Człowiek jako archiwum Wszechświata: historia materii i ewolucja świadomego poznania w świetle dzieła Neila Shubina The Universe Within

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Tekst analizuje rolę czasu w procesach ewolucyjnych i kosmologicznych, odrzucając wizję deterministycznego postępu na rzecz koncepcji czasu jako przestrzeni dziedziczenia. Autor przeciwstawia teleologię kontyngencji, argumentując, że złożone struktury – od nukleosyntezy po ludzką inteligencję – powstają bez odgórnego projektu, lecz jako wynik akumulacji zmian i historycznych zbiegów okoliczności. Wprowadzając pojęcie „ewolucyjnych multiples", artykuł wskazuje na niezależne dążenie organizmów do podobnych rozwiązań biologicznych. Całość ukazuje Wszechświat jako system, w którym porządek wyłania się z prostych praw i lokalnych oddziaływań, a człowiek stanowi zapis tej niezwykle długiej i nieprzewidywalnej historii materii.

The text analyzes the role of time in evolutionary and cosmological processes, rejecting the vision of deterministic progress in favor of the concept of time as a space for inheritance. The author opposes teleology with contingency, arguing that complex structures—from nucleosynthesis to human intelligence—arise without a top-down design, but as a result of the accumulation of changes and historical coincidences. By introducing the concept of 'evolutionary multiples,' the article points to the independent tendency of organisms toward similar biological solutions. Overall, it presents the Universe as a system in which order emerges from simple laws and local interactions, and man constitutes a record of this incredibly long and unpredictable history of matter.

Artykuł stanowi wielopoziomową analizę kondycji człowieka jako produktu splotu historii kosmologicznej, biologicznej i kulturowej. Główna teza zakłada, że człowiek nie jest wynikiem zaplanowanego postępu ani nieuchronnej konieczności, lecz kontyngentnym efektem kumulatywnych procesów, w których czas pełni rolę przestrzeni dziedziczenia, a nie sprawczego innowatora. Autor argumentuje, że złożoność życia wyłoniła się z „ewolucyjnego majsterkowania" i zależności od ścieżki (path dependency), gdzie każde zdarzenie modyfikuje zakres przyszłych możliwości. Kluczowym punktem tekstu jest przejście od ślepej ewolucji do świadomej kultury: człowiek staje się unikalnym systemem, który jako pierwszy w historii materii potrafi rekonstruować własne antecedencje. Ta zdolność autoreferencyjnego poznania zmienia status człowieka z biernego ogniwa łańcucha zdarzeń w podmiot etyczny. W obliczu asymetrii między tempem zmian technologicznych a biologicznymi, wiedza o głębokim czasie przestaje być jedynie akademicką ciekawostką, a staje się fundamentem odpowiedzialności za ślady, jakie nasz gatunek pozostawi w geologicznej przyszłości Wszechświata.

SŁOWA KLUCZOWE

człowiek jako archiwum Wszechświata | ewolucyjne multiples | eksaptacja | zależność od ścieżki | adjacent possible | ewolucyjna histereza | konwergencja ewolucyjna | kontyngencja Goulda | termodynamika złożoności | biologiczny tinkering | nukleosynteza | autoreferencyjność poznania | pamięć strukturalna | kumulatywność ewolucji

Czas jako przestrzeń dziedziczenia a nie gwarant postępu

Czas jako innowator – kontyngencja, konieczność i materia, która nauczyła się rekonstruować własną historię

Po przejściu od pierwotnej nukleosyntezy do genomu człowieka można wreszcie wrócić do idei, która od początku pozostawała ukrytym rusztowaniem całego wywodu: do czasu jako „największego innowatora". Autor książki zestawia tę formułę z Francisem Baconem, socjologią odkrycia Roberta K. Mertona oraz autoironicznym prawem eponimii Stephena Stiglera. Merton

analizował zjawisko niezależnych i niemal równoczesnych odkryć naukowych, wykazując, że idee dojrzewają wewnątrz określonych struktur wiedzy, problemów, technik i instytucji; Stigler zaś żartobliwie zauważył, że prawa naukowe nader często noszą nazwiska osób, które nie były ich pierwszymi odkrywcami. W książce obserwacje te zostają przeniesione na grunt biologii w postaci „ewolucyjnych multiples": niezależne linie organizmów, napotykając podobne problemy, miałyby wielokrotnie dochodzić do zbliżonych rozwiązań. Jest to intelektualnie płodna analogia, jednak jej największa wartość ujawnia się dopiero po oczyszczeniu jej z determinizmu.

Czas sam nie wynajduje. Nie jest siłą fizyczną na równi z grawitacją, selekcją czy dyfuzją. Jest wymiarem, w którym przyczyny pozostawiają skutki, skutki stają się warunkami dalszych procesów, a system może odziedziczyć własną historię. Aforystyczna fraza Bacona jest więc trafniejsza jako filozofia historyczności niż jako twierdzenie przyrodnicze. Autor książki przypisuje jej znaczenie niemal deterministyczne: długie trwanie i akumulacja drobnych zmian miałyby czynić innowację nieuchronną. Nauki o złożoności, ewolucji i historii Ziemi prowadzą jednak do bardziej subtelnego wniosku. Czas jest konieczny, ponieważ bez trwania nie może zachodzić kumulacja mutacji, sedymentacja, dryf kontynentów, ewolucja gwiazd, selekcja ani kultura.

Nie jest on jednak wystarczający. Kilka miliardów lat nie musi wytworzyć wielokomórkowości, inteligencji ani technologii, podobnie jak milion lat nie sprawi, że skały „samodzielnie" utworzą dowolną strukturę. Potrzebne są mechanizmy, odpowiednie warunki początkowe, źródła energii, dostępna zmienność, ograniczenia i historyczne zbiegi okoliczności. Czas nie jest autorem zmian; jest przestrzenią ich dziedziczenia. Ta różnica pozwala uniknąć jednej z najstarszych pokus myślenia o ewolucji – utożsamienia historii z postępem. Z perspektywy współczesnego człowieka trzynaście i osiem dziesiątych miliarda lat może wyglądać jak ciąg prowadzący konsekwentnie od plazmy pierwotnego Wszechświata do organizmu zdolnego pisać równania kosmologiczne.

Taki obraz powstaje jednak wskutek odwrócenia strzałki wyjaśnienia. Znamy wynik, dlatego wcześniejsze zdarzenia układają się nam w drogę prowadzącą do celu. Gdy patrzymy od strony przeszłości ku przyszłości, ta droga znika. W młodym Wszechświecie nie istniało prawo przyrody mówiące, że część wodoru musi kiedyś znaleźć się w cząsteczce ATP ludzkiego neuronu; w pierwszych oceanach nie było konieczności pojawienia się kręgowców; w świecie ssaków mezozoicznych nie było biologicznej obietnicy naczelnych; w Afryce późnego miocenu nie istniał zapisany finał w postaci Homo sapiens. Teleologia jest szczególnie kusząca właśnie dlatego, że każdy zachowany etap rzeczywiście był warunkiem kolejnych.

Złożoność bez projektu i ewolucyjne majsterkowanie

Bez wcześniejszej nukleosyntezy nie byłoby chemicznego repertuaru Ziemi. Bez gwiazd nie powstałyby węgiel i tlen, a bez historii Układu Słonecznego nie byłoby konkretnej planety, na której mogły uformować się oceany. Gdyby nie fotosynteza tlenowa, późniejsze środowisko redoks wyglądałoby zupełnie inaczej; gdyby nie przodkowie strunowców, nie powstałby ludzki kręgosłup. Z tych zależności nie wynika jednak, że wcześniejsze procesy zachodziły w celu utworzenia późniejszych. Warunek konieczny nie jest celem, antecedencja nie jest planem, a możliwość nie jest przeznaczeniem.

To rozróżnienie można uznać za jedno z największych osiągnięć nowoczesnego myślenia historycznego. Dawna kosmologia i filozofia przyrody często skłaniały się ku poszukiwaniu celu, projektu lub naturalnej hierarchii bytów. Darwinowska teoria ewolucji radykalnie zmieniła tę perspektywę: złożone przystosowanie może powstać bez projektanta, jeśli dziedziczna zmienność wpływa na sukces reprodukcyjny przez dostatecznie wiele pokoleń. Analogiczny krok uczyniła geologia w odniesieniu do krajobrazu – góra nie musi zostać zbudowana „dla" rzeki, a kontynent nie istnieje po to, by zamieszkały go określone organizmy. Kosmologia z kolei wykazała, że gwiazdy i galaktyki powstają wskutek działania prostych praw na początkowe niejednorodności, bez konieczności wpisywania w te prawa przyszłych form życia.

Paradoks polega na tym, że usunięcie celu z natury nie usuwa z niej struktury. Przeciwnie: odsłania, jak wiele porządku może wyłonić się bez centralnego planu. Kryształy organizują się dzięki lokalnym oddziaływaniom, atmosfera tworzy wielkoskalowe cyrkulacje wskutek gradientów energii i dynamiki płynów, a komórka utrzymuje skomplikowaną organizację dzięki sieci reakcji chemicznych i przepływów energii. Ekosystem nie posiada dyrektora, mimo że jego składniki tworzą gęstą sieć zależności. Podobnie rynek, język czy kultura generują makroskopowe regularności, których żadna pojedyncza jednostka nie zaplanowała. Złożoność nie jest więc dowodem projektu, lecz często produktem wielokrotnie sprzężonej lokalnej przyczynowości.

Życie dodaje do tego obrazu szczególną właściwość: dziedziczenie. Kryształ może się rozrastać, ale nie prowadzi genealogicznego archiwum selekcji analogicznego do genomu. Organizmy przechowują zmiany w systemach reprodukcyjnych, dzięki czemu kolejne pokolenia startują z konfiguracji osiągniętej wcześniej. Właśnie ta kumulatywność sprawia, że historia biologiczna różni się od zwykłego trwania – każde pokolenie nie zaczyna eksperymentu od zera.

W tym kontekście metafora ewolucji jako majsterkowicza François Jacoba okazuje się szczególnie cenna. Innowacja biologiczna zazwyczaj nie powstaje z idealnie przygotowanych podzespołów zaprojektowanych dla przyszłego zadania. Ewolucja wykorzystuje elementy już istniejące, wraz z

ich ograniczeniami, historycznymi niedoskonałościami i wielofunkcyjnością. Literatura przedmiotu podkreśla, że nowe funkcje często wyłaniają się przez rekombinację i przejęcie dawnych struktur zamiast ich tworzenia od podstaw. Pęcherz pławny i płuca, elementy szczęki przekształcone w kosteczki ucha, białka adhezyjne przodków wykorzystane w wielokomórkowości, opsyny powstałe wskutek duplikacji genu czy utrzymanie ekspresji laktazy w dorosłości – wszystkie te przypadki wyrażają jedną logikę: ewolucyjna nowość jest często nowym zastosowaniem starego materiału. Gould i Vrba nazwali ten mechanizm eksaptacją, choć zasada ta ma szerszy zasięg.

Organizm jest architekturą historyczną. Nowa funkcja zostaje nadana strukturze posiadającej już własną przeszłość, dlatego konstrukcje biologiczne są pełne kompromisów. Kręgosłup człowieka nie powstał od początku dla dwunożności; jest zmodyfikowanym kręgosłupem czworonoga o jeszcze starszej historii strunowców. Ludzka stopa nie jest abstrakcyjnie najdoskonalszym narządem chodzenia, lecz przekształconą kończyną naczelnego, której elementy wcześniej służyły innym konfiguracjom ruchu. Siatkówka kręgowca nie została przeprojektowana po powstaniu trichromatyzmu – nowy receptor włączono w istniejącą sieć. Narodziny drogą ludzkiego kanału rodnego nie są rozwiązaniem wybranym przez inżyniera, lecz wynikiem przecięcia się historii dwunożności, budowy miednicy i rozwoju mózgu.

Jacobowskie majsterkowanie jest więc przeciwieństwem wyobrażenia o naturze jako perfekcyjnym inżynierze. Należy odrzucić obraz „bezbłędnego projektanta", który wielokrotnie odnajduje optymalne rozwiązania. Ewolucja nie przewiduje, nie posiada docelowej specyfikacji i nie usuwa konstrukcyjnych pozostałości przeszłości. Jacob podkreślał różnicę między inżynierią opartą na planie a biologicznym „tinkeringiem", w którym dostępność odziedziczonych materiałów ogranicza repertuar przyszłych rozwiązań.

Ograniczenie nie jest przy tym wyłącznie przeszkodą.

Ewolucja jako balans między przypadkiem a ograniczeniami

Struktura świata może być źródłem powtarzalności. Jeżeli organizmy funkcjonują według tych samych praw mechaniki, optyki i chemii, a repertuar biologicznie dostępnych rozwiązań nie jest nieskończony, niezależne linie mogą wielokrotnie dochodzić do podobnych rezultatów. Socjologiczne **multiples** Mertona mają więc swojego biologicznego kuzyna w ewolucji konwergentnej, choć analogii tej nie wolno traktować dosłownie. Merton badał społeczny system wiedzy, w którym ludzie świadomie rozwiązują problemy; dobór naturalny natomiast nie posiada

problemu w znaczeniu poznawczym ani zamiaru odnalezienia rozwiązania. Konwergencja pozostaje mimo to jednym z najbardziej sugestywnych argumentów za częściową przewidywalnością ewolucji.

Aktywny lot powstał niezależnie u owadów, pterozaurów, ptaków i nietoperzy. Kamerowe oczy pojawiały się w różnych liniach, mimo że ich anatomia i historia rozwojowa różnią się zasadniczo. Echolokacja nietoperzy i waleni wykształciła się niezależnie, a na poziomie molekularnym odnaleziono przykłady równoległych zmian w genach związanych ze słuchem. Fotosynteza C_4 wielokrotnie powstawała u roślin w sposób autonomiczny. Opancerzenie, jadowitość, wysokogórska fizjologia czy redukcja oczu w jaskiniach również dostarczają przykładów powtarzalnych odpowiedzi. Genetyka konwergencji pokazuje przy tym, że podobieństwo fenotypu może wynikać albo z podobnych zmian molekularnych, albo z odmiennych dróg prowadzących ku tej samej funkcji. Struktura sieci rozwojowych i pleiotropowe koszty mutacji sprawiają, że pewne loci stają się szczególnie prawdopodobnymi „celami" adaptacji, co zwiększa przewidywalność odpowiedzi ewolucyjnej.

Tutaj pojawia się jedno z najpiękniejszych napięć współczesnej biologii: spór między kontyngencją Stephena Jaya Goulda a konwergencją akcentowaną m.in. przez Simona Conwaya Morrisa. Gould zaproponował słynny eksperyment myślowy „ponownego odtworzenia taśmy życia". Według niego, gdyby historię biosfery uruchomić ponownie od dawnego punktu, niewielkie przypadkowe różnice początkowe prowadziłyby z czasem ku całkowicie innym światom.

Conway Morris podkreślał natomiast, że ograniczenia fizyczne i ekologiczne sprawiają, iż ewolucja wielokrotnie odnajduje podobne rozwiązania; repertuar funkcjonalnie skutecznych konstrukcji może być znacznie mniejszy niż abstrakcyjna przestrzeń wszystkich możliwych organizmów. Dzisiejsza wiedza nie każe wybierać jednej z tych perspektyw w sposób absolutny. Ewolucja jest jednocześnie kontyngentna i ograniczona. Przypadek wpływa na to, jakie mutacje pojawią się pierwsze, które populacje przeżyją katastrofę, czy dojdzie do migracji i jakie warianty będą istnieć w chwili zmiany środowiska.

Prawa fizyki, chemia biopolimerów, geometria ciał, sieci rozwojowe i wymagania ekologiczne ograniczają zaś zbiór funkcjonalnych wyników. To, że dwa niezależne procesy mogą kończyć się podobnie, nie dowodzi konieczności każdego kroku pośredniego. Eksperymentalna ewolucja wyjątkowo dobrze obrazuje tę podwójność. W wieloletnich eksperymentach Richarda Lenskiego z **Escherichia coli** równoległe populacje w podobnym środowisku wielokrotnie wykształcały częściowo zbliżone adaptacje, jednak szczególna zdolność tlenowego wykorzystywania cytrynianu pojawiła się tylko w jednej z dwunastu klasycznych linii. Późniejsze analizy wykazały, że innowacja ta zależała od wcześniejszego tła genetycznego, które uczyniło określone mutacje użytecznymi.

Eksperyment stał się empirycznym przykładem zależności od ścieżki: przyszła możliwość zależy od zmian, które zaszły wcześniej. Jednocześnie nowsze analizy wielu doświadczeń ewolucyjnych wykazały znaczną powtarzalność zmian ekspresji genów pod podobną presją środowiskową. Natura nie jest zatem ani kostką rzucaną bez ograniczeń, ani algorytmem zwracającym zawsze ten sam wynik. Pojęcie zależności od ścieżki pozwala spiąć niemal wszystkie wcześniejsze warstwy wywodu autora.

Dzisiejsza orbita Księżyca zależy od miliardów lat transferu momentu pędu. Skład atmosfery zależy od wcześniejszej ewolucji biosfery, płaszcza, wulkanizmu i pogrzebania węgla. Zdolność organizmu do wykorzystania tlenu zależy od wcześniejszej ewolucji metabolizmu. Trichromatyzm zależy od wcześniejszej architektury opsyn i siatkówki. Laktazopersystencja zależy od enzymu służącego niemowlęciu i późniejszej praktyki mleczarskiej. Cywilizacja cyfrowa zależy od alfabetu, matematyki, elektryczności, teorii informacji, półprzewodników i globalnych instytucji.

Historia nie jest więc sekwencją niezależnych zdarzeń. Każdy jej etap modyfikuje przestrzeń możliwych kolejnych kroków. W teorii złożoności używa się czasem pojęcia „adjacent possible” — sąsiedniego możliwego — dla określenia tych stanów, które stają się osiągalne dopiero po uzyskaniu określonej konfiguracji wcześniejszej. Pojęcie to, kojarzone ze Stuartem Kauffmanem, jest bardziej heurystyką niż uniwersalnym prawem biologicznym, ale bardzo dobrze porządkuje historię innowacji. Przed pojawieniem się eukariontu nie istniał biologicznie dostępny świat zwierząt w jego późniejszej postaci. Przed wielokomórkowością nie istniał problem nowotworu jako konfliktu klonów somatycznych w dużym organizmie. Przed językiem nie istniała literatura. Przed drukiem nie istniała prasa masowa. Przed elektrycznością nie istniała globalna sieć cyfrowa. Każde rozwiązanie tworzy problemy, których wcześniej nie było. To ostatnie zdanie opisuje złożoność trafniej niż popularna metafora „postępu”. Powstanie tlenu stworzyło wydajną energetykę, ale również stres oksydacyjny. Wielokomórkowość umożliwiła duże ciała, lecz przyniosła problem nowotworu. Układ odpornościowy zwiększył zdolność obrony, ale otworzył drogę do autoimmunizacji. Wielki mózg poszerzył przestrzeń uczenia, lecz wymaga ogromnych nakładów energetycznych i długiego dzieciństwa. Rolnictwo zwiększyło zdolność utrzymania licznych populacji, ale przyniosło nowe choroby, hierarchie i zależności. Antybiotyk leczy zakażenie i zarazem selekcjonuje oporność.

Internet jako narzędzie demokratyzacji i dezinformacji

Internet demokratyzuje dostęp do informacji, a jednocześnie dramatycznie zwiększa tempo rozprzestrzeniania fałszu.

Histereza i termodynamika jako fundamenty nieodwracalności złożoności

Złożoność można zdefiniować jako zdolność do rozwiązywania większej liczby problemów, co odbywa się jednak kosztem pojawienia się wyzwań wyższego rzędu. Zasada ta pozwala lepiej zrozumieć wielkie przejścia ewolucyjne. John Maynard Smith i Eörs Szathmáry wskazywali, że w dziejach życia wielokrotnie powstawały nowe poziomy indywidualności: elementy wcześniej autonomiczne zaczynały funkcjonować jako części większej całości. Geny organizują się w chromosomy, dawni symbionci stają się organellami, komórki współtworzą organizm wielokomórkowy, a u niektórych owadów jednostki tworzą wysoko zintegrowane systemy społeczne. Współczesne badania analizują te przejścia przez pryzmat konfliktu i współpracy, dziedziczenia na poziomie kolektywu oraz ekologicznych warunków stabilizujących nową indywidualność. Modele z 2024 roku wskazują nawet na możliwość ewolucyjnej histerezy: gdy określone cechy kolektywu zostaną utrwalone, system nie musi powrócić do stanu przodków po usunięciu czynników, które pierwotnie pomogły je wykształcić.

Histereza jest pojęciem kluczowym dla całej historii przedstawionej w tym artykule. Oznacza ona, że aktualny stan układu zależy nie tylko od bieżących warunków, lecz także od drogi, jaką system przebył, by do nich dotrzeć. Jeśli ochłodzimy i ponownie ogrzejemy układ z progiem fazowym, trajektoria powrotu może różnić się od trajektorii przejścia. W ekologii, klimacie, rozwoju i ewolucji podobna pamięć strukturalna sprawia, że usunięcie przyczyny nie musi oznaczać powrotu do wcześniejszego stanu świata. Nie da się „cofnąć" Wielkiego Zdarzenia Oksydacyjnego poprzez chwilowe obniżenie stężenia O_2, gdyż cała biosfera została od tego momentu przebudowana. Podobnie nie przywrócimy ekosystemu paleogeńskiego samym odtworzeniem poziomu CO_2.

Usunięcie technologii mleczarskiej nie cofnie genomów populacji do stanu sprzed laktazopersystencji, tak jak zniszczenie internetu nie przywróciłoby społeczeństwa z 1980 roku – instytucje, kompetencje i gospodarka zostały już przez cyfryzację trwale przekształcone. Historia cechuje się irrewersybilnością nie dlatego, że każde zdarzenie jest w prostym sensie termodynamicznie nieodwracalne, lecz dlatego, że zmienia ona liczbę i strukturę pozostałych elementów systemu. Termodynamika stanowi najgłębsze fizyczne tło całej opowieści o złożoności. Życie nie narusza drugiej zasady termodynamiki; organizm utrzymuje lokalny porządek dzięki ciągłemu przepływowi energii i materii, eksportując entropię do otoczenia. Roślina wykorzystuje gradient energetyczny między światłem słonecznym a chłodniejszym otoczeniem, zwierzę korzysta z energii chemicznej związków organicznych, a mitochondrium przekształca energię redoks w gradient protonowy i następnie w ATP.

Złożona organizacja trwa dzięki temu, że układ pozostaje daleko od równowagi termodynamicznej. Jest to istotna korekta romantycznej wizji „życia walczącego z entropią". Życie nie zwycięża entropii, lecz funkcjonuje dzięki procesom termodynamicznym, utrzymując swoją strukturę poprzez nieustanną wymianę z otoczeniem. Śmierć organizmu nie wprowadza nowego prawa fizyki – jest rozpadem mechanizmów podtrzymujących stan daleki od równowagi. Informacja biologiczna nie jest również magiczną substancją niezależną od materii. Sekwencja DNA posiada znaczenie biologiczne tylko dlatego, że istnieje aparat molekularny zdolny ją kopiować, transkrybować i interpretować w konkretnym kontekście komórkowym. Poza takim systemem ta sama sekwencja pozostaje jedynie określoną konfiguracją polimeru.

Wielopoziomowa organizacja materii a świadoma kumulacja kultury

Informacja w sensie Shannona, funkcja biologiczna i znaczenie semantyczne należą do odmiennych poziomów opisu i nie należy ich bezrefleksyjnie utożsamiać. Uwaga ta staje się szczególnie istotna przy przejściu od genomu do kultury. DNA i książka mogą „przechowywać informację", jednak mechanizmy ich kopiowania, interpretacji i selekcji są zasadniczo odmienne.

Gen nie „wie", co koduje. Człowiek natomiast potrafi zrozumieć tekst, zakwestionować go, świadomie poprawić, połączyć z inną teorią i przekazać dalej. Wraz z kulturą pojawia się nowa forma kumulacji, w której modyfikacja informacji może być intencjonalna. Nie usuwa to jednak selekcji z kultury: idee konkurują o uwagę, instytucje różnią się trwałością, technologie są kopiowane z różną wiernością, a społeczności filtrują innowacje. Nie oznacza to jednak, że kulturę można opisać prostym analogiem do genetyki. Człowiek potrafi rekonstruować motyw działania, przewidywać konsekwencje i wybierać rozwiązanie właśnie dlatego, że rozumie jego zasadę. Kulturowa zmienność nie jest zatem wyłącznie ślepa.

Pojawienie się świadomego modelowania przyszłości wprowadza do historii nowy typ przyczynowości, choć nie jest on nadprzyrodzony. Mózg pozostaje systemem fizycznym, a każda decyzja ma realizację neuronalną. Jednocześnie wyjaśnianie budowy mostu wyłącznie przez ruch jonów w neuronach architekta byłoby poznawczo jałowe. Na poziomie społecznym przyczyną może być projekt, norma prawna, cena, przewidywane ryzyko albo decyzja polityczna. Wyższe poziomy opisu nie muszą naruszać praw fizyki, aby posiadały własną moc wyjaśniającą. Pozwala to uniknąć fałszywej alternatywy między redukcjonizmem i mistycyzmem.

Człowiek składa się z materii podlegającej tym samym prawom co skała czy gwiazda, ale nie wynika z tego, że najbardziej użyteczny opis człowieka musi zatrzymać się na fizyce cząstek. Temperatura jest realną własnością statystyczną wielu cząstek, choć pojedynczy atom nie posiada temperatury w tym samym sensie. Organizm stanowi realny poziom organizacji, mimo że składa się z molekuł. Norma prawna wpływa na zachowanie milionów ludzi, choć sama nie jest dodatkową siłą fundamentalną. Emergencja nie musi oznaczać pojawienia się cudownej substancji; oznacza raczej, że na wyższym poziomie organizacji powstają regularności, których najtrafniejszy opis wymaga nowych pojęć.

Historia Wszechświata w człowieku jest historią kolejnych poziomów organizacji: kwarki i elektrony tworzą atomy, te z kolei cząsteczki, a te w szczególnych systemach – samopodtrzymujące się sieci chemiczne. Komórki organizują biochemię w ograniczonej błoną przestrzeni, mogąc następnie tworzyć wielokomórkowe organizmy, które budują populacje i ekosystemy. Ludzie zaś tworzą kultury, naukę i instytucje. Nie istnieje tu jednak konieczny marsz od niższego ku wyższemu; ogromna część materii nigdy nie przekracza kolejnych progów, a mikroorganizmy pozostają niezwykle skuteczną formą życia. „Wyższy" poziom organizacji nie oznacza zatem poziomu „lepszego" w sensie aksjologicznym.

Z tej perspektywy analogia „rosyjskich matrioszek", w których kolejne poziomy materii umieszczone są jeden wewnątrz drugiego, jest częściowo trafna, lecz wymaga rozwinięcia. Organizacja nie polega wyłącznie na nakładaniu pudełek – wyższy poziom zmienia środowisko elementów niższego poziomu. Komórka reguluje ekspresję swoich genów, organizm reguluje proliferację komórek, społeczność kształtuje zachowanie jednostki poprzez normy, a technologia zmienia środowisko biologiczne organizmu.

System jest zatem nie tylko hierarchią części, lecz siecią sprzężeń między poziomami. Ta obserwacja podważa obraz genu jako najwyższego suwerena biologii. Geny są niezbędne dla dziedziczności, lecz ich efekty zależą od komórki, rozwoju, organizmu, środowiska i pozostałych genów. Współczesna genetyka ujmuje fenotyp jako wynik mapowania genotyp-fenotyp zależnego od kontekstu, a badania epigenetyczne pokazują, że regulacyjne stany komórek mogą przechowywać informacje rozwojowe przez liczne podziały. Należy jednak zachować ostrożność wobec popularnych narracji o „dziedziczeniu traumy" czy łatwym międzypokoleniowym programowaniu epigenetycznym: efekty transgeneracyjne niezależne od zmian DNA są biologicznie możliwe, lecz ich wykazanie u ludzi pozostaje metodologicznie trudne. Najnowsze przeglądy podkreślają konieczność rozdzielania korelacji od przyczynowości w badaniach epigenetycznej indywidualności.

Wielopoziomowość historii prowadzi do pytania o naturę „innowacji". Można ją definiować funkcjonalnie (jako pojawienie się nowej zdolności), morfologicznie (jako nową strukturę), ekologicznie (wykorzystanie nowej niszy), informacyjnie (nowy sposób regulacji) lub społecznie (rozwiązanie umożliwiające nowe działania zbiorowe). Definicje te nie muszą wskazywać tego samego momentu. Pióro istniało przed lotem, zatem morfologiczna innowacja poprzedzała funkcjonalne wykorzystanie w locie. Dwunożność poprzedzała wielki mózg, a genomowa duplikacja opsyny – społeczne funkcje trichromatyzmu. Internet poprzedza instytucje cyfrowe, które stały się możliwe dopiero po jego upowszechnieniu. Innowacja jest często procesem, a nie konkretną datą.

Podobnie trudne jest wskazanie jednego „wynalazcy". Autor książki słusznie wykorzystuje Prawo Stiglera jako intelektualny żart o kumulatywnym charakterze wiedzy. Newton i Leibniz pracowali w świecie, w którym geometria analityczna, astronomia, mechanika i problemy ruchu dojrzały do nowego aparatu matematycznego. Darwin i Wallace funkcjonowali po eksplozji wiedzy geologicznej, biogeograficznej i demograficznej, natomiast Bell i Gray działali w rozwijającej się kulturze elektrotechnicznej.

Nauka jako system modelowania własnej historii

Wielokrotne odkrycie nie dowodzi jednak pełnej historycznej konieczności. Świadczy raczej o tym, że stan wcześniejszej wiedzy może radykalnie podnieść prawdopodobieństwo rozwiązania danego problemu przez więcej niż jednego badacza. Nauka stanowi zatem przykład zależności od antecedencji. Einstein nie mógłby sformułować ogólnej teorii względności w epoce Arystotelesa – nie dlatego, że starożytne umysły były biologicznie gorsze, lecz ponieważ nie istniały jeszcze odpowiednie problemy, pomiary, aparat matematyczny ani wcześniejsze teorie. Podobnie CRISPR nie mógł stać się technologią edycji genomu przed odkryciem DNA, enzymów restrykcyjnych, sekwencjonowania, mikrobiologicznych mechanizmów odporności i narzędzi biologii molekularnej.

Intelekt także porusza się po sąsiedztwie rzeczy możliwych do pomyślenia i wykonania. Pozwala to postrzegać naukę jako najnowszą warstwę procesu kumulacji, choć z jedną zasadniczą różnicą: ewolucja biologiczna nie posiada modelu własnej przeszłości, podczas gdy nauka go posiada. Organizm może być ukształtowany przez tlen, lecz człowiek potrafi zmierzyć izotopy siarki i zrekonstruować historię natlenienia atmosfery. Populacja może zostać uformowana przez zlodowacenie, ale paleoklimatolog, wydobywając rdzeń oceaniczny, jest w stanie odtworzyć okresy orbitalnego wymuszenia. DNA zachowuje ślad selekcji, który genetyk populacyjny potrafi rozpoznać jako konsekwencję konkretnej historii. W tym punkcie pojawia się najbardziej niezwykła własność człowieka: materia nie tylko posiada historię, ale w pewnym momencie powstał system

zdolny budować modele tej historii. Teza ta wymaga jednak natychmiastowego zabezpieczenia przed metafizyczną przesadą.

Nie wiemy, czy świadomość i naukowe poznanie są kosmicznie wyjątkowe; znamy tylko jeden przypadek biosfery. Nie ma podstaw naukowych, by twierdzić, że Wszechświat „chciał się poznać", że świadomość była jego ukrytym celem lub że człowiek stanowi konieczny finał kosmicznej ewolucji. Możemy natomiast stwierdzić empirycznie, że w przynajmniej jednym miejscu obserwowalnego Wszechświata materia zorganizowała się w systemy tworzące reprezentacje matematyczne procesów kosmologicznych, odczytujące historię gwiazd z ich widm i datujące skały na podstawie rozpadu promieniotwórczego. Metafora „Wszechświata, który spogląda na siebie", popularna w tradycjach filozoficznych i popularyzatorskich, pozostaje piękna, o ile zachowamy jej status metafory. Naukowo silniejszy jest wniosek skromniejszy: część materii Wszechświata przyjęła organizację zdolną do wytworzenia wiedzy o procesach, z których sama pochodzi. To właśnie w tej zdolności leży ludzka szczególność, bez konieczności powrotu do koncepcji „drabiny stworzeń". Człowiek nie musi być biologiczną koroną natury, by jego kompetencje były na Ziemi niezwykłe.

Nie jesteśmy najszybsi, najwięksi, najdłużej żyjący ani najbardziej liczni. Bakterie przewyższają nas skalą ekologicznej obecności, rośliny zdolnością bezpośredniego wykorzystywania energii słonecznej, a wiele zwierząt możliwościami sensorycznymi. Wyjątkowość ludzkiej kultury polega raczej na połączeniu języka, kumulatywnej transmisji, zewnętrznej pamięci, matematyki, instytucji i instrumentów umożliwiających poznawanie rzeczy niewidocznych dla zmysłów. Człowiek nie widzi atomu gołym okiem, lecz buduje mikroskop i detektor. Nie odczuwa ruchu płyty litosferycznej, ale konstruuje system geodezyjny mierzący milimetry rocznie. Nie pamięta epoki lodowcowej, lecz odczytuje ją w izotopach tlenu. Nie obserwował Wielkiego Wybuchu, ale rejestruje mikrofalowe promieniowanie tła. Nie znał denisowian, lecz rekonstruuje ich istnienie z fragmentów kości i DNA.

Instrumentarium nauki jest więc rozszerzeniem ludzkiej percepcji równie realnym, jak kamienne ostrze było rozszerzeniem ręki. Podobnie jak trichromatyzm poszerzył biologiczny wymiar widzenia barw, tak spektroskopia przesunęła „widzenie" człowieka ku liniom absorpcyjnym atomów. Jeśli ucho przetwarza określony zakres fal ciśnienia, to radioastronomia przeniosła poznanie poza ten zakres o wiele rzędów wielkości.

Kultura poznawcza jako system selekcji hipotez

Podczas gdy pamięć biologiczna jednostki obejmuje dekady, pismo, archiwa i cyfrowe repozytoria budują pamięć społeczną liczoną w stuleciach. Technologia poznawcza stanowi kontynuację ewolucyjnego procesu eksternalizowania funkcji, choć na poziomie kultury podlega innym regułom niż anatomia. Prowadzi to do fundamentalnej zmiany: przez większość historii życia informacja o świecie była cenna przede wszystkim wtedy, gdy pomagała przetrwać i rozmnożyć się. Człowiek stworzył jednak instytucje zdolne finansować poznanie pozbawione bezpośredniego zastosowania praktycznego – badanie galaktyk oddalonych o miliardy lat świetlnych, zachowania neutrin, geochemii archaicznych skał czy anatomii wymarłych organizmów. Z biologicznego systemu predykcji powstała kultura zdolna uprawiać poznanie dla jego wewnętrznej wartości.

Nie oznacza to oczywiście, że nauka funkcjonuje w oderwaniu od interesów społecznych. Na badania wpływają finansowanie, prestiż, polityka oraz struktury instytucjonalne. Mertonowska socjologia nauki przypomina zresztą, że odkrycie powstaje w konkretnym środowisku społecznym, a nie w próżni. Jednak społeczna uwarunkowaność wiedzy nie sprawia, że jej treść staje się dowolna. Uran rozpada się w ten sam sposób niezależnie od ideologii geologa; planeta krąży niezależnie od systemu politycznego astronoma.

Instytucje determinują to, jakie pytania zadajemy i jak szybko znajdujemy odpowiedzi, lecz to rzeczywistość nakłada ograniczenia na te rozwiązania, które mają przetrwać krytyczną weryfikację. Nauka jest zatem szczególnym systemem kulturowej selekcji hipotez. Analogia do selekcji biologicznej, choć ograniczona, pozostaje użyteczna: generowana jest zmienność idei, a eksperyment, obserwacja, replikacja i krytyka eliminują te błędne. Różnica jest tu zasadnicza – uczeni świadomie projektują testy i modyfikują modele w oparciu o argumenty. Dzięki temu błędy nie muszą być eliminowane pokoleniowo; mogą zostać skorygowane jeszcze za życia jednego badacza.

Niniejsza książka jest zresztą przykładem takiej korekty. Kuszące było stwierdzenie, że Jowisz „ochronił” Ziemię i ukształtował warunki dla ludzkiej grawitacji, jednak model ten jest znacznie bardziej złożony. Podobnie kusząca była teza, że Księżyc „utrzymał oś pod kątem 23,5°”, lecz obliquity oscyluje, a rola dużego satelity ma charakter probabilistyczny. Łatwo było powiązać Himalaje, globalne ochłodzenie i trichromatyzm w jeden elegancki ciąg, ale poszczególne ogniwa tego procesu mają różną siłę dowodową. Podobnie z tezą o sawannie, która miała wymusić dwunożność – pierwsze homininy okazały się starsze i bardziej leśne. Łatwo było przypisać gen **AMY1** rolnictwu, lecz jego strukturalna historia okazała się znacznie wcześniejsza.

Wiedza o głębokim czasie jako fundament etycznej odpowiedzialności

Najpiękniejsza teoria nie zawsze okazuje się najprawdziwszą. W nauce elegancja zyskuje wartość dopiero wtedy, gdy przeżyje kontakt z nieposłusznymi danymi. Tutaj powraca centralna lekcja paleontologii z początku wywodu: skała nie opowiada historii w języku, którego od niej oczekujemy. Dostarcza jedynie fragmentów. Ząb, minerał, izotop, linia magnetyczna, wariant genu czy ułożenie kości – to wszystko ślady wymagające interpretacji. Im bardziej imponująca narracja, tym silniejsza potrzeba sprawdzenia, czy nie wypełniliśmy luk własnym pragnieniem porządku.

Naukowa pokora nie jest zatem retorycznym umniejszaniem wiedzy, lecz technologią wiarygodności. Rozróżnienie między faktem, modelem, hipotezą a spekulacją nie osłabia opowieści o historii człowieka, lecz czyni ją bogatszą. Wiedza nie polega na tym, by z jednakową siłą mówić „nie wiemy” o wszystkim; polega ona na tworzeniu mapy stopni pewności. Wiemy z ogromną pewnością, że Wszechświat się rozszerza i istnieje mikrofalowe promieniowanie tła. Wiemy, że Ziemia ma około 4,54 mld lat i że życie istniało na niej miliardy lat temu. Wiemy, że płyty litosferyczne są w ruchu, ewolucja zachodzi, wszystkie współczesne organizmy dzielą głębokie pokrewieństwo, a populacje człowieka mieszały się z archaicznymi homininami. Znacznie słabsze jest natomiast pytanie o to, jaki dokładnie udział w konkretnym fenotypie miał dany epizod klimatyczny miliony lat temu. Precyzja nauki przejawia się również w umiejętności prawidłowego przyznania się do niewiedzy.

W tym miejscu pojawia się aksjologiczny sens głębokiego czasu. Nauka nie wyprowadza norm moralnych bezpośrednio ze skał, genomów czy kosmologii. Z faktu wspólnego pochodzenia ludzi i innych organizmów nie wynika automatycznie konkretny kodeks etyczny. To, że wymierania są częścią historii życia, nie stanowi moralnego przyzwolenia na wymieranie antropogeniczne. Podobnie selekcja naturalna, eliminująca część wariantów, nie usprawiedliwia społecznego darwinizmu.

Przejście od opisu do powinności wymaga dodatkowych przesłanek normatywnych, jednak głęboka historia może zmienić kontekst naszej etyki. Ukazuje ona kruchość zjawisk, które z perspektywy jednostkowego życia wydają się trwałe. Gatunek jest przejściowy, klimat dynamiczny, kontynenty zmieniają położenie, a oceany otwierają się i zamykają. Całe radiacje organizmów mogą bezpowrotnie zniknąć. Jednocześnie tempo współczesnej sprawczości technicznej pozwala człowiekowi dokonywać w ciągu stuleci zmian, których naturalne odpowiedniki rozwijały się przez dziesiątki tysięcy lub miliony lat.

To zestawienie skali sprawczości i skali wiedzy rodzi szczególną odpowiedzialność. Nie wynika ona z faktu, że człowiek znajduje się „ponad naturą", lecz z jego zdolności do przewidywania części konsekwencji własnych działań. Odpowiedzialność nie wypływa z biologicznej wyższości, lecz z asymetrii informacji i sprawczości: istota potrafiąca rozpoznać ryzyko znajduje się w innej sytuacji etycznej niż proces działający bez reprezentacji przyszłości. Tu pojawia się Hans Jonas ze swoją intuicją „zasady odpowiedzialności": nowoczesna technika rozszerzyła zakres ludzkiego działania na taką przestrzeń czasu i skutków, że tradycyjna etyka bezpośrednich relacji między osobami staje się niewystarczająca. Jeśli decyzja jednego pokolenia wpływa na klimat, bioróżnorodność lub linię zarodkową przyszłych ludzi, odbiorcy tych konsekwencji jeszcze nie istnieją i nie mogą uczestniczyć w procesie decyzyjnym. Głęboki czas staje się więc nie tylko przedmiotem nauki, lecz horyzontem odpowiedzialności.

Nie oznacza to, że daleka przyszłość dostarcza prostych wskazówek politycznych. Przeciwnie – im dłuższy horyzont, tym większa niepewność. Etyka odpowiedzialności musi zatem unikać zarówno lekkomyślności, jak i paraliżu. Nie można wymagać absolutnej pewności tam, gdzie system jest złożony, ale nie wolno również udawać niewiedzy, gdy ryzyko zostało dobrze rozpoznane. Nauka o katastrofach dostarcza tutaj szczególnej lekcji: uderzenie Chicxulub było niezależne od działań organizmów kredowych.

Niedopasowanie tempa zmian kulturowych i biologicznych

Współczesna biosfera doświadcza presji, z których wiele ma przyczynę antropogeniczną: zmiany użytkowania ziemi, nadmierna eksploatacja, inwazje biologiczne, zanieczyszczenia oraz zmiana klimatu. Geologiczny fakt, że życie przetrwało poprzednie masowe wymierania, nie stanowi pocieszenia etycznego. „Życie" jako abstrakcyjna ciągłość może przetrwać kryzys, lecz dzieje się to kosztem konkretnych gatunków, ekosystemów i milionów lat unikalnej historii ewolucyjnej. Odbudowa różnorodności w skali geologicznej nie jest tożsama z odbudową w skali ludzkiej cywilizacji.

Tę samą zasadę można odnieść do technologii. Fakt, że ewolucja potrafi adaptować organizmy do nowych warunków, nie oznacza, iż powinniśmy dowolnie szybko przekształcać środowisko, oczekując bezkrytycznego dostosowania. Tempo zmian ma kluczowe znaczenie. Populacja może przystosować się tylko wtedy, gdy dysponuje odpowiednią zmiennością, wystarczającą liczebnością i czasem; przy zbyt gwałtownym przesunięciu warunków może po prostu wyginąć. Czas, który bywa

innowatorem, musi zostać systemowi pozostawiony. Właśnie tu kryje się najgłębszy paradoks współczesności.

Przez miliardy lat biologiczna innowacja przebiegała powoli, gdyż jej nośnikami były pokolenia, mutacje, rekombinacja i selekcja. Kultura radykalnie skróciła tę skalę czasu. Technologia potrafi zmienić środowisko w ciągu dekady, oprogramowanie w miesiąc, a model informacyjny w kilka godzin. Autor książki kontrastuje miliardy lat biologicznej złożoności z zaledwie kilkoma dekadami rozwoju internetu czy technologii CRISPR. Nie należy jednak interpretować tych liczb jako uniwersalnego „prawa przyspieszenia" na wzór prawa Moore'a. W różnych domenach tempo innowacji mierzy się inaczej, a rozwój techniczny nie jest nieskończenie wykładniczy. Niemniej sama różnica skal pozostaje realna.

Biologia przekształcała środowisko powoli, aż jeden z jej produktów rozwinął kulturę zdolną czynić to szybko. W konsekwencji powstało niedopasowanie między tempem zmian kulturowych a genetycznych. Zegar cyrkadianny kształtował się w świecie regularnej ciemności, podczas gdy światło elektryczne zmieniło nasze otoczenie w zaledwie kilka pokoleń. Układ metaboliczny funkcjonował przez setki tysięcy lat przy ograniczonej dostępności energii, tymczasem przemysłowa żywność zapewnia jej nadwyżkę w sposób ciągły. Z kolei układ uwagi kształtował się w świecie informacji kosztownej i lokalnej, podczas gdy środowisko cyfrowe generuje ją praktycznie bez ograniczeń.

Nie oznacza to, że współczesność jest biologicznie „nienaturalna". Miasto, książka czy komputer są równie naturalnymi produktami zachowania **Homo sapiens**, jak gniazdo jest produktem ptaka. Trafniejsze jest pytanie, czy konkretne środowisko pozostaje zgodne z ograniczeniami fizjologicznymi i poznawczymi organizmu, który je wytworzył. Ta rozbieżność rzutuje na przyszłość człowieka. Próby przewidywania dalszej ewolucji są szczególnie podatne na błąd, ponieważ dotyczą systemu zdolnego zmieniać własne warunki szybciej, niż zakładają to modele biologiczne. Nie wiemy, jakie presje demograficzne utrzymają się przez setki pokoleń, jaka będzie skala migracji, jak medycyna wpłynie na przeżywalność, które technologie reprodukcyjne zostaną upowszechnione, czy dziedziczna edycja genomu zyska akceptację i jaką rolę odegrają systemy sztucznej inteligencji. Możemy identyfikować mechanizmy, lecz dalekie prognozy fenotypu przyszłych ludzi pozostają spekulacyjne.

Szczególnie niebezpieczna jest wizja jednej „postludzkiej" formy, jak gdyby ewolucja ponownie posiadała cel. Historia uczy raczej, że przyszłość otwiera wachlarz dróg zależnych od wcześniejszych decyzji, przypadków i ograniczeń. Technologie mogą zwiększać homogenizację jednych cech przy jednoczesnym różnicowaniu innych; migracje mogą intensyfikować przepływ genów. Medycyna może osłabiać wybrane presje, podczas gdy nowe patogeny będą tworzyć kolejne. Kultura może

dalej przejmować funkcje biologiczne, zanim genom zdąży na nie odpowiedzieć. Nie ma jednej strzałki prowadzącej od **Homo sapiens** ku "Homo futurus".

Równie nieuzasadnione jest przekonanie, że sztuczna inteligencja stanowi prostą kontynuację biologicznej ewolucji mózgu. Systemy sztuczne powstają w wyniku intencjonalnej inżynierii, treningu i infrastruktury instytucjonalnej. Nie reprodukują się i nie podlegają selekcji w takim samym sensie jak organizmy. Mogą jednak stać się częścią środowiska kulturowego człowieka, wpływając na podział pracy poznawczej, edukację, gospodarkę i decyzje. Ich znaczenie dla przyszłej biologii człowieka zależy więc od systemu społecznego, który je wykorzystuje, a nie od powierzchownej analogii, jakoby AI była nowym gatunkiem. Najbardziej naukowo interesujące jest coś innego: człowiek wytworzył artefakty uczestniczące w procesie modelowania świata. O ile młotek rozszerza zdolność wywierania siły, a teleskop zakres detekcji, system obliczeniowy rozszerza przestrzeń przetwarzania reprezentacji.

Człowiek jako system zbiorowy i produkt kontyngencji

Jest to kolejny etap eksternalizacji funkcji, która towarzyszy całej historii kultury. Z perspektywy głębokiego czasu różnica między kamiennym odłupkiem a współczesnym systemem obliczeniowym jest ogromna, lecz łączy je ciągłość funkcjonalna: organizm przenosi część swojej pracy poza biologiczne ciało. To sprawia, że granice „człowieka” stają się filozoficznie intrygujące. Biologicznie kończymy się na obrębie organizmu; funkcjonalnie zaś wiele naszych zdolności zależy od protez kulturowych: języka, narzędzi, infrastruktury, instytucji, bibliotek czy urządzeń. Bez nich współczesny człowiek zachowałby genom, lecz utraciłby znaczną część kompetencji cywilizacyjnych. Cywilizacji nie dziedziczymy bowiem w chromosomach.

Ta prawda zmienia również interpretację inteligencji. Nawet niezwykle zdolny mózg nie jest samodzielnym autorem całej nauki. Mechanika kwantowa, genomika, paleoklimatologia czy kosmologia to produkty rozproszonego procesu, obejmującego tysiące badaczy, instrumentów, archiwów, języków matematycznych i instytucji. Współczesna wiedza przekracza pojemność pojedynczego umysłu, zatem człowiek poznający Wszechświat staje się w coraz większym stopniu systemem zbiorowym, a nie samotnym obserwatorem. W tym miejscu Merton powraca w bardziej dojrzałej postaci.

Niezależne odkrycia nie dowodzą, że jednostka jest zbędna; pokazują raczej, że geniusz operuje wewnątrz dojrzałej infrastruktury poznawczej. Odkrywca może uczynić krok naprzód tylko dlatego, że wcześniej niezliczeni inni zbudowali podłoże, które ten ruch umożliwiło. Wiedza również posiada swoje antecedencje. W ten sposób idea „długu” wobec przeszłości zyskuje wymiar szerszy niż

zwykła genealogia. Jesteśmy dłużnikami gwiazd w sensie materialnym, biosfery w sensie chemicznym, przodków w sensie biologicznym i wcześniejszych kultur w sensie poznawczym. Nie jest to dług moralny wobec nieświadomych gwiazd czy wymarłych bakterii, lecz stwierdzenie zależności: obecny stan nie byłby możliwy bez stanów wcześniejszych.

Autonomia człowieka nie oznacza braku uwarunkowań, lecz zdolność działania wewnątrz odziedziczonych ograniczeń. To znacznie subtelniejszy obraz wolności niż proste przeciwstawienie genów wolnej woli. Genom wyznacza część warunków rozwojowych, kultura modyfikuje środowisko, instytucje ograniczają wybory, a jednostka dysponuje historią własnego ciała i uczenia się. Wolność nie wymaga bycia bezprzyczynowym wyjątkiem od natury; w sensie praktycznym może oznaczać zdolność reprezentowania alternatyw, przewidywania skutków oraz modyfikowania działań zgodnie z przyjętymi powodami. Im większa zdolność przewidywania, tym szersza przestrzeń możliwej samokorekty.

Nauka jest szczególnym instytucjonalnym rozwinięciem tej zdolności. Nie czyni ona człowieka nieomylnym – wręcz przeciwnie, została skonstruowana w znacznej mierze dlatego, że jednostkowy umysł jest podatny na złudzenia, selektywną pamięć, motywowane rozumowanie i nadmierną pewność. Replikacja, jawność metod, kontrola statystyczna, konkurencja hipotez i krytyka to społeczne technologie ograniczania naszych poznawczych wad. Nauka nie jest więc triumfem czystego rozumu nad historią biologiczną, lecz narzędziem zbudowanym przez historycznie ukształtowany mózg po to, aby korygować jego własne ograniczenia.

Lekcja głębokiego czasu nie brzmi zatem: „wszystko było nieuniknione", ani: „wszystko było przypadkiem". Obie formuły są zbyt ubogie. Historia natury rozgrywa się na przecięciu prawa i zdarzenia, konieczności i kontyngencji, ograniczenia i innowacji. Grawitacja jest prawidłowością; konkretne zderzenie Thei z proto-Ziemią było zdarzeniem historycznym. Dobór naturalny jest mechanizmem, lecz pojawienie się konkretnej mutacji pozostaje kontyngentne. Reakcje chemiczne tlenu są prawidłowe, jednak moment, w którym bilans produkcji i pochłaniania O_2 przechylił Ziemię ku oksydacji, zależał od historii całego systemu. Ewolucja może powtarzać podobne rozwiązania, ale nie musi odtwarzać identycznych genealogii.

Można rzec, że prawa przyrody określają gramatykę możliwości, natomiast historia pisze konkretne zdania. Nie każde zdanie jest możliwe, lecz z samej gramatyki nie wynika jeden, jedyny tekst. Ta metafora najlepiej oddaje napięcie pomiędzy konwergencją a kontyngencją. Aerodynamiczne ciało będzie faworyzowane u szybkiego pływaka niezależnie od jego genealogii, ponieważ mechanika płynów ogranicza repertuar skutecznych kształtów. Jednak to, czy szybkim pływakiem zostanie rekin, ichtiozaur, tuńczyk czy delfin, zależy od historii linii, które akurat znalazły się w odpowiednim środowisku.

Człowiek jako dynamiczne archiwum relacji i procesów

Problem fizyczny jest powtarzalny, lecz odpowiedź genealogiczna posiada własną historię. Człowiek również jest taką odpowiedzią, a nie rozwiązaniem uniwersalnego równania kosmicznego. W tym świetle sformułowanie „czas jako innowator" zyskuje znaczenie głębsze niż pierwotny aforyzm. Czas nie generuje nowości samym swoim upływem; umożliwia on raczej warstwowanie konsekwencji. Atom ciężkiego pierwiastka, powstały w dawnej gwieździe, może stać się częścią młodej planety. Woda uczestniczy w geochemii skorupy, życie wykorzystuje ją jako środowisko reakcji, a fotosynteza zmienia atmosferę. Tlen otwiera drogę do nowych budżetów metabolicznych, zaś wielokomórkowość zaprzęga istniejące białka do budowy tkanek. Katastrofa przekształca układ ekologiczny, co pozwala ocalałym liniom zająć nowe nisze. Naczelny rozwija zdolność manipulacji, hominin staje się coraz bardziej dwunożny, kultura kumuluje rozwiązania, aż wreszcie technologia zaczyna modyfikować genom.

Każdy etap zastaje świat pozostawiony przez poprzednie fazy. To właśnie jest historyczność w jej najpełniejszym znaczeniu: przeszłość nie znika. Nie istnieje jako duchowy cień oddziałujący spoza praw fizyki, lecz jako aktualny stan rzeczy ukształtowany przez wcześniejsze procesy. Historia planety przejawia się w rozmieszczeniu kontynentów, historia gatunku w jego anatomii, populacji – w genomie, a kultury – w języku i instytucjach. Historia jednostki zapisana jest w organizacji jej układu nerwowego i pamięci. Przeszłość działa, ponieważ stała się teraźniejszością. Autor książki kończy tę syntezę hasłem „Past as Prologue", przedstawiając człowieka jako najnowsze ogniwo wielomiliardowej sieci Kosmosu, Ziemi i życia.

To piękna rama, o ile uwolnić ją od dwóch niebezpieczeństw. Po pierwsze: przeszłość nie jest prologiem napisanym z myślą o konkretnym dramacie; to raczej zbiór odziedziczonych warunków, które jednocześnie ograniczają i umożliwiają przyszłość. Po drugie: człowiek nie jest końcem opowieści, lecz jednym z jej obecnych stanów.

Określenie „człowiek jako archiwum Wszechświata" nie powinno być rozumiane biernie. Archiwum zwykle kojarzy się z magazynem, w którym zapis zabezpieczono przed zmianą. Organizm jest czymś odwrotnym: to archiwum pozostającym w ruchu. Atomy są wymieniane, komórki umierają i powstają, genom rekombinuje, kultura zmienia znaczenia, a populacje migrują. Ciągłość nie polega na zachowaniu tych samych cząsteczek, lecz na trwaniu i przekształcaniu organizacji.

Nie nosimy w sobie tych samych molekuł wody, które falowały w oceanie hadejskim, ale nasze komórki działają w środowisku wodnym dlatego, że cała historia życia toczyła się w chemii, którą woda umożliwia. Nie przechowujemy w stopie „cząstki paleozoiku", lecz jej architektura jest późnym rezultatem ciągu przekształceń kończyny kręgowca. W mózgu nie zapisano wspomnienia

Wielkiego Zdarzenia Oksydacyjnego, ale nasze mitochondria funkcjonują w biosferze powstałej po przebudowie redoks planety. Historyczna ciągłość jest ciągłością relacji, a nie muzealnych eksponatów. W tej perspektywie tożsamość człowieka okazuje się mniej substancjalna, a bardziej relacyjna. Jesteśmy organizmami, ponieważ utrzymujemy dynamiczną organizację; przedstawicielami gatunku, gdyż należymy do genealogicznej populacji; osobami kulturowymi, bo przyswajamy język, normy i wiedzę innych. Żaden z tych poziomów nie istnieje całkowicie samodzielnie. Człowiek jest węzłem relacji rozciągających się od komórki po cywilizację i od pokolenia po głęboki czas. Ta wizja powinna wzmacniać nie poczucie małości, lecz zdumienie zmianą skali.

Ten sam organizm, którego istnienie zależy od gradientu protonowego na błonie mitochondrialnej, potrafi oszacować wiek Wszechświata. Układ nerwowy, powstały jako narzędzie sterowania zachowaniem lokalnego zwierzęcia, konstruuje pojęcia miliardów lat i miliardów lat świetlnych. Mózg ograniczony objętością czaszki wytworzył zewnętrzną kulturę poznawczą, która przekracza pojemność pojedynczego organu. Z biologicznej lokalności wyłoniło się poznanie kosmicznej skali. Nie trzeba nadawać temu faktowi metafizycznego celu, by uznać go za niezwykły. Przeciwnie – jego niezwykłość rośnie, gdy uświadomimy sobie, że nie musiał być zaplanowany. Gwiazdy nie produkowały węgla dla neuronów, tektonika nie przesuwała Afryki dla homininów, a dobór nie przewidywał matematyki.

Autoreferencyjność poznania jako fundament etycznej odpowiedzialności

A jednak w wyniku kolejnych lokalnych procesów powstał organizm, który potrafi odwrócić kierunek wyjaśnienia i z poziomu teraźniejszości dotrzeć do własnych antecedencji.

Nauka przyjmuje tu niemal paradoksalną strukturę: aby poznać swoje pochodzenie, człowiek używa narządów, których genezę bada. Oko czyta odczyty spektrometru opisującego ewolucję opsyn; ręka preparuje kość dokumentującą ewolucję dłoni. Mózg konstruuje teorię dotyczącą ewolucji mózgu, a genom sekwencjonuje się za pomocą technologii stworzonej przez fenotyp będący produktem tegoż genomu. Poznający staje się zatem częścią przedmiotu poznania.

Nie prowadzi to jednak do poznawczego relatywizmu. Fakt, że instrument bada warunki swojego powstania, nie unieważnia wyników, lecz wymaga refleksyjności — świadomości własnych ograniczeń, historii pojęć i zakresu stosowanych modeli. Nauka o człowieku zawsze zawiera

element autoreferencji, gdyż człowiek jest jednocześnie obserwatorem i fragmentem obserwowanego świata.

Tutaj pokora epistemiczna jest końcowym odpowiednikiem ewolucyjnej antyteleologii. Skoro nasz aparat poznawczy nie ewoluował po to, by rozwiązywać zagadki kosmologii kwantowej, jego sukcesy są imponujące, lecz nie gwarantują intuicyjności świata. Nie powinniśmy oczekiwać, że rzeczywistość będzie dopasowana do kategorii zdrowego rozsądku rozwiniętych do życia średniej wielkości naczelnego na powierzchni planety. Matematyka, instrumenty i instytucjonalna krytyka stały się sposobem przekraczania tej ewolucyjnej prowincjonalności.

Ostatecznie głęboki czas uczy dwóch pozornie sprzecznych rzeczy. Po pierwsze, uczy radykalnej zależności: nie ma człowieka bez gwiazd, skał, oceanów, mikroorganizmów, roślin, zwierząt i niezliczonych wymarłych linii. Po drugie, uczy emergencji: z tych antecedencji wyłoniły się własności, których nie da się sensownie opisać samym słownikiem wcześniejszych poziomów. Człowiek jest całkowicie naturalny, a zarazem kultura, prawo, nauka i odpowiedzialność stanowią realne, nowe wymiary jego działania. Nie musimy wybierać między redukcją człowieka do „gwiezdnego pyłu" a wyniesieniem go poza naturę. Obie skrajności pomijają najciekawsze zjawisko: z materii należącej do historii kosmosu powstał system zdolny do norm, pytań, błędów, samokrytyki i świadomej interwencji.

W tym punkcie pojawia się odpowiedzialność za przyszłość, której nie posiadały ani skała, ani asteroida, ani cyjanobakteria. Nie dlatego, że są one „gorsze", lecz dlatego, że nie tworzą modeli konsekwencji swoich działań. Człowiek potrafi przewidzieć część skutków i mimo to świadomie wybrać konkretne działanie, co otwiera przestrzeń etyki niedostępną procesom nieintencjonalnym.

Przeszłość jest zatem prologiem, a przyszłość nie jest zapisanym kolejnym rozdziałem. Jest przestrzenią ograniczoną przez dziedzictwo, prawa natury i wcześniejsze decyzje, lecz częściowo otwartą na nowe kombinacje. To właśnie sprawia, że odpowiedzialność nie jest sprzeczna z kontyngencją. Gdyby przyszłość była całkowicie zdeterminowana, odpowiedzialność traciłaby praktyczny sens; gdyby zaś była całkowicie chaotyczna, planowanie byłoby bezcelowe. Działamy dlatego, że świat jest jednocześnie częściowo przewidywalny i częściowo otwarty.

Świadoma rekonstrukcja przeszłości jako fundament odpowiedzialności za przyszłość

Taka sama struktura umożliwiła w ogóle powstanie nauki. Na drodze od Wielkiego Wybuchu do genomu nie pozostaje zatem jedna, ostateczna odpowiedź, lecz raczej dojrzalszy sposób zadawania

pytań. Człowiek nie jest "zbudowany z kosmosu" jedynie w banalnym sensie chemicznym; jego istnienie stanowi przecięcie wielu historii: kosmologicznej, gwiazdowej, planetarnej, geochemicznej, klimatycznej, ewolucyjnej, ekologicznej, populacyjnej i kulturowej. Każda z nich operuje w innej skali czasu i posiada własny aparat przyczynowy. Dopiero ich splot wyjaśnia, dlaczego taki organizm może istnieć właśnie tutaj i teraz.

Nie oznacza to jednak, że wyjaśniliśmy wszystko. Nie wiemy, jak powstało pierwsze życie. Nadal nie rozumiemy w pełni genezy eukariontów, dokładnej chronologii natlenienia, wszystkich mechanizmów kambryjskiej radiacji, wielu szczegółów pochodzenia świadomości ani pełnej historii najwcześniejszych homininów. Nie znamy przyszłego stanu klimatu z absolutną precyzją, nie potrafimy przewidzieć długofalowej ewolucji kultury ani wskazać granic przyszłych technologii. Dojrzała nauka nie kończy się jednak tam, gdzie zaczyna się niewiedza. Rozpoczyna się dokładnie w chwili, gdy potrafimy określić, czego nie wiemy i jakiego dowodu potrzebowalibyśmy, aby wiedzieć więcej.

Ostatnim symbolem tej opowieści nie musi być człowiek stojący triumfalnie ponad naturą. Bardziej adekwatny jest obraz badacza pochylonego nad mikroskopijnym śladem w skale, widmem gwiazdy, fragmentem pradawnego DNA albo szeregiem liczb ze spektrometru. Posiada on świadomość, że ślad jest niewielki, zapis niepełny, a teoria podatna na zmianę. Równocześnie wie, że dzięki krytycznemu zestawieniu wielu takich poszlak można przekroczyć granice jednostkowego doświadczenia i odtworzyć wydarzenia sprzed miliardów lat. W tym skromnym geście kryje się coś donioślejszego niż antropocentryczna "korona stworzenia". Materia, która przez eony podlegała przemianom, osiągnęła lokalnie organizację zdolną pytać o reguły tych procesów. Życie, które przez miliardy lat jedynie dziedziczyło skutki przeszłości, w jednym ze swoich odgałęzień zaczęło je świadomie rekonstruować. Historia, która wcześniej pozostawiała ślady bez czytelnika, wytworzyła czytelnika zdolnego nauczyć się jej alfabetu.

Tutaj należy pozostawić Baconowskiego "największego innowatora" – nie jako tajemniczą siłę działającą poza znanymi mechanizmami, lecz jako nazwę dla najgłębszej własności świata historycznego: to, co powstaje, zmienia repertuar tego, co może powstać później. Czas nie wymyśla atomów, kontynentów, oczu, mózgów ani idei; sprawia natomiast, że nic z tego nie pojawia się na pustej scenie. Każdy nowy akt rozpoczyna się po poprzednim, w świecie przez ten poprzedni już zmienionym. Człowiek jest jednym z takich następstw – późnym, niekoniecznym i niezwykle złożonym. Nie stoi poza historią Wszechświata; jest jej fragmentem, w którym wodór Wielkiego Wybuchu, węgiel dawnych gwiazd, woda młodej Ziemi, tlen mikroorganizmów, kości kręgowców, oczy naczelnych, dwunożność homininów, język społeczności i wiedza pokoleń spotykają się w jednym współczesnym organizmie.

Jego osobliwą cechą nie jest to, że nosi w sobie tę przeszłość – wszystkie organizmy ją noszą. Osobliwość polega na tym, że potrafi ją odczytywać, a wiedząc coraz więcej o tym, skąd przyszedł, po raz pierwszy może świadomie współdecydować, jaki ślad własnej epoki pozostawi w głębokim czasie przyszłości.

> Historia przez eony pozostawiała ślady bez czytelnika, lecz w pewnym momencie wytworzyła istotę zdolną nauczyć się jej alfabetu. Czy ta niezwykła umiejętność odczytywania przeszłości jest jedynie biologicznym przypadkiem, czy może jedynym warunkiem, byśmy przestali być niewolnikami kontyngencji? W tym sensie nasza świadomość nie jest koroną stworzenia, lecz pierwszą w kosmosie szansą na to, by przyszłość przestała być tylko wynikiem przypadku, a stała się przedmiotem świadomego wyboru.

Inspiracje

[1] 

"The Universe Within The Deep History of the Human Body" Neil Shubin

Vintage | ISBN: 9780307907868

Neil Howard Shubin (ur. 22 grudnia 1960 r.) to amerykański paleontolog, biolog ewolucyjny i popularyzator nauki. Pełni funkcję profesora biologii organizmów i anatomii im. Roberta R. Bensleya na Uniwersytecie Chicagowskim, a w 2026 roku został wybrany na prezesa Narodowej Akademii Nauk. Shubin uzyskał doktorat z biologii organizmów i biologii ewolucyjnej na Uniwersytecie Harvarda w 1987 roku. Jest znany na całym świecie za współodkrycie w 2004 roku Tiktaalik roseae, kultowej skamieniałości przejściowej sprzed 375 milionów lat, znalezionej na Wyspie Ellesmere'a w Nunavut w Kanadzie, która rzuca światło na ewolucyjne przejście od ryb do lądowych czworonogów. Jego badania łączą genetykę rozwojową z odkryciami kopalnymi, aby zbadać głębokie ewolucyjne korzenie planów budowy ciała kręgowców oraz struktury anatomiczne współczesnych organizmów, w tym człowieka.

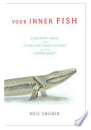
Neil Howard Shubin (born December 22, 1960) is an American paleontologist, evolutionary biologist, and science communicator. He serves as the Robert R. Bensley Distinguished Service Professor of Organismal Biology and Anatomy at the University of Chicago and was elected president of the National Academy of Sciences in 2026. Shubin earned his Ph.D. in organismic and evolutionary biology from Harvard University in 1987. He is internationally recognized for his 2004 co-discovery of Tiktaalik roseae, an iconic 375-million-year-old transitional fossil found on Ellesmere Island in Nunavut, Canada, that illuminates the evolutionary transition from fish to land-dwelling tetrapods. His research integrates developmental genetics and fossil discoveries to investigate the deep evolutionary roots of vertebrate body plans and the anatomical structures of modern organisms, including humans.

University of Chicago

Literatura uzupełniająca

Książki

Książki autora i dzieła przywołane w tekście:



[1] "Your Inner Fish"

Neil Shubin

2008 | Vintage | ISBN: 9780307377166



[2] "Some Assembly Required"

Neil Shubin

2020 | Vintage | ISBN: 9781101871348



[3] "Ends of the Earth"

Neil Shubin

2025 | Simon and Schuster | ISBN: 9780861542871



[4] "Der Fisch in uns"

Neil Shubin

2015 | S. Fischer Verlag | ISBN: 9783104037073



[5] "Nasza wewnętrzna menażeria"

Neil Shubin

2009 | ISBN: 9788376480985



[6] "Tu pez interior"

Neil Shubin

2020 | Capitán Swing Libros | ISBN: 9788412219296

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:



[7] "Social Theory and Social Structure"

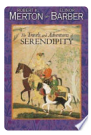
Robert K. Merton



[8] "The sociology of science"

Robert K. Merton

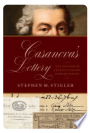
ISBN: 9788131608609



[9] "The Travels and Adventures of Serendipity"

Robert K. Merton

Princeton University Press | ISBN: 9780691117546



[10] "Casanova's Lottery"

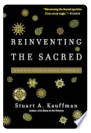
Stephen Stigler

University of Chicago Press | ISBN: 9780226820781

[11] "Between Home and Heaven"

National Museum of American Art (U.S.), Merry A. Foresta, Stephen Jay Gould, Karal Ann Marling

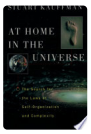
1992 | Smithsonian Inst National Museum of | ISBN: 9780937311042



[12] "Reinventing the Sacred"

Stuart Kauffman

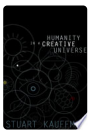
2008 | Hachette UK | ISBN: 9780465012404



[13] "At Home in the Universe"

Stuart Kauffman

1995 | Oxford University Press | ISBN: 9780195111309



[14] "Humanity in a Creative Universe"

Stuart A. Kauffman

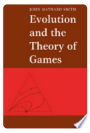
2016 | Oxford University Press | ISBN: 9780199390465



[15] "The Theory of Evolution"

John Maynard Smith

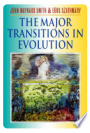
Penguin Group



[16] "Evolution and the Theory of Games"

John Maynard Smith

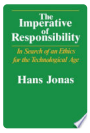
Cambridge University Press | ISBN: 9780521288842



[17] "The Major Transitions in Evolution"

John Maynard Smith

OUP Oxford | ISBN: 9780191586002



[18] "The Imperative of Responsibility"

Hans Jonas

University of Chicago Press | ISBN: 9780226405971

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] "The Early Evolution of Metazoa and the Significance of Problematic Taxa."

Michael T. Ghiselin, Alberto Mario Simonetta, Simon Conway Morris

1993 | Systematic Biology | DOI: 10.2307/2992562

Źródło

[2] "The fossil record and the early evolution of the Metazoa"

Simon Conway Morris

1993 | Nature | DOI: 10.1038/361219a0

Źródło

[3] "Articulated halkieriids from the Lower Cambrian of North Greenland and their role in early protostome evolution"

Simon Conway Morris, John S. Peel

1995 | Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences | DOI: 10.1098/rstb.1995.0029

Źródło

[4] "Convergent evolution: limited forms most beautiful"

Simon Conway Morris

2013 | Historical Biology | DOI: 10.1080/08912963.2012.723360

Źródło

[5] "The origins of order; self organization and selection in evolution"

Stuart Alan Kauffman

1994 | International Journal of Biochemistry | DOI: 10.1016/0020-711x(94)90119-8

Źródło

[6] "Developmental Constraints and Evolution: A Perspective from the Mountain Lake Conference on Development and Evolution"

John Maynard Smith, Richard M. Burian, Stuart Alan Kauffman, Pere Alberch, J. Campbell

1985 | The Quarterly Review of Biology | DOI: 10.1086/414425

Źródło

[7] "At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity"

Roger F. Malina, Stuart Alan Kauffman

1996 | Leonardo | DOI: 10.2307/1576330

Źródło

[8] **"Origins of Order in Evolution: Self-Organization and Selection"**
Stuart Alan Kauffman
1992 | Springer eBooks | DOI: 10.1007/978-94-015-8054-0_8
Źródło

[9] **"Evolution and the Theory of Games"**
John Maynard Smith
1988 | Springer eBooks | DOI: 10.1007/978-1-4684-7862-4_22
Źródło

[10] **"THE MAJOR TRANSITIONS OF EVOLUTION"**
Egbert Giles Leigh, John Maynard Smith, Eörs Szathmáry
1995 | Evolution | DOI: 10.1111/j.1558-5646.1995.tb04464.x
Źródło

[11] **"The Major Transitions in Evolution"**
John Maynard Smith, Eörs Szathmáry
1997 | Oxford University Press eBooks | DOI: 10.1093/oso/9780198502944.001.0001
Źródło

[12] **"The theory of games and the evolution of animal conflicts"**
John Maynard Smith
1974 | Journal of Theoretical Biology | DOI: 10.1016/0022-5193(74)90110-6
Źródło

[13] **"The major evolutionary transitions"**
Eörs Szathmáry, John Maynard Smith
1995 | Nature | DOI: 10.1038/374227a0
Źródło

[14] **"Toward major evolutionary transitions theory 2.0"**
Eörs Szathmáry
2015 | Proceedings of the National Academy of Sciences | DOI: 10.1073/pnas.1421398112
Źródło

[15] **"The Imperative of Responsibility: In Search of an Ethics in the Technological Age"**
Millett Granger Morgan, Hans Jonas
1985 | Journal of Policy Analysis and Management | DOI: 10.2307/3324683
Źródło

[16] "The Imperative of Responsibility: In Search of an Ethics for the Technological Age"

Hans Jonas

1985 | DigitalGeorgetown (Georgetown University Library)

Źródło

[17] "Philosophical Reflections on Experimenting with Human Subjects"

Hans Jonas

1979 | Springer eBooks | DOI: 10.1007/978-1-4615-6561-1_16

Źródło

[18] "Technology and Responsibility: Reflections on the New Tasks of Ethics"

Hans Jonas

2014 | Palgrave Macmillan UK eBooks | DOI: 10.1057/9781137349088_3

Źródło

Treść tworzy Fundacja Dobre Państwo.
Redaguje i publikuje APA ONE, autorski system redakcyjny Fundacji oparty na AI.
APA ONE Publishing System
Fundacja Dobre Państwo © 2026
Article ID: bb74fcd6-5657-433b-b383-de24718cead2