wróblewski A.K.**, *Historia fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- Zięba S.**, „Entropia w biologii”, [w:] [PEF], t. 3 (2002), ss. 176–177.

SUMMARY

WHAT DID THE NOTION OF ENTROPY INTRODUCE INTO PHILOSOPHY?

In the article the emergence of notions: energy and entropy is studied. New physical discoveries were interesting for the domain of natural theology as well. The evolution of the notions in physics makes sometimes too simplistic expectations for philosophy of scientists. As an example Ostwalds' energetism is given, where even ethics had its energetic imperative. On the other hand Fourier's type of philosophical elements in science is shown where fundamental role of mathematics is presupposed.