

„UMARŁ KRÓL, NIECH ŻYJE
KRÓL”: NADCHODZI NOWA
ERA — EMERGENCJI
W NAUKACH
PRZYRODNICZYCH?

◇ Robert B. Laughlin, *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*, Basic Books, New York, Hardcover 2005, Paperback 2006, ss. 254.

„Istnieją dwa podstawowe, wzajemnie sprzeczne impulsy ludzkiego umysłu — jeden, by upraszczać rzeczy do ich istotnych składowych, oraz drugi — aby patrząc przez pryzmat elementów składowych, widzieć dalej idące konsekwencje”. Tymi słowami zaczyna się książka, napisana przez laureata nagrody Nobla z fizyki Roberta B. Laughlina.

Przenosi ona czytelnika w sam środek toczącego się w nauce sporu na temat możliwości wyjaśniania otaczającego nas świata przy pomocy podejścia redukcyjnego, polegającego na rozkładzie złożonego problemu, na prostsze składowe i opisanie jego własności poprzez własności elementów składowych.

Pojęcie własności emergentnych, czy też szerzej emergencji, zostało po raz pierwszy użyte w naukach biologicznych, celem uzmysłowienia prostego, zdawałoby się, faktu, oczywistego dla biologów, a prawie zupełnie nie dostrzeganego lub nie przyjmowanego do wiadomości przez fizyków: w świecie ożywionym istnieją własności organizmów złożonych, których nie można wyjaśnić przy pomocy ich redukcji do praw fizycznych. Podczas powstawania struktur złożonych, pojawiają się nowe własności, zupełnie nieprzewidywalne z własności, jakie posiadały elementy składowe, swoista wartość dodana. Innymi słowy, nie mamy do czynienia z procesem liniowym, gdzie poprzez proste sumowanie dochodzimy do końcowego wyniku, lecz raczej z procesem (procesami) nieliniowym, w którym — jak pisał Arystoteles — „całość to więcej niż suma części”.

Przez długi czas pojęcia te funkcjonowały głównie w biologii i stopniowo były coraz powszechniej uznawane za prawdziwie opisujące problem, choć nie brako-

wało też naukowców, wychowanych w paradygmacie redukcjonizmu, którzy uważali, że niemożność wyjaśnienia jakichś własności struktur przyrody ożywionej wynika w zasadzie albo z niewłaściwego opisu własności elementów składowych, albo (biorąc pod uwagę stopień złożoności problemu) niewystarczających mocy obliczeniowych, by problem rozwiązać dokładnie, a nie z wadliwości podejścia redukcyjnego. Z czasem pojawiało się jednak coraz więcej głosów, że również w fizyce, dyscyplinie, w której podejście redukcyjne odniosło niewyobrażalne wręcz sukcesy, istnieją problemy, których to podejście rozwiązać nie pozwala. Sztandarowe przykłady takich zjawisk występują w fizyce ciała stałego, nie dziwi więc fakt, że za przybliżenie tego typu zjawisk szerszej publiczności zabrał się fizyk teoretyk, specjalizujący się w fizyce ciała stałego.

Robert B. Laughlin, jest laureatem nagrody Nobla z fizyki, za teoretyczne wyjaśnienie cząstkowego kwantowego efektu Halla. Laughlin, ukończył w Berkeley studia inżynierskie, uzyskał doktorat na MIT i później pracował m.in. w Bell Labs. i Livermore National Laboratory, skąd przeniósł się do Stanford, gdzie pracuje do dnia dzisiejszego na Wydziale Fi-

zyki. W trakcie swojej kariery zawodowej, mając kontakt z najnowszymi pracami teoretycznymi i eksperymentalnymi z zakresu fizyki ciała stałego, jak sam pisze, mimo, że w głębi serca jest (jak wszyscy fizycy) redukcjonistą, miał coraz głębsze przekonanie, że podejście redukcjonistyczne zawiera nieusuwalne braki, uniemożliwiające wyjaśnienie wielu własności, będących skutkiem kolektywnych zachowań wielkiej liczby cząstek (elektronów, jonów, atomów).

Laughlin pisze: „Nauki fizyczne mówią nam, że całość, będąca czymś więcej niż sumą części, nie jest po prostu koncepcją, a rzeczywistym zjawiskiem fizycznym. Natura jest rządzona nie tylko przez reguły świata mikroskopowego, ale również przez potężne i ogólne zasady organizacji. Niektóre z nich są znane, ale większość z nich nie. [...] Główne elementy tego przesłania zostały wyartykułowane w pracach I. Prigogine'a oraz w sposób jeszcze bardziej oryginalny w sławnym eseju P.W. Andersona 'More is Different', opublikowanym 30 lat temu. Esej ten jest dzisiaj równie aktualny i inspirujący, jak wtedy i wciąż wymagam jego przeczytania od studentów, którzy chcą ze mną pracować”. Ostatnie zdanie pokazuje wagę, jaką Laughlin

przywiązuje do własności emergentnych. Dalej czytamy: „Moje poglądy są w sposób istotny bardziej radykalne, niż poglądy moich poprzedników, ponieważ zostały wyostrzone przez ostatnie zdarzenia. Jestem w sposób narastający przekonany, że *wszystkie* prawa fizyczne jakie znamy, a nie tylko niektóre z nich, mają swoje źródło w zjawiskach kolektywnych. Innymi słowy, rozróżnienie pomiędzy prawami fundamentalnymi, a prawami z nich wynikającymi jest mitem, podobnie jak idea władania wszechświatem wyłącznie za pomocą matematyki”.

Ostatnie zdanie stanowi swoje izy wyznanie wiary autora, do którego stara się on przekonać czytelnika, prowadząc go krok po kroku, od przykładu do przykładu, do końcowej tezy, głoszącej koniec ery redukcjonizmu i początek nowej ery — ery emergencji. Czytelnik musi sobie sam odpowiedzieć na pytanie, czy zamierzenie autora tej książki się powiodło.

Książka Laughlina napisana jest żywym, klarownym językiem; zawiera wiele odniesień do osobistych wspomnień autora, oraz zabawnych historyjek, pełnych humoru i szczypty autoironii. Zawartość książki, można umownie podzielić na trzy części. W pierwszej z nich, autor przedstawia szereg

przykładów dotyczących uniwersalnych fundamentalnych stałych fizycznych, takich jak prędkość światła, stała Rydberga, stała Josephsona, ładunek elektronu, których wartości zostały eksperymentalnie zmierzone z bardzo dużą precyzją. Według autora, prowadzi to do dualnego na nie spojrzenia — z jednej strony jako na niezależne, obiektywnie istniejące „stałe fundamentalne”, a z drugiej jako na wielkości, których stałość, jest efektem zachodzących zjawisk kolektywnych, zgodnie z zasadą organizacji.

Autor pokazuje, że np. stała Plancka h , fundamentalna stała w opisie mikroświata, czy ładunek elektronu e , mimo, że są wielkościami związanymi z podejściem wysoce redukcjonistycznym, najdokładniej wyznaczane są przy wykorzystaniu zjawisk kolektywnych, jako kombinacja stałych Josephsona i von Klitzinga — stałych, które można zmierzyć korzystając z chłodziarki kriogenicznej i woltomierza. Fakt ten, jak pisze Laughlin „[...] stanowił ogromne zaskoczenie, gdy to odkryto, ponieważ próbki, dla których prowadzono pomiary stałych Josephsona i von Klitzinga były wysoce niedoskonałe. Chemiczne zanieczyszczenia, defekty atomowe, granice międzyziarnowe i powierzchnie o róż-

nej morfologii, występowały obficie i powinny były uniemożliwić pomiary z tak dużą precyzją. Fakt, że tak się nie stało, *dowodzi*, że zadziałała potężna zasada organizacji”.

Rozważając elementarny ładunek elektryczny, Laughlin pisze, że „wszyscy jesteśmy przyzwyczajeni do myślenia o ładunku, jako o cełce natury, wymagającej, by żaden kontekst kolektywny nie miał sensu. Powyższe eksperymenty pokazują, że tak nie jest. Pokazują one natomiast, że ładunek elektryczny ma sens *tylko* w kolektywnym kontekście, jaki może dostarczyć np. próżnia, modyfikująca ładunek w taki sam sposób, jak modyfikuje długość fali cząstek [symetria cechowania — AK]. [...] Zagadka ładunku elektronu, jak się okazuje, nie jest wyjątkiem. To samo dotyczy wszystkich stałych fundamentalnych, wymagających kontekstu otoczenia, aby miały sens”.

W kolejnych rozdziałach autor przedstawia szereg przykładów zjawisk emergentnych w przyrodzie nieożywionej: istnienie faz jako takich, przemiany fazowe, przejścia fazowe, własności sprężyste, ferroelektryczne itp. Zdaniem autora, „fazy materii, pomiędzy nimi znane nam faza stała, ciekła i gazowa, są zjawiskami or-

ganizacji”. Równocześnie, „kolektywny stan materii jest jednoznacznie identyfikowalny poprzez jedno lub więcej zachowań, które są dokładne dla dużych skupisk materii, a niedokładne lub nieistniejące dla małych. Ponieważ ich zachowanie jest ściśle określone, dokładne, to nie może zmieniać się w sposób ciągły, podczas zmiany zewnętrznych warunków, takich jak ciśnienie czy temperatura, ale może zmienić się wyłącznie w sposób nieciągły w postaci przejścia fazowego. Jednoznaczny znak zjawiska organizacyjnego jest więc ostre przejście fazowe. Przejście fazowe jest jednakże tylko symptomem występowania zjawisk kolektywnych. Ważne jest nie przejście fazowe, ale emergentna dokładność (exactness) własności, która to przejście wymusza”. Oprócz tych typowych, powszechnie wokół nas spotykanych zjawisk emergentnych, istnieją też (skrótowo omówione przez autora) bardziej osobliwe, występujące w bardzo niskich temperaturach, zjawiska nadprzewodnictwa czy nadciekłości.

Druga część książki dotyczy zjawisk kwantowych i związanych z nimi szeregu zjawisk emergentnych. Jednym z fundamentalnych problemów mechaniki kwantowej jest problem pomiaru. Lau-

ghlin pisze, że „jak dotąd, najbardziej szalonym aspektem mechaniki kwantowej jest mieszanina Newtonowskiego determinizmu z raczej upiornym indeterminizmem probabilistycznym. [...] Jest częścią wiedzy w mechanice kwantowej, że to akt pomiaru sam przerywa deterministyczną ewolucję układu w czasie. [...] Reguła probabilistyczna opisuje pewne doświadczenia całkiem dokładnie i jest w tym sensie prawdziwa. Jak jednak zasada pewna może wynikać z niepewnego wyniku eksperymentu, jest ważnym i interesującym pytaniem”.

Zdaniem Laughlina, „idea, która została zagubiona w przypadku pomiaru kwantowego, jest emergencja, szczególnie zasada łamania symetrii, konieczna, aby sensownie mówić o aparaturze pomiarowej. [...] Każdy detektor kwantowy jest zbudowany z ciała stałego, stąd każdy wykorzystuje charakterystykę łamania symetrii stanu stałego. Efekt, który ujawnia się tylko przy dużych rozmiarach”. Równocześnie „przyczyną, dla której łamanie symetrii jest tak trudne do wydedukowania z praw mechaniki kwantowej, jest to, że świat jest splątany konfiguracyjnie”.

Zagadnieniem niezmiernie interesującym, o potencjalnie du-

żych skutkach praktycznych dla gospodarki światowej (ze względu na zastosowania w kryptografii), jest idea komputera kwantowego. Laughlin, opisując ideę takiego komputera, jednoznacznie stwierdza, że każdy komputer kwantowy ma dyskwalifikującą go pięć Achillesa: efekt odróżniający komputer kwantowy od klasycznego, zjawisko splątania, jest również przyczyną indeterminizmu kwantowego. „Kwantowo-mechaniczna funkcja falowa faktycznie ewoluuje deterministycznie, ale próba jej zamiany na sygnał możliwy do odczytania przez człowieka, generuje błędy. [...] Książkowa metoda ominięcia problemu, to utworzenie bardzo wielu kopii tego samego eksperymentu... Jednakże logiczną konsekwencją takiego zabiegu jest stworzenie nie nowego, cudownego komputera kwantowego, ale konwencjonalnego komputera analogowego”. Zdaniem autora, „prawdziwym komputerem kwantowym, jest, co oczywiste, stary dobry silikon”.

Następnie autor przechodzi do zagadnień (ze względu na zainteresowania i otrzymaną nagrodę Nobla) szczególnie mu bliskich, opisując szczegółowo kwantowe efekty w półprzewodnikach: kwantowy całkowity i cząstkowy efekt Halla, nadprzewodnictwo, efekty Meis-

snera i Josephsona, powstawanie i rozchodzenie się dźwięku w kryształach, podobieństwo pomiędzy własnościami emergentnymi fononów i fotonów, omawia naturę czasoprzestrzeni oraz prawdopodobną kolektywną naturę powiązanych wzajemnie własności światła i grawitacji.

W trzeciej części, już luźniej związanej z poprzednimi dwoma, Laughlin przedstawia szereg przykładów samoorganizacji w przyrodzie, przechodząc następnie do opisu swoistych własności ochronnych natury. Chodzi mu o to, że „natura sama z siebie zapewnia ochronę, poprzez prawa niewrażliwe na destabilizujące zewnętrzne zakłócenia. Ochrona ta, generuje dokładność (exactness) i stabilność strukturalną (reliability) w świecie fizycznym [...] wskutek spontanicznej samoorganizacji”. Przykładami tej ochronnej samoorganizacji, są m.in. uniwersalne własności uporządkowania ciał stałych, niewrażliwość sztywności materiału na zaburzenia położenia atomów itp. Własności elastyczne ciał stałych ukrywają przed nami istnienie i rodzaj atomów, ponieważ są konsekwencją uporządkowania i będą jakościowo identyczne, jeśli zastąpimy jeden rodzaj atomów innym.

Książka kończy się rozdziałem, zatytułowanym „Era emergencji”. Laughlin pisze w nim, że „nauka przenosi się teraz z Ery Redukcjonizmu, do Ery Emergencji, czasów, gdy poszukiwanie ostatecznej przyczyny rzeczy przeniosło się z zachowania części, na zachowanie zbiorowości. [...] Dominującym teraz paradygmatem staje się samoorganizacja. To jest powód, dla którego na przykład od studentów wydziałów elektrycznych, często nie wymaga się teraz uczenia się praw elektryczności — które są bardzo eleganckie i oświecające, ale kompletnie bez znaczenia w programowaniu komputerów”.

Odnosnie praw przyrody, autor pisze: „Mit zachowań kolektywnych, wynikających z istnienia praw jest błędny. Jest dokładnie odwrotnie — prawa są skutkiem zachowań kolektywnych”. Książka kończy się stwierdzeniem: „Żyjemy nie na końcu ery odkryć, ale na końcu ery redukcjonizmu, czasu, w którym fałszywa ideologia ludzkiego poznania wszystkich rzeczy za pomocą mikroskopu, została zmieciona przez wydarzenia i rozum. Nie znaczy to, że prawo mikroskopowe jest błędne albo bez znaczenia, ale tylko tyle, że zostało zinterpretowane jako nieistotne w wielu przypadkach, przez ich dzieci i dzieci ich dzieci, prawa

świata wyższego poziomu zorganizowania”.

Na zakończenie kilka drobnych uwag technicznych — autor nie ustrzegł się pewnych nieścisłości, jak choćby, gdy pisał o własnościach sprężystych, „ukrywających” atomy przed naszymi oczami. Prawdą jest, że jakościowo, z punktu widzenia tych własności i prawa Hooke’a, jest nieistotne, jakiego rodzaju atomy tworzą daną sieć krystaliczną. Jednakże ilościowo ma to istotne znaczenie i przekłada się na różne wartości składowych macierzy stałych sprężystości. Niektóre tezy autora (choćby teza o końcu ery redukcjonizmu i nastaniu nowej ery — ery emergencji), są dosyć kontrowersyjne, ale każdy czytelnik musi sobie sam wyrobić opinię na temat ich zasadności. Generalnie jednak, książka napisana została przejrzysto, bez zbędnego wchodzenia w detale, zaciemniające czasem obraz, styl autora jest jasny i precyzyjny, co mimo skłonności autora do dygresji, często odbiegających dosyć daleko od głównego wątku, nie uniemożliwia czytelnikowi śledzenia jego myśli.

Książka ta porusza bardzo ważne zagadnienia samoorganizacji i emergencji własności w otaczającym nas świecie fizycznym. Większość z nas tak przyzwyczaiła

się do występowania różnych stanów materii, przejść fazowych (parowania, kondensacji, krystalizacji, topnienia itp.), że zwykle całkowicie bezrefleksyjnie ten stan rzeczy akceptujemy. Szkolna edukacja, naznaczona paradygmatem redukcyjnego podejścia do analizy problemu, w połączeniu z bardzo dużą skutecznością teorii fizycznych w objaśnianiu zjawisk fizycznych, prowadzi do przekonania, że w otaczającym nas makroskopowym świecie przyrody nieożywionej w zasadzie nie ma specjalnych tajemnic, a jeśli czegoś nie wiemy, to zwykle wskutek braku możliwości obliczeniowych, finansowych lub po prostu ze względu na małą wartość poznawczą nierozwiązanego problemu, a nie dlatego, że to coś jest skutkiem występowania zupełnie innych, jakościowo różnych praw w przyrodzie, zjawiskiem niemożliwym do wyjaśnienia przy pomocy obecnie istniejących teorii fizycznych. Stąd zwrócenie przez Laughlina uwagi na aspekty emergentne własności makroskopowych w otaczającym nas świecie wydaje się być ważne i potrzebne.

Książkę tę można, moim zdaniem, z czystym sumieniem polecić każdemu, kogo interesują zagadnienia leżące na pograniczu fizyki i filozofii. O ile bowiem książka

traktuje o rzeczach czysto fizycznych, o tyle jednak pojęcia emergencji i redukcji należą w sposób oczywisty również do obszaru zainteresowań filozofii przyrody. Można zgodzić się z opinią recenzenta czasopisma *New Scientist*, umieszczoną na okładce książki, że powinna ona należeć do kanonu obowiązkowych lektur badaczy, nauczycieli i studentów fizyki. Od siebie dodam, że również dotyczy to osób zajmujących się filozofią przyrody. Być może lektura tej książki pozwoli czytelnikowi, wychowanemu przez szkolną fizykę w paradygmacie redukcjonizmu, na ujrzenie otaczającego nas świata z trochę innej perspektywy — hierarchicznej struktury emergentnych poziomów wyłaniających się z poziomów leżących poniżej, charakteryzujących się swoistymi własnościami nieprzewidywalnymi na podstawie własności poziomów niższych.

Andrzej Koleżyński

NIEUDANY PODRĘCZNIK

◇ Hans-Dieter Mutschler, *Wprowadzenie do filozofii przyrody*, przekład: J. Bremer, Seria: Myśl Filozoficzna, WAM, Kraków 2005, ss. 238.

Oto mamy kolejny podręcznik do filozofii przyrody na polskim rynku księgarskim. Tym razem jest to przekład z języka niemieckiego. Nowy podręcznik tego działu filozofii powinien cieszyć, gdyż ostatnio zainteresowanie filozofią przyrody wyraźnie wzrasta. Autor piszący podręcznik filozofii przyrody stoi przed większymi wyzwaniem niż autorzy podręczników innych przedmiotów, dla których „kanon obowiązującej wiedzy” jest bardziej ustalony. W przypadku filozofii przyrody nawet podręcznik dla początkujących jest swojego rodzaju monografią, gdyż zarówno sama koncepcja filozofii przyrody, jak i dobór materiału oraz metod badawczych silnie zależą od filozoficznych preferencji autora. Hans-Dieter Mutschler także nie mógł uniknąć konieczności wyboru własnej drogi filozoficzno-przyrodniczej. Wybrał ją na zasadzie klasyfikacji poglądów na naturę filozofii przyrody i odrzucenia wszystkich klas z wyjątkiem jednej.

Klasyfikacja Mutschlera jest przejrzysta choć schematyczna. Dzieli on wszystkie poglądy na filozofię przyrody na „całościowe” i „regionalne” oraz „scjentyistyczne” i „pluralistyczne”. „Całościowe” dotyczą „koncepcji przyrody jako sumy albo całości tego,