

Bernard Korzeniewski *Trzy ewolucje*

# **TRZY EWOLUCJE**

**EWOLUCJA WSZECHŚWIATA, EWOLUCJA ŻYCIA, EWOLUCJA ŚWIADOMOŚCI**

***Bernard Korzeniewski***

**KORONA, Kraków 1998**

**Uaktualnione: Kraków 2008**

## WSTĘP

Niniejsza książka mówi o ewolucji Wszechświata, ewolucji życia i ewolucji świadomości. Stara się odpowiedzieć na pytanie o istotę fizycznego, biologicznego i psychicznego poziomu rzeczywistości. Próbuje dociec, jak świadom swego istnienia system pojęć (czyli po prostu świadomość) wyłania się z czysto biologicznego funkcjonowania ludzkiego mózgu, celowość struktury i działania organizmów żywych - z praw rządzących zachowaniem się atomów, zaś całe bogactwo obiektów składających się na Wszechświat - z nicości.

W dużym zakresie książka stanowi opracowanie popularnonaukowe, przedstawiające wybrane osiągnięcia nauk przyrodniczych, przede wszystkim fizyki i biologii. Jednakże jej ambicje sięgają znacznie dalej - w kierunku zaproponowania całkowicie nowego ujęcia przynajmniej niektórych rozpatrywanych problemów. W szczególności, przedstawiam własne poglądy na to, co stanowi sedno, kwintesencję istoty życia i świadomości. Wszystkie zaś zagadnienia staram się rozpatrywać w szerszym filozoficznym kontekście, analizując implikacje płynące z obecnego stanu wiedzy w naukach przyrodniczych dla ogólnej wizji rzeczywistości we wszelkich jej aspektach. Podejście filozoficzne staje się dominujące w trzeciej części książki, dotyczącej ewolucji sieci pojęciowej, gdzie zajmuję się naturą ludzkich umysłów oraz płynącymi z niej wnioskami dotyczącymi statusu naszego obrazu świata.

W ogólności, w niniejszej książce za oś tego obrazu, scalającą w jedno rozmaite poziomy rzeczywistości, obieram ewolucję: fizyczną, biologiczną i sieci pojęciowej. W pewnym sensie ewolucja to jedynie pretekst dla opisu jednolitej wizji świata jako całości. Ale pretekst bardzo poręczny i na miejscu - świat, razem ze wszystkimi obiektami fizycznymi, organizmami żywymi oraz świadomymi podmiotami, nie tylko jest, ale przede wszystkim dzieje się. Ewolucja to drugie oblicze istnienia rzeczywistości. Rzeczywistości, która "zachodzi" równolegle na trzech podstawowych, stanowiących zarazem jedność i wyraźnie odmiennych poziomach: fizycznym, biologicznym i psychicznym. Niechże to wystarczy za wytłumaczenie dla tytułu książki i poruszanej w niej tematyki.

Pierwsza część książki stanowi próbę omówienia wybranych aspektów ewolucji fizycznej (jej cech ogólnych, ewolucji Wszechświata oraz termodynamicznych podstaw ewolucji życia), szczególnie tych posiadających ważkie implikacje filozoficzne, a więc istotnych dla szerokiej wiedzy interdyscyplinarnej. Tak jak cała książka, część ta jest adresowana do szerokiego grona czytelników, a więc niekoniecznie do osób związanych z fizyką lub naukami przyrodniczymi w ogólności. Z tego powodu nie do uniknięcia było zastosowanie pewnych uproszczeń, analogii i generalizacji, które mogłyby się wydać nieco zbyt daleko idące dla "rasowych" fizyków. Mam jednakże nadzieję, iż rezygnując ze ścisłości wykładu, udało mi się uczynić go przez to bardziej zrozumiałym i interesującym. Ważne jest, aby zagłębiając się w gąszcz drzew (fizycznych faktów i teorii), nie stracić z oczu obrazu całego lasu (Wszechświata jako wieloaspektowej całości). Co więcej, każdy uczciwy fizyk przyzna, iż na obecnym etapie rozwoju wiedzy próba odpowiedzi na takie pytania, jak "na czym polega istnienie Wszechświata?", "skąd bierze się strzałka czasu" lub też "co było na początku?" nieuchronnie ociera się o spekulację. Nie znaczy to, że nie należy takich pytań stawiać - jasne sformułowanie zasięgu naszej niewiedzy oraz niepełność formułowanych prowizorycznych hipotez

pozwała na pełniejsze zrozumienie istoty problemu i skłania do prób szukania jego rozwiązań. W sumie, najciekawsze zawsze jest to, czego jeszcze nie wiemy.

Część druga, poświęcona ewolucji biologicznej, traktuje o istocie fenomenu życia, jego ewolucji opartej na mechanizmie doboru naturalnego oraz samoistnym powstaniu u zarania dziejów naszej planety. Po termodynamicznym paradygmacie spojrzenia na to, czym jest życie, przedstawionym w części pierwszej, przychodzi kolej na omówienie paradygmatu "klasycznego", ujmującego zjawiska biologiczne w kontekście struktury, funkcji, dziedziczenia informacji genetycznej, rozmnażania i ewolucji. Zadośćuczyniając w ten sposób obowiązкови popularyzacji współczesnej wiedzy biologicznej (szerzej i bardziej systematycznie czynię to w książce "Powstanie i ewolucja życia", EREM-FOSZE, Rzeszów 1996), staram się, ponownie, umieścić tę wiedzę w bardziej ogólnym kontekście światopoglądowym i przygotowuję jednocześnie grunt pod wprowadzenie swojej własnej koncepcji, dotyczącej samego sedna istoty fenomenu życia. Koncepcję tę formułuję w obrębie paradygmatu cybernetycznego, dotyczącego szeroko pojętych mechanizmów regulacyjnych. W szczególności, minimalnej niezbędnej definicji życia doszukuję się w systemie sprzężeń zwrotnych ujemnych podporządkowanych nadrzędnemu sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu. Przedstawione kryterium na odróżnienie tego, co żywe od tego, co martwe stosuję potem do szeregu fenomenów stojących "na pograniczu" życia, takich jak wirusy, priony, nowotwory i pasożytnicze DNA, a także do procesu samoistnego wyłaniania się życia z materii nieożywionej.

Wreszcie, trzecia część książki dotyczy ewolucji sieci pojęciowej, czyli tego co, w mojej opinii, konstytuuje "substancję" całości sfery psychicznej i związanych z nią procesów myślowych. Część ta stanowi już to kontynuację, już to uściślenie, już to rozwinięcie poglądów, które zaprezentowałem w książce "Absolut - odniesienie urojone" (Oficyna Literacka, Kraków 1994; jest ona także dostępna na stronie internetowej: [www.racjonalista.pl](http://www.racjonalista.pl)). Zakładam, iż natura znaczeń w sieci pojęciowej stanowi pochodną ogólnej struktury sieci nerwowej, stanowiącej podłoże tej pierwszej. W obu sieciach "znaczenia" poszczególnych elementów (neuronów, pojęć) wzajemnie się współwarunkują - jedne elementy tworzą odpowiedni kontekst semantyczny dla innych. Taka struktura sieci pojęciowej ma ogromny wpływ na ukształtowany w obrębie tej sieci obraz świata - jest on pochodną tyleż realnego świata "samego w sobie", co sposobu integracji sygnałów przez nasz mózg. Sieć pojęciowa nie bierze się znikąd - powstaje stopniowo i ulega postępującej komplikacji zarówno podczas rozwoju osobniczego, jak i ewolucyjnego człowieka. Uwarunkowania natury sieci pojęciowej, wynikające tak z genetyki biologicznej, jak i neuronalnego podłoża funkcjonalnego tej sieci, mają fenomenalne i w dużej części jeszcze nie rozpoznane implikacje filozoficzne dotyczące statusu i ograniczeń naszego poznania i naszej wiedzy o świecie.

W trzeciej części książki proponuję także na czym polega istota świadomości. Moim zdaniem świadomość wyłania się z poziomu biologicznego (funkcjonowania mózgu) w wyniku samonakierowania się na siebie ośrodka poznawczego w mózgu (w wyniku utworzenia w tym ośrodku, oprócz obrazu świata, także obrazu samego siebie), tak jak poziom biologiczny wyłania się z poziomu fizycznego poprzez samonakierowanie się na siebie pewnych układów samopowielających, zorientowanych na przetrwanie i ekspansję swojej własnej tożsamości. "Rozwarstwienie" rzeczywistości (i jej ewolucji) na trzy zasadnicze poziomy stanowi zatem pochodną

jednej prostej relacji - relacji samonakierowania (samostosowalności), która skądinąd leży u podstawy paradoksu kłamcy, antynomii klas Russella czy wreszcie dowodu Gödla.

Niniejsza wersja stanowi w niewielkim jedynie stopniu zmodyfikowaną wersję oryginalną, opublikowaną w wydawnictwie KORONA, Kraków 1998. Postęp wiedzy w ciągu ostatnich dziesięciu lat, w szczególności w fizyce, spowodował, że pewne fakty i poglądy uległy dezaktualizacji. Jednakże dokonane zmiany starałem się ograniczyć do niezbędnego minimum, mimo iż dzisiaj wiele zagadnień sformułowałbym w nieco odmienny sposób, w wielu przypadkach inaczej rozłożyłbym akcenty, a w niektórych sprawach moje opinie uległy po prostu (przynajmniej częściowej) zmianie.

## 1. EWOLUCJA FIZYCZNA

### 1.1. CZYM JEST EWOLUCJA W FIZYCE?

Termin "ewolucja" stosowany bywa do bardzo szerokiego spektrum rozmaitych zjawisk, takich jak ewolucja Wszechświata, skorupy ziemskiej, organizmów żywych, społeczeństw, języka lub czyichś poglądów, żeby wymienić tylko nieliczne. Tak szeroki zakres - tak często odmiennych (dotyczących diametralnie różnych "obiektów" i opartych na różnych mechanizmach) procesów, obdarzonych tą samą etykietką nazwy językowej rodzi pytanie o istotę znaczenie pojęcia ewolucji<sup>1</sup>. Niewątpliwie, każdy z nas posiada mniej lub bardziej sprecyzowane intuicyjne rozumienie tego pojęcia. Niemniej jednak, ze względu na specyfikę poszczególnych przypadków, każdorazowo zachodzi konieczność dookreślenia pojęcia ewolucji na użytek danego konkretnego procesu. W niniejszej książce postaram się oddać, tak jak ją rozumiem, istotę zjawiska ewolucji fizycznej, biologicznej i psychicznej.

W szczególności, w obecnym rozdziale interesować nas będzie pytanie, co należy rozumieć przez ewolucję rozmaitych układów fizycznych. Aby określić swoiste cechy ewolucji fizycznej, wygodnie byłoby znaleźć jakiś punkt odniesienia, pozwalający na w miarę przejrzystą charakteryzację tego procesu na zasadzie podobieństw i różnic z jakimś innym zjawiskiem. Za swego rodzaju "standard" dla pojęcia ewolucji w ogólności, a ewolucji fizycznej - w szczególności, można uznać ewolucję biologiczną. Każdy ma wyrobione mgliste chociażby pojęcie, na czym ewolucja taka polega. Wiadomo powszechnie, iż jedne formy żywe ulegają z czasem przekształceniu w inne, przy czym złożoność takich form niejednokrotnie ulega w procesie ewolucji zwiększeniu. Ewolucja biologiczna prowadzi do wytworzenia czegoś "nowego", z reguły lepszego i bardziej skomplikowanego, niż prostsze i mniej doskonałe "stare". Mniejsza już o to, czy tego rodzaju obiegowe opinie o ewolucji biologicznej znajdują pełne pokrycie w rzeczywistości. Tak czy owak nie ulega wątpliwości, że ewolucja biologiczna z jednej strony wykazuje pewne podobieństwa do ewolucji fizycznej (choćby to najbardziej trywialne, że obie ewolucje są zmianami zachodzącymi w czasie), z drugiej zaś - posiada "coś", czego brakuje rozmaitym przemianom zachodzącym na poziomie fizycznym. Powstaje wobec tego pytanie, co to właściwie jest ewolucja w ogóle (jeżeli za obowiązujący kanon uznamy ewolucję biologiczną) i w jakim stopniu (jeśli w ogóle) pojęcie to odnosi się w sposób płodny heurystycznie do układów czysto fizycznych.

W niniejszym rozdziale problem ten postaram się przeanalizować, jako odnośnego, intuicyjnie zrozumiałego "wzorca" używając właśnie ewolucji świata żywego. Będzie to korzystne jeszcze z tego punktu widzenia, że ewolucja na poziomie biologicznym (w tym - sposób wyłaniania się tego poziomu z poziomu fizycznego) stanowi temat drugiej części tej książki. W szczególności,

---

<sup>1</sup>Można by mieć wątpliwości, czy tak szeroko rozumiane pojęcie ewolucji w ogóle posiada jakiegokolwiek nietrywialne znaczenie, poza byciem synonimem pojęcia "zmiana w czasie".

spróbuję teraz przedstawić pewne cechy charakterystyczne dla ewolucji biologicznej, przysługujące także poszczególnym rodzajom i przypadkom ewolucji fizycznej.

Mówi się często o ewolucji pewnego układu fizycznego (a także chemicznego, geologicznego itp.). Układem tym może być cały Wszechświat, obiekt spadający w polu grawitacyjnym lub gaz w pudełku. Wszystkie te "evolucje" mają pewną cechę wspólną (obecną także oczywiście w przypadku ewolucji biologicznej), mianowicie - zmianę w czasie. Wszechświat rozszerza się, powstają w nim gwiazdy i galaktyki, a na planetach rozwija się życie, spadający kamień zmienia swe położenie w przestrzeni, gaz w pudełku dąży do stanu najbardziej prawdopodobnego, mianowicie równomiernego rozkładu cząsteczek. Nie trzeba chyba szerzej uzasadniać, iż zmiana stanowi nieodłączny atrybut ewolucji.

Czy jednak sama w sobie zmiana w czasie wystarczy do jednoznacznego zdefiniowania ewolucji fizycznej lub, innymi słowy, czy ewolucja fizyczna jest po prostu zmianą w czasie (albo czy każdą zmianę w czasie na poziomie fizycznym należy uznać za ewolucję)?

Rozpatrzmy układ dwóch ciał, z których jedno obiega drugie w przestrzeni pod wpływem przyciągania grawitacyjnego, tak jak Ziemia krąży dookoła Słońca. Załóżmy dla uproszczenia, że rozmiary obu ciał są punktowe i że masa satelity jest nieskończenie mała (lub, lepiej, dowolnie bliska zera), tak że środek ciężkości układu pokrywa się z punktem reprezentującym ciało centralne (z dowolną żądaną dokładnością), oraz że oddziaływanie grawitacyjne innych ciał jest zaniedbywalne (wszystkie te założenia potrzebne są do tego, aby uniknąć jakichkolwiek zaburzeń mogących wywierać wpływ na zachowanie się naszego wyidealizowanego układu). Takie założenia nigdy nie odzwierciedlają dokładnie sytuacji realnej, ale często są jej wystarczająco bliskie.

Zobaczymy, co będzie się działo w powyższym przypadku. Opisany układ będzie przez czas nieskończenie długi zachowywał się w jednakowy sposób - satelita będzie krążył wokół ciała centralnego z jakimś stałym okresem obiegu  $T$ . Chociaż więc zachodzi tu zmiana w czasie, jest ona cykliczna - po okresie  $T$  układ powraca do punktu wyjścia. Właściwie nawet stwierdzenie o zachodzeniu zmiany nie jest w tym przypadku do końca jednoznaczne i jego akceptacja wymagałaby uściślenia pojęcia "zmiana". Innym przykładem takiego układu jest (wyidealizowane) wahadło - "urządzenie" periodycznie poruszające się pomiędzy dwoma stanami o maksymalnym wychyleniu i zerowej prędkości, pośrodku przechodząc przez stan o zerowym wychyleniu i maksymalnej prędkości. Zachowanie się powyższych układów jest nie tylko cykliczne, ale i odwracalne - zatrzymanie satelity lub wahadła i puszczenie ich w drugą stronę niczego nie zmienia w dynamice systemu. Obieg satelity dookoła ciała centralnego odbywa się w dwóch wymiarach, zatem odwrócenie kierunku ruchu satelity przekształca układ w jego lustrzane odbicie (satelita będzie okrążył ciało centralne w przeciwnym kierunku). Ponieważ ruch wahadła odbywa się w zasadzie w jednym wymiarze, nawet taka zmiana nie zajdzie w tym układzie po puszczeniu wahadła w odwrotną stronę.

Czy opisane wyżej układy, chociaż zachodzi w nich zmiana w czasie, ewoluują? Intuicyjnie sprzeciwiamy się takiej diagnozie (pamiętajmy, że standard, punkt odniesienia, stanowi dla nas ewolucja biologiczna). Położenie satelity zmienia się oczywiście, jeżeli rozważymy dystans czasowy o rzędzie wielkości porównywalnym z  $T$ . Jeżeli wybierzemy skalę czasu o parę rzędów wielkości

większą i uśrednimy lub "scałkujemy" przestrzenne położenie satelity po czasie, to okaże się, iż jest ono stałe, że nic się w układzie nie zmienia. To zatem, czy dany układ zmienia się w czasie (w więc, przynajmniej potencjalnie, ewoluuje), zależy od skali czasowej, w jakim ten układ rozważamy.

Rozpatrzmy promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez laser. Jest ono spójne, co znaczy, iż zachodzi zgodność w fazie wysyłanych fal elektromagnetycznych, lub inaczej, że wszystkie fale w danym momencie znajdują się naraz na "szczyt" lub w "dolinie" sinusoidy, albo w dowolnym punkcie pośrednim (fale elektromagnetyczne są ciągami nawzajem indukujących się pól elektrycznych i magnetycznych i "górk" oraz "dolinki" fali odpowiadają maksimum i minimum natężenia tych pól). Do naszego oka dochodzą zatem pola elektryczne i magnetyczne o zmieniającym się periodycznie natężeniu. Zmiany te jednak są tak szybkie, że nasze oko rejestruje światło lasera jako stały (niezmienny w czasie) strumień światła. To samo rozumowanie dotyczy chaotycznych przebiegów czasowych, na przykład szumu - uśrednione po wystarczająco długim dystansie czasowym parametry podlegające fluktuacjom osiągają wartość stałą. W tych przykładach na pewno nie mamy do czynienia z ewolucją.

Zmieniając bardzo nieznacznie warunki początkowe (prędkości) lub/i brzegowe (oddziaływanie innych ciał) można tak zmodyfikować opisany powyżej system (satelita obiegający ciało centralne), że odległość satelity od ciała centralnego będzie za każdym następnym obiegiem odrobinę mniejsza. Innymi słowy, tor satelity nie będzie już okręgiem, ani elipsą - satelita będzie się zbliżał do ciała centralnego po bardzo ściśniętej spirali, której poszczególne zwoje leżą bardzo blisko siebie. Różnica może być tak mała, że prawie niezauważalna. Jednakże układ nie będzie już powracał cyklicznie do punktu wyjścia - cechować go będzie ciągła, kierunkowa zmiana jakiegoś parametru (parametrów), w tym wypadku odległości satelity od ciała centralnego. Stanowi to niewątpliwie postęp w kierunku przyjętego przez nas standardu - ewolucji biologicznej (która niewątpliwie także reprezentuje zmianę kierunkową). Zmiany układu zdążające w jakimś konkretnym kierunku nie tylko bardziej odpowiadają naszym intuicyjnym wyobrażeniom o tym, czym jest ewolucja, ale także zdają się reprezentować sytuację bardziej realistyczną. Opisany poprzednio przykład procesu idealnie cyklicznego (układ: ciało centralne - satelita) może zaistnieć tylko w postaci matematycznego modelu w układzie całkowicie izolowanym - realne systemy mogą stanowić jedynie jego mniej lub bardziej niedoskonałe przybliżenie. W świecie fizycznym praktycznie wszystko, począwszy od narastania kryształów, a skończywszy na przemianach Wszechświata, jest procesem kierunkowym, a więc nosi pewne znamiona ewolucji. Czy jednak nie zależy to od punktu odniesienia?

Wróćmy na chwilę do problemu skali czasu w ewolucji fizycznej w procesach periodycznych. Wyżej pokazałem, że w zależności od tego, czy rozpatrujemy przedział czasu porównywalny z czasem trwania oscylacji, czy też o wiele dłuższy, dany proces będzie się nam jawił jako układ zmieniający się okresowo lub jako system, w którym nie zachodzą żadne zmiany. Teraz chciałem omówić trzeci przypadek, kiedy czas obserwacji jest krótszy od okresu oscylacji. Jeżeli różnica wynosi przynajmniej rząd wielkości, to w polu obserwacji znajdzie się tylko bardzo niewielki odcinek sinusoidy obrazującej cykliczne zmiany w układzie, który to fragment, będąc w przybliżeniu odcinkiem prostym, nie ujawni okresowej natury rozpatrywanego procesu. W takiej sytuacji obserwator, notując

ciągłą zmianę wartości jakiegoś parametru (parametrów) układu, uzna że w tym układzie zachodzi proces kierunkowy. Jakiś organizm, który urodziłby się o świcie i umarł godzinę później stwierdziłby, że w jego świecie następuje stały wzrost natężenia światła, a więc "ewolucja ku świetlistości". Przykład ten nie jest tak bardzo oderwany od rzeczywistości, jak to by się mogło na pierwszy rzut oka wydawać. Pewne modele kosmologiczne, zakładające dodatnie zakrzywienie czasoprzestrzeni, dopuszczają możliwość Wszechświata cyklicznego, oscylującego. W pierwszej fazie cyklu Wszechświat rozszerzałby się bardzo gwałtownie z pierwotnej osobliwości (stanu o zerowych rozmiarach oraz nieskończonej gęstości i temperaturze) (początek tego rozszerzania się to Wielki Wybuch), szybkość owej ekspansji malałaby z czasem, tak jak szybkość wyrzuczonego w górę kamienia, aż w końcu siły grawitacyjne zatrzymałyby rozszerzanie się Wszechświata. Od tego momentu zacząłby się on coraz szybciej zapadać, dokonując swego żywota w końcowej osobliwości, która jednocześnie byłaby początkową osobliwością dla następnego cyklu. W każdym takim cyklu na wielu planetach rozwijałoby się życie, które gdzieś tam prowadziłoby do powstawania istot rozumnych. Zachodziłaby więc tam ewolucja biologiczna i kulturowa. Jednak zarówno życie, jak i cywilizacje ginęłyby w końcowej osobliwości. Nie oznacza to, że kolejne wszechświaty byłyby dokładnym powtórzeniem poprzednich, ale że, statystycznie rzecz biorąc (czyli uwzględniając miliardy galaktyk, form życia i cywilizacji) zachodziłoby pomiędzy nimi wielkie podobieństwo. Jeżeli zatem pulsujący model Wszechświata odpowiada prawdzie, to wszystko to, co nazywamy ewolucją w ścisłym tego słowa znaczeniu (czyli np. ewolucja biologiczna), okazałoby się tylko jej pozorem, jako niewielki fragment procesu kołowego (cyklicznego). Jeżeli spojrzeć na taki oscylujący Wszechświat z zewnątrz, dysponując dostatecznie rozległą (ale są to wielkości wymskające się naszej zdolności pojmowania) skalą czasu, wyda się on układem, w którym nic się w zasadzie nie zmienia, tak jak promień lasera odbierany jest przez nasze oko jako stały strumień światła. To, że opisany punkt widzenia wydaje się nieco groteskowy, wynika z naszego antropocentryzmu - na codzień spotykamy się ze znacznie mniejszymi skalami czasu, określanymi przez nasze cechy fizyczne i biologiczne (na przykład długość naszego życia) i przede wszystkim nimi jesteśmy zainteresowani. Nauka rozszerzyła ten zakres - od zjawisk subatomowych do okresu ewolucji biologicznej i czasu istnienia Wszechświata, można jednak pójść jeszcze dalej. Podany przykład ponownie ilustruje fakt, iż to, czy dany proces uznamy, czy nie uznamy za ewolucję, zależy od rozpatrywanej skali czasowej. Żeby uniknąć nieporozumień, na razie uwzględniam jedynie dwie cechy, dwa aspekty ewolucji: zmianę w czasie i jej kierunkowość (nie jest bynajmniej moim celem doprowadzenie pojęcia "ewolucja" do absurdu, lecz raczej poszukiwanie jego istoty). Pod względem tych cech zarówno ewolucja biologiczna, jak i kulturowa, byle rozpatrywać je w kontekście wystarczająco długich okresów czasu, mogą nie jawić się nam jako ewolucje. Dotyczy to także tego, co nazywamy ewolucją Wszechświata. Z punktu widzenia wieczności nic się nie zmienia.

Problem skali czasu pojawia się także tam, gdzie ewolucji, jako zmianie stopniowej, przeciwstawiamy zmianę nagłą, katastrofę. Przyjrzyjmy się najbardziej być może spektakularnej ze znanych nam katastrof - eksplozji jądrowej. Nic chyba nie wydaje się równie gwałtowne i skokowe. Gdybyśmy jednak "sfilmowali" (mówię w przenośni, bo fizycznie nie jest to możliwe) wewnątrz bryłki



radioaktywnego izotopu uranu o masie przekraczającej masę krytyczną, a następnie bardzo zwolnili film, zobaczylibyśmy, co następuje. Rozpadające się spontanicznie jądro niestabilnego izotopu uranu produkuje trzy neutrony. Neutrony te, zderzając się z innymi jądrami powodują ich rozbitcie i produkcję (w każdym przypadku) trzech następnych neutronów. Ponieważ jeden neutron, uderzając w jądro, powoduje produkcję trzech neutronów, ilość tych cząstek rośnie wykładniczo. Mamy zatem kolejno 3, 9, 27, 71, 213, 639 itd. neutronów. Rozpoczyna się to, co nazywamy reakcją łańcuchową. Stanowi ona typowy przykład sprzężenia zwrotnego dodatniego - im więcej wyemitowano neutronów, tym więcej neutronów jest produkowanych. Omawiany proces charakteryzuje więc ciągła, kierunkowa zmiana w czasie, którą uznaliśmy za jeden z atrybutów ewolucji.

Spójrzmy teraz z kolei na wzrost kolonii bakterii na pożywce agarowej. Na początku umieszczamy tam jedną bakterię. Odżywia się ona, rośnie i po jakimś czasie dzieli się na dwie. Bakterie potomne po takim samym okresie czasu dzielą się ponownie na dwie, dając w rezultacie cztery komórki, potem osiem, szesnaście itd. Ilość bakterii "ewoluuje" zatem stopniowo w kierunku większej liczebności. Po krótkim czasie ich liczba idzie już w miliony i miliardy. Dostrzegamy tu więc dokładnie to, co w eksplozji jądrowej - sprzężenie zwrotne dodatnie, manifestujące się proporcjonalnością szybkości wzrostu kolonii do jej obecnej wielkości. Jeżeli film, obrazujący "ewolucyjny" wzrost kolonii bakteryjnej puścimy tysiąc lub milion razy szybciej, dostrzeżemy to, czego byliśmy świadkami w przypadku wybuchu jądrowego - nagłą, gwałtowną katastrofę. To zatem, czy jakieś zjawisko zaklasyfikujemy jako skokową zmianę, czy jako ciągłą ewolucję, także zależy od przyjętej skali czasu. Analogię pomiędzy eksplozją jądrową a wzrostem kolonii bakterii można pociągnąć dalej - przecież ani ilość neutronów, ani bakterii nie rośnie eksponencjalnie w nieskończoność z powodu wyczerpania się podatnych na rozbitcie jąder uranu w pierwszym przypadku oraz zużycia pożywki i zatrucia swego środowiska produktami przemiany materii - w drugim. Gdyby nie limitująca ilość pożywki, w niedługim czasie Ziemia byłaby kulą bakterii rozszerzającą się z szybkością światła.

Wyżej omówiłem kwestię ewolucji oscylującego Wszechświata zamkniętego, to znaczy o dodatniej krzywiznie przestrzeni (o różnych modelach Wszechświata powiem więcej w następnym rozdziale). Okazało się, że z punktu widzenia dostatecznie dużej skali czasu nie ewoluuje on. A jak przedstawia się pod tym względem Wszechświat nieskończony, otwarty? Tak jak Wszechświat zamknięty, rozpoczyna się on Wielkim Wybuchem, największą katastrofą w dziejach Universum. Czy jednak, wybrawszy dostatecznie mały odcinek czasu, nie jawiłaby się ona jako proces? Tu pojawia się kłopot. Dzielenie czasu w nieskończoność na coraz to mniejsze odcinki jest bowiem nieuprawnione w ramach mechaniki kwantowej - kres temu kładzie zasada nieoznaczoności. Poza tym, jak sugeruje Stephen Hawking, być może bez sensu jest mówić o istnieniu czasu na początku Wszechświata. W jego koncepcji w pewnej odległości od "rejonu" czasoprzestrzeni, który nazywamy jej początkiem, czas wyłania się jako jeden z parametrów fizycznych. Na samym początku nie można zatem mówić o czasie, tak samo jak nie można mówić o "początku" kuli ziemskiej na biegunie północnym - czasoprzestrzeń zagina się na swoim początku na kształt czapki, nie posiadając żadnych granic czy krawędzi.

Przejdźmy zatem na drugi kraniec skali czasu. W otwartym modelu Wszechświata jakiegokolwiek istotne w nim zmiany (takie jak powstawanie i ewolucja galaktyk, gwiazd, planet oraz życia) zachodzą "tylko" przez pierwsze dziesiątki lub setki miliardów lat jego istnienia. Potem gwiazdy się wypalają, tempo ucieczki galaktyk stopniowo maleje, życie wymiera z powodu zaniku gradientów termodynamicznych, duża część materii zostaje "uwięziona" w czarnych dziurach i następuje "lodowa śmierć" Universum, w którym nic już ciekawego się nie dzieje (wniosek ten napotyka jednakże pewne problemy interpretacyjne, albowiem maksymalna możliwa entropia Wszechświata rośnie szybciej, niż jego entropia aktualna). Zatem, przez pryzmat wystarczająco długiego dystansu czasowego, historia Wszechświata jawi się jako początkowa katastrofa, w czasie której "spalają" się w syntezie jądrowej całe istniejące we Wszechświecie zasoby wodoru oraz innych lekkich pierwiastków, rozwija życie i powstają cywilizacje, oraz następujący po niej, ciągnący się w nieskończoność okres stabilizacji i bezruchu. Gdzież tu miejsce na ewolucję?

Bez względu zatem na to, jaka jest geometria naszego Wszechświata, to, czy podlega on ewolucji, czy też nie, zależy od rzędu wielkości rozpatrywanego okresu czasu. Cechą ewolucji jest więc nie tylko zmiana w czasie oraz jej kierunkowość, ale także pewna charakterystyczna skala czasowa, w której ta zmiana zachodzi. Dotyczy to w całej pełni także ewolucji biologicznej. Nie zachodzi ona w okresie krótszym, niż czas przemiany pokoleń (potrzebny do wydania potomstwa) wynoszący u bakterii (w optymalnych warunkach) około 20 minut, zaś u człowieka - z grubsza 20 lat. Z drugiej strony, jeżeli spojrzymy na problem z perspektywy iście astronomicznych skal czasowych, ewolucja życia okaże się już to procesem cyklicznym (wszechświat oscylujący), już to epizodem początkowej katastrofy (wszechświat otwarty, rozszerzający się w nieskończoność).

Powrócę wobec tego ponownie do skal czasowych pośrednich, to znaczy zawierających się pomiędzy czasem zachodzenia zjawisk subatomowych i okresem istnienia Wszechświata. Tutaj wyraźnie można zaobserwować ewolucję zarówno poszczególnych, lepiej lub gorzej wyodrębnionych systemów fizycznych, jak też Wszechświata w całości. Wyznacznikiem ewolucji, odróżniającym ten proces od innych zmian w czasie, miała być kierunkowość. Jeżeli jednak nie wiadomo z góry, czy obserwowane zjawisko nie jest częścią przebiegu kołowego, powstają pewne problemy. Możliwe jest bowiem popełnienie błędu, jaki stał się udziałem urodzonego o świcie efemerycznego stworzonka, które przez całe swoje, trwające godzinę życie, obserwowało ewolucję swego świata ku "światłości". Jednakże, przebieg zmian noc - dzień, jako wyraz obrotu Ziemi dookoła własnej osi, będącego zjawiskiem cyklicznym, sam także jest procesem cyklicznym. Jeżeli czas obserwacji jest znacznie krótszy od czasu trwania jednego cyklu zjawiska periodycznego, to ostatnie może być nie do odróżniania od procesu "rzeczywiście" kierunkowego. Rozróżnienie takie wydaje się istotne, ponieważ procesy kołowe wykluczaliśmy już wcześniej z grona procesów ewolucyjnych. Czy zatem skazani jesteśmy na wieczną niepewność co do niecyklicznej natury pewnych badanych procesów?<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>O ile cykliczności procesu można dowiedzieć - wystarczy prowadzić obserwację przez czas równy lub dłuższy od czasu  $T$  trwania jednego okresu zjawiska cyklicznego, to wykazanie jego niecykliczności w analogiczny sposób jest niemożliwe - okres  $T$  może być bowiem dłuższy od każdego skończonego czasu prowadzenia obserwacji.

Całe szczęście tak nie jest. Probiierzem "prawdziwej" kierunkowości procesu może być bowiem jego nieodwracalność. Pamiętamy przykład satelity obiegającego ciało centralne - po zmianie prędkości tego pierwszego na przeciwną nic się właściwie nie zmieniło - nadal obiegał on ciało centralne, tyle że w przeciwną stronę. Dokładnie taki sam efekt otrzymalibyśmy odwracając, zamiast wektora prędkości, kierunek upływu czasu, co byłoby równoważne ze zmuszeniem układu do podążania w kierunku własnej przeszłości. Oznacza to, że opisywany system jest symetryczny względem osi czasu, a zachodzące w nim procesy - całkowicie odwracalne. Dotyczy to także dyskutowanej wyżej takiej modyfikacji układu satelita - ciało centralne, w którym zachodził proces kierunkowy - satelita spadał po ciasnej spirali na ciało centralne. Odwrócenie wektorów prędkości (lub strzałki czasu) dałoby także zmianę kierunkową, lecz o przeciwnym kierunku, a mianowicie powolne oddalanie się satelity po torze spiralnym od środka układu. To zatem, że jakiś proces jest kierunkowy, wcale nie świadczy jeszcze, iż jest on także nieodwracalny.

Przedstawiony wyżej, odwracalny system dynamiczny dwóch ciał oddziaływujących na siebie siłą grawitacji fizyka opisuje przy pomocy teorii Newtona oraz jej uogólnienia - ogólnej teorii względności Einsteina. Co ciekawe, równania dynamiczne tych teorii, jak również innej wielkiej teorii - mechaniki kwantowej, zastosowane nawet do o wiele bardziej skomplikowanych układów, są symetryczne względem czasu, a zatem w istocie swej - odwracalne. Jeżeli teorie te są poprawne oraz zupełne (to znaczy potrafiące opisać wyczerpująco wszystkie zjawiska we Wszechświecie), to wnioskiem z nich płynącym byłoby stwierdzenie, że wszystkie zachodzące procesy są odwracalne. Stoi to w jawnej sprzeczności z naszym codziennym doświadczeniem. O ile bowiem nie uderzyłoby nas może szczególnie, gdyby Księżyc obiegał Ziemię w przeciwnym kierunku, to widok okruchów rozbitej filiżanki zbiegających się na podłodze i łączących w jedną całość (jak na puszczonej wstecz filmie), ochoczo wlatującą w górę, aby spokojnie wylądować na stole, albo też dobrze wymieszanego drinka, rozdzielającego się na naszych oczach na swoje składniki, raziłby swoją nienaturalnością. Dzieje się tak po prostu dlatego, że wiele procesów we Wszechświecie to procesy nieodwracalne, które nie mogą zachodzić "wstecz".

Nieodwracalność cechuje niewątpliwie także ewolucję biologiczną. Jakoś trudno wyobrazić sobie, aby człowiek, będący przecież bardzo niedawnym "wytworem" ewolucji, zaczął cofać się do swoich "stadiów" z przeszłości: za parę milionów lat jako małpa z powrotem wszedł na drzewo, za paręset milionów lat przekształcił się, wracając do morza, w rybę trzonopłetwą, aby za parę miliardów lat stać się bakterią i wreszcie zakończyć swój ewolucyjny marsz jako mieszanina związków organicznych w pierwotnym pra-oceanie. Musimy zatem przyznać, że wiele zjawisk w otaczającym nas świecie, tak fizycznych, jak i zachodzących na poziomie biologicznym, ma charakter nieodwracalny oraz że cecha ta stanowi nieodłączny atrybut ewolucji. Więcej o problemie nieodwracalności procesów fizycznych powiem w rozdziale poświęconym ewolucji termodynamicznej.

Mówiąc o ewolucji fizycznej, czy to w skali całego Wszechświata, czy dotyczącej dystansów w czasie i przestrzeni bliższych naszemu doświadczeniu, czy też zachodzącej w mikroświecie, na poziomie atomów i cząstek elementarnych, nie sposób nie poruszyć kwestii determinizmu. A właściwie problemu jego braku, czyli indeterminizmu. Determinizm ma miejsce wtedy, kiedy przyszłe

stany układu można przewidzieć (przynajmniej w zasadzie) całkowicie i jednoznacznie na podstawie jego stanów przeszłych oraz znajomości praw fizyki; indeterminizm zaś ma miejsce, kiedy tego rodzaju ściśle wynikanie stanów przyszłych ze stanów przeszłych nie występuje. Jeżeli przyjrzymy się ewolucji biologicznej, to musimy stwierdzić, iż z całą pewnością jej przebieg nie jest zdeterminowany. Wynika to z przypadkowości mutacji, czyli zmian w zapisie genetycznym organizmów żywych, a także z nieprzewidywalnych fluktuacji (lub nawet katastrofalnych zmian) właściwości środowiska, w którym te organizmy żyją. Gdyby ewolucję biologiczną "puścić" na planecie Ziemia jeszcze raz od samego początku, to niewątpliwie potoczyłaby się ona zupełnie inaczej, niż za pierwszym razem. Mogłyby ulec zachowaniu jej pewne ogólne rysy, na przykład podział świata żywego na "rośliny" i "zwierzęta", ale poszczególne gatunki i większe grupy systematyczne na pewno wyglądałyby odmiennie, niż obecnie. W szczególności, powtórne powstanie gatunku *Homo sapiens* byłoby obarczone praktycznie zerowym prawdopodobieństwem. Historia ewolucyjna prowadząca do powstania człowieka jest wynikiem tak nieprawdopodobnie ogromnej liczby przypadkowych zdarzeń, koincydencji i ślepych trafów, że szansę dokładnego jej powtórzenia po raz drugi należy całkowicie wykluczyć. Indeterminizm ewolucji biologicznej wydaje się być zatem faktem niepodważalnym. A jak wobec tego sprawa determinizmu wygląda w ewolucji fizycznej?

Sprawa obecności lub braku determinizmu zależy od rozpatrywanego układu. Jeżeli mamy do czynienia z układem składającym się z niewielu (najlepiej: dwóch) ciał astronomicznych, to zachowuje się on z bardzo dobrym przybliżeniem w sposób zdeterminowany. Jednakże w zasadzie, w większości realistycznych sytuacji, w ewolucji fizycznej zdaje się mieć miejsce zachowanie (przynajmniej w pewnym stopniu) indeterministyczne. Na poziomie fizycznym wyróżnić można dwa zupełnie niezależne rodzaje indeterminizmu: indeterminizm kwantowy oraz indeterminizm chaotyczny (termodynamiczny). Jak się później okaże, ten ostatni, jako wynikający z makroskopowego zachowania się układu złożonego z ogromnej ilości elementów (atomów i cząsteczek), łączy bliskie pokrewieństwo z indeterminizmem ewolucji na poziomie biologicznym.

Zobaczmy teraz, jak w rzeczywistości wygląda antagonizm pomiędzy zachowaniem deterministycznym oraz indeterministycznym w naszym Wszechświecie.

Klasyczna teoria grawitacji Newtona, a także teoria względności Einsteina to teorie deterministyczne. W ich obrębie ruchami wszelkich obiektów fizycznych, gwiazd, kamieni i atomów, rządzą ściśle prawa matematyczne, określające zmiany położenia tych obiektów w przestrzeni z potencjalnie nieskończoną dokładnością. Podobnie rzecz ma się w klasycznych teoriach elektrostatycznych, czy w falowej teorii światła Maxwella. Gdyby, jak słynny demon Laplace'a, posiadać dokładną wiedzę o położeniu i prędkości wszystkich cząstek we Wszechświecie w chwili obecnej, to zyskałoby się automatycznie wiedzę o całej przyszłości (a także przeszłości) naszego Universum w najdrobniejszych szczegółach. Innymi słowy, w teoriach deterministycznych wystarczy znać warunki początkowe (położenia oraz wektory prędkości cząstek) oraz prawa fizyczne, aby, przynajmniej w zasadzie, mieć przed oczyma cały Wszechświat od jego początku do końca, Wszechświat, którego elementy poruszają się po z góry określonych trajektoriach, tak jak tramwaje

po szynach. Nic więc dziwnego, że w XVIII i XIX wieku, okresie największych triumfów teorii Newtona, Kosmos przyrównywano do miarowo chodzącego zegara.

Inaczej sytuacja wygląda w mechanice kwantowej. Tutaj nie możemy znać jednocześnie położenia i pędu (wielkość fizyczna będąca iloczynem prędkości i masy) danej cząstki elementarnej, na przykład elektronu. Jeżeli mamy dokładne dane o położeniu cząstki, to dane o jej prędkości są tak nieokreślone, że za moment może ona znaleźć się bardzo daleko od miejsca, w którym się obecnie znajduje i odwrotnie - szczegółowe określenie prędkości cząstki uniemożliwia ścisłą jej lokalizację przestrzenną. Mówi o tym zasada nieoznaczoności Heisenberga. To, co opisuje mechanika kwantowa przy pomocy tak zwanej funkcji falowej, to jedynie prawdopodobieństwo znalezienia cząstki elementarnej, np. elektronu, w różnych miejscach przestrzeni w danej chwili czasowej. Wolny elektron rozchodzi się w przestrzeni w postaci fali materii, analogicznej nieco do fali utworzonej na wodzie przez uderzający w jej powierzchnię kamień. Ewolucja przestrzennego rozkładu funkcji falowej w czasie odbywa się w sposób ściśle zdeterminowany. Nie możemy jednak dokładnie określić (do momentu detekcji elektronu w akcie pomiaru), gdzie się taki elektron znajduje. Wiemy tylko, iż istnieje większa szansa zlokalizowania go (jeżeli dokonamy rejestracji elektronu) na szczycie fali, odpowiadającym największemu prawdopodobieństwu, niż w jej dolinie. Tym zatem, co "ewoluuje" w przypadku poruszającego się w przestrzeni elektronu, to rozkład przestrzenny prawdopodobieństwa znalezienia go w tym a nie innym miejscu przestrzeni. Wynika z tego, że przed dokonaniem detekcji (rejestracji) elektronu przez urządzenia pomiarowe porusza się, zmienia swe położenie w przestrzeni nie sam elektron, a tylko szansa wykrycia go w różnych punktach tej przestrzeni (tam, gdzie przed chwilą prawdopodobieństwo znalezienia elektronu było znikome, teraz może być ono bardzo duże lub odwrotnie).

Podobnie jest z elektronem związanym w atomie. Tutaj jego funkcja falowa ma postać orbitalu. Orbitale (ich kształty, rozmiary oraz rozkład przestrzenny) biorą się stąd, że tylko dla niektórych energii (a zatem długości fali materii, odwrotnie proporcjonalnych do energii) elektronu szczyty i dolinki fali nie wygaszają się nawzajem, lecz przeciwnie - wzmacniają, prowadząc do powstawania stabilnych "struktur". Mówiąc w pewnej przenośni, elektron w ten sposób "obiega" jądro atomowe, aby "górkę" związanej z tym elektronem fali materii pokrywały się ze sobą w kolejnych obiegach - gdyby "górkę" natrafiła na "dolinkę", znosiłyby się one nawzajem. "Obwód" orbitali musi w pewnym sensie odpowiadać długości fali materii danego elektronu<sup>3</sup> (odległości pomiędzy jego kolejnymi "górkami"). To wymusza tworzenie się przestrzennych struktur w postaci orbitali. Struktury te ograniczają obszar przestrzeni, w którym prawdopodobieństwo znalezienia elektronu jest największe. Najczęściej orbitale mają kształt sfery, z jądrem atomowym znajdującym się w jej centrum, lub też dwóch, czterech albo sześciu ułożonych parami naprzeciw siebie "łez", połączonych ostrymi końcami w jądrze atomowym. Obszar ograniczony przez powierzchnię orbitali (prezentowanych powszechnie w sposób graficzny jako taka właśnie powierzchnia) określa fragment przestrzeni, w którym szansa znalezienia elektronu przyjmuje pewną określoną wartość, na

---

<sup>3</sup>lub jej wielokrotności.

przykład 50 % lub 90 %; im większe zadamy prawdopodobieństwo, tym większy orbital trzeba narysować. Dlaczego jednak nie zajmować się po prostu granicami orbitalu odpowiadającymi prawdopodobieństwu 100 %, a więc w obrębie których na pewno się przyporządkowany temu orbitalowi elektron znajduje? Otóż dlatego, że obszar zakreślony przez te granice pokrywa się ni mniej, ni więcej, tylko z całym Wszechświatem. Mówiąc inaczej, orbital nie ma granic (używa się ich tylko w celach prezentacji graficznej). Można go sobie wyobrazić w postaci obłoczka, najgęstszego pośrodku (przynajmniej w przypadku orbitału sferycznego, kulistego), rozrzedzającego się stopniowo w miarę, jak się od tego środka oddalamy, nigdzie jednak nie osiągnącego gęstości zerowej. O ile zatem jest bardzo prawdopodobne, że elektron znajduje się w pobliżu jądra atomowego, to istnieje pewna, chociaż astronomicznie mała szansa, że jest on w danej chwili gdziekolwiek we Wszechświecie.

Zarówno zatem wolny elektron, "poruszający" się w przestrzeni w postaci fali materii, jak i elektron związany w atomie i okupujący dany konkretny orbital (także opisywany przy pomocy funkcji falowej), nie posiada (do czasu jego detekcji) ściśle określonego położenia w przestrzeni, a prawdopodobieństwo jego znalezienia w danym obszarze przestrzeni określa lokalna wartość związanej z nim funkcji falowej. Zachodzi teraz podstawowe pytanie, czy owa delokalizacja elektronu, czyli rozmycie jego obecności na pewien obszar przestrzeni (w opozycji do ścisłej lokalizacji w jakimś punkcie tej przestrzeni) jest kwestią naszej niewiedzy (a zatem problemem epistemologicznym) wynikającą z niemożności określenia dokładnego położenia elektronu, któremu jednak takie jednoznaczne położenie przysługuje, czy też faktem fundamentalnym (ontologicznym), nie będącym pochodną naszej niewiedzy o jakimś niższym poziomie materii w szeregu redukcjonistycznym, lecz odzwierciedlającym "rzeczywiste" rozmycie elektronu. Na to pytanie sam formalizm matematyczny mechaniki kwantowej nie daje jednoznacznej odpowiedzi. Dlatego też powstały rozmaite interpretacje fizyczne istniejącej struktury matematycznej.

Do dzisiejszego dnia najpowszechniej przyjętą przez fizyków jest interpretacja kopenhaska, wypracowana między innymi przez Nielsa Bohra. Mówi ona, iż zasada nieoznaczoności Heisenberga jest faktem ontologicznym, a zatem że ewolucja układów fizycznych jest w sposób fundamentalny indeterministyczna. Skoro bowiem nie jest dokładnie określone położenie i prędkość każdej z cząstek elementarnych, nie można precyzyjnie przewidzieć ich dalszego przemieszczania się w przestrzeni oraz oddziaływania z innymi cząstkami, tak samo niezdeterminowanymi, a zatem przyszłości całego układu. Stwierdzenie, że w danej sytuacji w określony sposób zachowałoby się 90 % elektronów, nic nie mówi o kwestii jak się zachowa właśnie ten a nie inny elektron.

W końcu jednak elektron może zostać przez akt pomiaru całkowicie zlokalizowany. W momencie detekcji elektronu następuje mianowicie tzw. redukcja funkcji falowej. Do tej pory elektron był rozmyty, a rozkład prawdopodobieństwa jego znalezienia w różnych punktach przestrzeni opisywała ta właśnie funkcja. Z chwilą detekcji (rejestracji) przez przyrządy pomiarowe (np. jako świecącego punktu na ekranie scyntylacyjnym) położenie elektronu zostaje oczywiście ściśle określone. Oznacza to, że prawdopodobieństwo jego występowania w punkcie detekcji przybiera wartość 1, podczas gdy prawdopodobieństwo znalezienia go gdzie indziej zostaje zredukowane do

zera. W ten sposób akt dokładnego zlokalizowania elektronu zostaje ściśle powiązany z aktem pomiaru eksperymentalnego. Do momentu tego pomiaru elektron znajduje się w stanie superpozycji (nakładania się na siebie) różnych możliwych stanów (określonych np. przez położenie, pęd i kierunek spinu tego elektronu), podczas gdy w chwili pomiaru "decyduje się" on na jeden z tych stanów. O ile zatem przed detekcją elektronu można było powiedzieć, że tu jest go nieco więcej, tam dalej zaś zdecydowanie mniej, albo że miał on w 20 procentach szybkość X, zaś w 5 procentach szybkość Y, to po detekcji musimy mu przypisać jednoznaczne położenie i prędkość. O tym, który z nakładających się na siebie stanów zostanie wybrany, decyduje czysty przypadek. Jedynym czynnikiem sprzyjającym pewnym wyborom i ograniczającym szansę innych jest prawdopodobieństwo poszczególnych stanów, określone przez funkcję falową.

Uzależnienie redukcji funkcji falowej, czyli wyboru jednego z nakładających się stanów, od aktu pomiaru budzi jednak poważne zastrzeżenia filozoficzne. Nie sprawia może wielkich problemów wiara (fizyka przyzwyczaiła nas już do bardziej karkołomnych i intuicyjnie absurdalnych prawd), że fakt superpozycji wielu różnych stanów (np. wielu położzeń w przestrzeni) przed aktem detekcji odnosi się do cząstek elementarnych, w tym elektronów. Sytuacja dotyczy bowiem mikroświata, obcego naszemu codziennemu doświadczeniu. Istnieją jednak, przynajmniej w teorii, możliwości zbudowania pomostu pomiędzy mikro- i makroświatem, a co za tym idzie, rozszerzenia paradoksów kwantowych na ten ostatni. Najbardziej chyba znanym przykładem odpowiedniego eksperymentu myślowego jest kot Schrödingera ("wynałazcy" funkcji falowej). Wyobraźmy sobie, że w idealnie izolowanym pudełku zamknęlibyśmy grudkę substancji radioaktywnej, której atomy (ich jądra) mogą ulegać spontanicznemu rozpadowi, emitując (wysyłając) przy tym określone cząstki elementarne. Emisja taka jest procesem kwantowym, a więc nieprzewidywalnym - to, czy i kiedy cząstka zostanie wysłana, jest kwestią przypadku. Umieścimy w tym pudełku także detektor tych cząstek, połączony z mechanizmem uwalniającym trujący gaz z fiołki w momencie zarejestrowania takiej cząstki. Wreszcie, zamknijmy w owej skrzynce kota. Zgodnie z interpretacją kopenhaską, do chwili otworzenia pudełka (a więc dokonania pomiaru) mielibyśmy nakładające się na siebie stany: cząstka została wyemitowana i cząstka nie została wyemitowana. Ale, co gorsza, nastąpiłaby także supozycja stanów: trucizna w fiołce - trucizna uwolniona, oraz: kot żywy - kot martwy. Jeżeli zatem ktoś akceptuje kopenhaską interpretację mechaniki kwantowej, musi też przyjąć, że kot może być jednocześnie żywy i martwy, aż do momentu obserwacji, który to akt zmusiłby kota do jednoznacznego "zdecydowania się" na któryś z tych stanów.

Z powodu uzależnienia zjawiska fizycznego, jakim jest redukcja funkcji falowej na skutek detekcji elektronu, od aktu obserwacji kopenhaska interpretacja mechaniki kwantowej wydaje się dalece niesatysfakcjonująca z filozoficznego punktu widzenia. Stan fizyczny stanowi tutaj bowiem pochodną pewnego procesu psychicznego, za jaki niewątpliwie należy uznać akt obserwacji. Oznacza to zepchnięcie najlepszej znanej nam teorii opisującej mikroświat na pozycje subiektywistyczne, a więc zaprzepaszczenie kilkusetletniej, pełnej sukcesów tradycji nauk przyrodniczych jako marszu ku obiektywizacji opisu świata. Zdążyliśmy się już nauczyć, co kosztowało dziesiątki i setki lat rewolucji światopoglądowej, że materia jest niezależna od ducha, a

nauki ściśle do dziś chlubią się swą metodologią niezawisłą od uprzedzeń i turbulecji naszej psyche. Teraz zaś interpretacja kopenhaska proponuje nam ni mniej, ni więcej, tylko zrezygnowanie z tego wypracowanego w pocie czoła dorobku.

Umieścimy w naszym izolowanym od reszty świata pudełku człowieka zamiast kota, a truciznę zamieńmy, ze względów zarówno humanitarnych, jak i technicznych (martwy obserwator to żaden obserwator) na gaz rozweselający. Uwolnienie lub nie tego gazu ponownie będzie zależeć od zasadniczo nieprzewidywalnych zjawisk kwantowych. Powiedzmy, że w ciągu minuty albo zaszedł rozpad radioaktywny, albo nie. Wobec tego, człowiek w pudełku (raczej: pudle) albo wpadnie w radosną euforię, albo też nie, w każdym jednak razie będzie świadom swego stanu (i wobec tego spełni kryteria pełnoprawnego obserwatora). Wejdzie zatem w posiadanie jednoznacznej informacji o tym, jaki przebieg miało zjawisko kwantowe, a więc względem tego człowieka nastąpi redukcja funkcji falowej.

Zupełnie inaczej będzie się przedstawiała nasza sytuacja dla innego człowieka, znajdującego się na zewnątrz pudełka. Jeżeli założymy (co jest przecież warunkiem naszego eksperymentu myślowego), że z izolowanego pudełka nie wydostał się na zewnątrz żaden sygnał, to zewnętrzny obserwator nie uzyska informacji, czy gaz został uwolniony, czy też nie (a więc czy zaszedł kwantowy rozpad radioaktywny). Względem tego obserwatora nie nastąpi zatem redukcja funkcji falowej - dla niego stan fizyczny wewnątrz pudełka będzie oznaczył superpozycję stanów: gaz w fiolce - gaz uwolniony, oraz: "lokator" pudełka poważny - "lokator" pudełka rozweselony. Z punktu widzenia człowieka spoza pudełka człowiek w jego wnętrzu będzie zatem jednocześnie do pewnego stopnia i skrajnie radosny, i śmiertelnie poważny. Dla każdego z tych obserwatorów wewnątrz pudełka będą zatem zachodziły zupełnie różne rzeczy, a "faktycznie" mający tam miejsce stan fizyczny okaże się całkowicie odmienny. Stan ten można będzie jednoznacznie określić tylko względem, w odniesieniu do danego konkretnego obserwatora, natomiast niemożliwe, czy wręcz bezsensowne stanie się mówienie o jakimkolwiek stanie wewnątrz pudełka uniwersalnym dla całego Wszechświata i wszystkich zawartych w nim obserwatorów.

Owa zasada względności występująca w kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej wydaje się nawet o wiele bardziej radykalna, niż "oryginalna" zasada względności w teorii względności Einsteina (od której to zasady teoria ta bierze nazwę). W tej ostatniej zasada względności polega na przykład na tym, że dla jednego obserwatora zdarzenie A może nastąpić przed wydarzeniem B, natomiast dla drugiego wydarzenie B poprzedzić w czasie wydarzenie A. W zasadzie jednak, jeden z obserwatorów, rejestrując oba zdarzenia może, przynajmniej w zasadzie, obliczyć na podstawie praw fizyki jak dane zdarzenia prezentowałyby się dla innego obserwatora, posiadającego takie to a takie położenie i poruszającego się z określoną prędkością. Natomiast obserwator na zewnątrz pudełka w żaden sposób nie będzie potrafił określić w jakim stanie znajduje się jego kolega w pudełku, dopóki tego pudełka nie otworzy. Wydaje się to zaprzeczać najbardziej elementarnym prawom logiki - nie może być przecież tak, że człowiek jest naraz np. jednoznacznie rozweselony i zarazem znajduje się w stanie stanowiącym superpozycję (nałożenie się na siebie) rozweselenia i powagi. Jak wspomniałem, przedstawiony powyżej obraz burzy całkowicie nasze



przeświadczenie o obiektywności rzeczywistego świata i dlatego wielu fizyków (i filozofów) z ogromnym sceptycyzmem odnosi się do interpretacji kopenhaskiej, traktując mechanikę kwantową jako teorię przejściową, którą w przyszłości zastąpi teoria w pełni obiektywistyczna i deterministyczna.

Drugim, może nawet bardziej podstawowym powodem, dla którego niektórzy uczeni nie akceptują interpretacji kopenhaskiej jako ostatecznej wykładni praw rządzących mikroświatem, jest po prostu omawiany powyżej immamentny indeterminizm wynikający z tej interpretacji. Fakt, iż na najgłębszym poziomie świat podlega prawom w swej istocie losowym (określającym jedynie prawdopodobieństwa pewnych stanów) może wydawać się niezmiernie trudny do przyjęcia z pobudek intelektualno-estetyczno-filozoficznych. Einstein, jeden z najbardziej stanowczych i z pewnością najbardziej znany przeciwnik interpretacji kopenhaskiej, wyraził to w słynnym stwierdzeniu, że Bóg nie gra ze światem w kości. Jego śladem poszło wielu innych, stojących na stanowisku, iż indeterminizm mechaniki kwantowej stanowi wynik nieznamośności pewnych ukrytych parametrów, opisujących w sposób deterministyczny zachowanie się cząstek elementarnych na jakimś głębszym, do dzisiaj nie znanym poziomie rzeczywistości. Stąd też podejmowane były próby stworzenia innych, konkurencyjnych w stosunku do kopenhaskiej, interpretacji mechaniki kwantowej.

Paradoks uzależnienia zachowania się obiektów fizycznych (w szczególności: cząstek elementarnych) od detekcji przez obserwatora (a więc, de facto, od aktu psychicznego) nie występuje w interpretacji formalizmu matematycznego mechaniki kwantowej zaproponowanej przez Davida Bohma. Najistotniejszą cechą tej interpretacji stanowi to, iż jest ona deterministyczna. Cząstka elementarna, na przykład elektron, jest tutaj "unoszona" przez czoło związanej z tą cząstką fali materii. Rozchodzenie się tej fali w przestrzeni odbywa się w taki sam sposób, jak w interpretacji kopenhaskiej. Tutaj jednakże, położenie oraz prędkość cząstki są dokładnie określone, a zachowanie się - ściśle zdeterminowane. Spełniony zostaje zatem warunek determinizmu i obiektywizmu. Niestety, to tylko jedna strona medalu. Unikając podejścia probabilistycznego oraz wspomnianych paradoksów (kot Schrödingera), interpretacja bohmska jest jednak nie tak prosta i mniej elegancka, niż interpretacja kopenhaska. Nie spełnia zasady brzytwy Ockhama - powołuje do istnienia (matematyczne) byty ponad konieczność. Byty te nie posiadają żadnego racjonalnego uzasadnienia, poza próbą uwolnienia mechaniki kwantowej od wspomnianych paradoksów. Z tych powodów nie jest ona powszechnie akceptowana przez fizyków<sup>4</sup>. Być może dodatkowy czynnik stanowi niechęć do powrotu do XIX-wiecznej wizji Wszechświata jako Zegara.

Wiemy już jednak ponad wszelką wątpliwość, że taki powrót nie jest możliwy i wiedza ta nie zależy od przyjętej interpretacji mechaniki kwantowej. Być może problem (in)determinizmu kwantowego doczeka się rozstrzygnięcia w obrębie nowej teorii, która w przyszłości zastąpi mechanikę kwantową sięgając do głębszej (ostatecznej?) warstwy rzeczywistości fizycznej. Gdyby jednak nawet okazało się, że poszczególne cząstki elementarne zachowują się w sposób

---

<sup>4</sup> Ostatnimi laty pojawiła się tak zwana koncepcja dekoherencji, mówiąca, że redukcja funkcji falowej może być stopniowalna, a jej wielkość zależy od intensywności interakcji funkcji falowej z otoczeniem.

całkowicie deterministyczny, to dostatecznie liczne zbiory tych cząstek lub zbudowanych z nich atomów i tak będą skazane na praktyczny indeterminizm. Oznacza to, iż zbiory takie mogą się zachowywać w sposób dla nas całkowicie nieprzewidywalny, chyba że będziemy znać położenie i prędkość każdej cząstki z nieskończoną dokładnością. A to jest praktycznie niemożliwe, ponieważ taka wiedza wymagałoby nieskończonej ilości informacji. Złożone układy dynamiczne w pewnych warunkach mają skłonność do zachowania, przynajmniej na dłuższą metę, całkowicie chaotycznego. Ten drugi, makroskopowy indeterminizm (w przeciwieństwie do ewentualnego mikroskopowego, dotyczącego pojedynczych cząstek, indeterminizmu mechaniki kwantowej) można zatem nazwać indeterminizmem chaotycznym.

Indeterminizm chaotyczny pojawia się, kiedy od pojedynczych cząstek elementarnych, atomów lub cząsteczek chemicznych przechodzimy do ich zbiorów liczących miliardy miliardów miliardów... itd. cząstek lub atomów. Ponieważ oczywistą niemożliwością staje się śledzenie ruchów każdej takiej cząstki (atomu), do układów złożonych z wielu cząstek stosuje się podejście statystyczne, w którym parametry opisujące zachowanie się pojedynczych cząstek, takie jak położenie, prędkość lub energia kinetyczna, zastępuje się parametrami charakteryzującymi stan całego układu, np. temperaturą lub entropią (stopniem nieuporządkowania). Przy śledzeniu ewolucji takich układów może właśnie pojawić się zachowanie chaotyczne. Co ciekawe, dopiero w złożonych z wielu elementów układach makroskopowych pojawia się dobrze określona strzałka czasu, czyli innymi słowy - jednokierunkowy upływ czasu z przeszłości w przyszłość.

Strzałka czasu (czyli wspomniana wyżej cecha nieodwracalności wielu procesów) nie występuje w dwóch największych teoriach współczesnej fizyki: mechanice kwantowej i teorii względności. Teorie te opisują zachowanie się pojedynczych obiektów (cząstek elementarnych, ciał w polu grawitacyjnym) lub też układów złożonych z bardzo niewielkiej liczby takich obiektów (teoria względności, tak jak jej poprzedniczka - dynamika Newtona, ma już ogromne kłopoty z przewidzeniem ewolucji w czasie układu złożonego jedynie z trzech grawitujących ciał - ich zachowania nie da się obliczyć w ścisły, analityczny sposób). Równania dynamiczne opisujące ruch tych obiektów (przemieszczanie się ciał obdarzonych masą, rozprzestrzenianie się fali materii) w obrębie teorii względności oraz mechaniki kwantowej są symetryczne względem czasu. Oznacza to, że gdybyśmy w pewnym momencie zatrzymali wszystkie cząstki we Wszechświecie i puścili je z taką samą prędkością w przeciwnym kierunku, to Wszechświat zacząłby zmierzać ku swojej przeszłości. Jak wspominałem, nie wzbudziłoby w nas może specjalnego zdziwienia, gdybyśmy ujrzeli naszą Ziemię krążącą wokół Słońca w przeciwną stronę. Natomiast takie zjawiska, jak deszcze podające z dołu do góry czy też promienie świetlne wypadające z oczu i odbijające się od rozmaitych przedmiotów, aby ostatecznie wylądować w Słońcu, z pewnością nie należą do świata, w którym żyjemy. A jednak w świetle przytoczonych tu wielkich teorii fizycznych zdarzenia te są tak samo prawdopodobne, jak zjawiska zachodzące w otaczającym nas świecie. Teoria względności i mechanika kwantowa są z pewnością niepełne jako próby jednorodnego i uniwersalnego opisu rzeczywistości na poziomie fizycznym. Nie uwzględniają one bowiem tego, co każdy z nas

doświadcza na co dzień - upływu czasu (mówiąc ściślej, chodzi tu o nieodwracalność, jednokierunkowość upływu czasu).

Istnieje gałąź fizyki, dotycząca układów złożonych z ogromnej ilości atomów lub cząstek, która uwzględnia jednokierunkowość upływu czasu, a więc istnienie jego nieodwracalnej strzałki - jest nią termodynamika. Mówi ona, że entropia układu izolowanego, czyli stopień jego nieuporządkowania, albo po prostu chaos, rośnie w czasie. Jednakże ogólny wzrost nieuporządkowania może lokalnie prowadzić do powstania zorganizowanych struktur, takich jak prądy konwekcyjne w cieczy w podgrzewanym naczyniu, reakcje chemiczne, w których następuje cykliczna zmiana barwy, czy wreszcie zjawisko życia. Chaos (ściślej: dążność do jego maksymalizacji) może zatem rodzić porządek.

Kwintesencją porządku jest układ o ściśle zdeterminowanym zachowaniu. Tak przynajmniej sądzono do czasu odkrycia fraktali i "dziwnych" (chaotycznych) atraktorów. Pierwsze są obiektami wyglądającymi tak samo bez względu na skalę, w jakiej się je ogląda - patrząc na fraktal przez mikroskop przy dowolnym powiększeniu zobaczylibyśmy to samo, co gołym okiem. Jesteśmy przyzwyczajeni, że linia reprezentuje sobą tylko jeden wymiar, kartka papieru posiada dwa wymiary, a rzeźba Wenus z Milo jest tworem trójwymiarowym. Chociaż trudno się z tym pogodzić, fraktale mają niecałkowitą ilość wymiarów. Dzieje się tak, ponieważ brzeg fraktala narysowanego na płaszczyźnie, będący, jako linia, tworem jednowymiarowym, zmierza do nieskończenie wielkiego skomplikowania (powyginania), jeżeli schodzimy do nieskończenie małych wymiarów. Linia brzegu fraktala zapełnia zatem nieskończenie gęsto pewien fragment płaszczyzny, będącej przecież tworem dwuwymiarowym. Stąd fraktale takie są tworem o liczbie wymiarów pomiędzy 1 i 2 (istnieją także fraktale o większej, chociaż zawsze niecałkowitej, liczbie wymiarów). Fraktale pozostałyby zapewne jedynie błyskotliwą zabawką w rękach matematyków (często prezentuje się je jako twory bajecznie kolorowe), gdyby nie ich pokrewieństwo z "dziwnymi" atraktorami, które, jak się zdaje, mogą opisywać wiele realnych układów fizycznych. Atraktor to "cel", do którego zmierza dany układ (np. dziura w umywalce jest atraktorem dla znajdujących się w tej umywalce cząsteczek wody). "Dziwny" atraktor (z fraktalami łączy go podobny formalizm matematyczny) charakteryzuje się tym, że nieskończenie małe zaburzenie zewnętrzne może skierować ewolucję układu na zupełnie nieprzewidywalny tor, chociaż matematyczny opis tego toru jest deterministyczny. Dotyczy to w dużej mierze zjawisk meteorologicznych. Za przykład może tu posłużyć tak zwany efekt motyla, polegający na tym, że ruch skrzydełek motyla w Japonii może po pewnym czasie wywołać huragan na Florydzie. Porządek może zatem rodzić chaos.

Jest to tak zwany chaos deterministyczny. Oznacza on, iż w zasadzie zachowaniem się układu chaotycznego (zjawisk atmosferycznych, zawirowań turbulencyjnych w cieczy itp.) rządzą (lub przynajmniej mogą rządzić) prawa całkowicie deterministyczne. W praktyce jednak, nieliniowy charakter równań dynamicznych opisujących takie układy (cecha odpowiedzialna za bardzo "niespokojne" zachowanie się układu z powodu niesłychanie szybkiego, odbywającego się na drodze "samostymulacji", rozrostu nawet najbardziej mikroskopijnych zaburzeń i fluktuacji, takich jak wiry w

cieczy)<sup>5</sup> powoduje ekstremalną czułość na najmniejsze nawet różnice w stanie początkowym układu. Ponieważ znajomość jakiegokolwiek układu, a także prowadzenie w oparciu o tę wiedzę obliczeń, z nieskończoną dokładnością jest w sposób oczywisty niemożliwe, skazuje nas to na praktyczną całkowitą nieprzewidywalność dalszej ewolucji takiego układu w dostatecznie długich okresach czasu.

Owa nieprzewidywalność dotyczy w całej rozciągłości ewolucji biologicznej. Tutaj także, najmniejsze przypadkowe zaburzenie (mutacja w materiale genetycznym) może ulec ogromnemu "wzmocnieniu", dając na przykład początek całej nowej grupie systematycznej. Każda para obecnie żyjących na Ziemi organizmów miała kiedyś wspólnego przodka. Dotyczy to w równej mierze węża i jaszczurki, jak i człowieka i kalafiora. U potomstwa ostatniego takiego wspólnego przodka właśnie pojedyncze mutacje skierowały dalszą ewolucję pewnych osobników potomnych np. w stronę roślin, innych zaś - w stronę zwierząt. Mutacja w pojedynczym genie mogła spowodować to, że jednokomórkowe organizmy nie rozdzielały się całkowicie po podziale, co otworzyło drogę do powstania wielokomórkowców. Wyłonienie się w procesie ewolucji biologicznej wielkich jednostek systematycznych mogło być zatem zapoczątkowane przez mikroskopijne zaburzenia w układzie (mutacje). Cała obecna struktura każdego z organizmów żywych to w dużej mierze zapis, pamięć o miliardach takich jednostkowych "decyzji" poczynionych na drodze losowej w przeszłości.

Fakt, że poszczególne grupy roślin i zwierząt wyglądają obecnie tak jak wyglądają, jest w ogromnej mierze dziełem przypadku. Można sobie wyobrazić miliardy funkcjonalnych planów budowy organizmów żywych, równie dobrych lub nawet sprawniejszych, niż te reprezentowane przez współczesne organizmy (np. owady, strunowce, rośliny nasienne). Jednakże tylko nieliczne z nich zostały "wybrane", zasadniczo na drodze przypadku (oraz wyselekcjonowane w wyniku doboru naturalnego), w historii naturalnej życia na Ziemi. Ewolucja biologiczna jest zatem w swojej naturze procesem chaotycznym, tak jak zjawiska meteorologiczne - przebiegu jej nie da się na dłuższą metę przewidzieć, a najmniejsze zaburzenia mogą go skierować na całkowicie odmienne tory.

Pojawienie się strzałki czasu (nieodwracalności), chaosu (nieprzewidywalności) oraz, przeciwnie, przestrzennie i czasowo uorganizowanych struktur (o czym jeszcze za chwilę) możliwe było dzięki przejściu od dynamiki do termodynamiki, czyli od pojedynczych obiektów do układów złożonych z wielu obiektów, co wymusiło zastąpienie podejścia deterministycznego - podejściem statystycznym. Przejście takie umożliwia termodynamika, która w swej istocie jest teorią statystyczną (w której stan makroskopowy pojawia się jako uśrednienie po stanach mikroskopowych ogromnej liczby cząsteczek). W zasadzie, pomimo istnienia w jej obrębie strzałki czasu, termodynamika prawdopodobnie nie jest sprzeczna z dynamiką, czyli np. mechaniką kwantową lub teorią względności. Te dwie ostatnie teorie są po prostu niekompletne w opisie rzeczywistości na tak zwanym poziomie fizycznym. Coś całkowicie nowego wyłania się, kiedy przechodzimy od

---

<sup>5</sup>W układach liniowych małe zaburzenie w warunkach początkowych powoduje małą zmianę w dalszej ewolucji układu. Natomiast najmniejsze nawet zaburzenie w układach nieliniowych prowadzi do całkowicie nieproporcjonalnego, ogromnego efektu, wyrażającego się skierowaniem ewolucji układu na zupełnie inne tory.

zachowania się pojedynczych obiektów do ich zbiorów. To coś po prostu wymyka się strukturze matematycznej oraz aparatowi pojęciowemu teorii dynamicznych (znowu: mechaniki kwantowej i teorii względności). Podobnie, jak to pokażę w drugiej części niniejszej książki, istota poziomu biologicznego wymyka się całkowicie systemowi pojęć, jaki ma do zaoferowania fizyka. Z dyskutowanego powyżej widać jednak wyraźnie, że fizyka nawet na "swoim własnym" poziomie ma ogromne kłopoty ze spójnym opisem rzeczywistości. W istocie, tak zwany jednorodny poziom fizyczny (jako "poziom" rozumiem tu pewną "warstwę rzeczywistości" dającą się opisać w obrębie jednego spójnego systemu pojęć) okazuje się ułudą, egzystującą obecnie jedynie ze względu na racje historyczne. W obrębie fizyki istnieją przynajmniej dwa poziomy: poziom dynamiczny i poziom termodynamiczny. Nie są one nawzajem ze sobą sprzeczne - poziom termodynamiczny stanowi swego rodzaju "nadbudówkę" na poziomie dynamicznym. Kluczowym faktem jest to, iż sposób wyłaniania się tego pierwszego z tego ostatniego nie da się opisać w ramach formalizmu matematycznego i pojęć zaczerpniętych jedynie z poziomu dynamicznego (i po dziś dzień pozostaje w dużym stopniu zagadką). Wynikanie (na jakiegokolwiek drodze by się to nie odbywało) poziomu termodynamicznego z poziomu dynamicznego stanowi bardzo istotny krok na drodze do poziomu biologicznego i zachodzącej na nim ewolucji świata żywego. Omówiłem już "zasługi" termodynamiki w rzuceniu światła na nieodwracalność i nieprzewidywalność ewolucji biologicznej. Teraz pora na krótką wzmiankę o spontanicznym tworzeniu się struktur makroskopowych, uorganizowanych czasowo i przestrzennie (szerzej temat ten potraktuję w rozdziale poświęconym ewolucji termodynamicznej).

Takimi dynamicznymi strukturami, wysoce uorganizowanymi przestrzennie i czasowo, są niewątpliwie organizmy żywe. Nikogo nie trzeba chyba przekonywać o złożoności budowy tych organizmów. Człowiek np. składa się z ogromnej ilości molekuł rozmaitych związków organicznych o skomplikowanej budowie i specyficznej funkcji, takich jak białka, tłuszcze, cukry i kwasy nukleinowe. Z nich zbudowane są struktury wyższego rzędu, na przykład rybosomy i chromosomy, a dalej - organelle komórkowe (jądro, mitochondria, siateczka endoplazmatyczna), których suma daje całość zwaną komórką. Różne typy komórek wchodzi w skład tkanek, narządów i układów narządów, charakteryzujących się najrozmaitszą, odpowiednią do pełnionej funkcji budową, aby w końcu utworzyć cały organizm żywy. Jeden z takich narządów, ludzki mózg, jest ciągle prawdopodobnie najbardziej złożoną znaną nam strukturą we Wszechświecie. Strukturę posiada zresztą wiele układów nieożywionych, na przykład kryształy, prądy konwekcyjne w cieczy (np. w wodzie gotującej się w naczyniu), nasza planeta, zbudowana z jądra, płaszczka (w którym także występują prądy konwekcyjne), skorupy o wielce skomplikowanej budowie i atmosfery, czy wreszcie galaktyki<sup>6</sup>.

Owo powstawanie uorganizowanej struktury organizmów żywych (do nich się chwilowo ograniczymy), czy to podczas ewolucji biologicznej, czy też w trakcie rozwoju ontogenetycznego (osobniczego), wydaje się stać w jawnej sprzeczności z powszechnym pędem do chaosu, o którym

---

<sup>6</sup>O tym, skąd się bierze struktura obiektów astronomicznych, istniejących dzięki sile grawitacji, powiem w rozdziale poświęconym ewolucji termodynamicznej.

mówi termodynamika. Drugie prawo termodynamiki stwierdza (o czym wspominałem powyżej), że w każdym izolowanym układzie entropia (będąca miarą nieuporządkowania lub "chaosu") musi rosnać, ewentualnie, osiągnąwszy wartość maksymalną, pozostaje bez zmian. To właśnie nieuchronny wzrost entropii wyznacza strzałkę czasu i narzuca nieodwracalność większości procesów zachodzących we Wszechświecie. Jednocześnie jednak, co wydaje się najbardziej zaskakujące i ciekawe, ów globalny pęd ku nieporządkowi może lokalnie rodzić porządek. Zjawisko to okazuje się nie tylko nie być sprzeczne z zasadami termodynamiki, ale wręcz wynika jako nieuchronny wniosek po głębszej analizie tych zasad.

Drugie prawo termodynamiki odnosi się jedynie do układów izolowanych. Organizmy żywe są jednak układami otwartymi, które wymieniają z otoczeniem materię, energię oraz informację. Układ izolowany stanowi dopiero organizm plus jego otoczenie. Jedynie w obrębie tej całości obowiązuje prawo wzrostu entropii z czasem. Skoro budowa struktury organizmu (np. w czasie rozwoju osobniczego) wiąże się ze wzrostem stopnia organizacji, a więc spadkiem entropii, to płynie stąd nieuchronny wniosek, że entropia otoczenia musi wzrosnąć jeszcze bardziej, tak aby sumaryczna zmiana entropii układu: organizm + otoczenie także okazała się dodatnia. I rzeczywiście, aby np. człowiek mógł rosnać i utrzymać się przy życiu, musi on utleniać rozmaite substancje odżywcze (np. glukozę) przy udziale tlenu, a produktami tego procesu są dwutlenek węgla i woda. Otóż wzrost entropii w procesie utleniania glukozy jest większy<sup>7</sup>, niż jej spadek związany z budową struktur ciała, gromadzeniem pamięci (informacji) w mózgu itp.. W ten sposób druga zasada termodynamiki zostaje ocalona, a lokalne powstawanie złożonych struktur okazuje się niesprzeczne z tą zasadą.

Sama niesprzeczność nie dostarcza jednakże wytłumaczenia, skąd w ogóle biorą się w przyrodzie zorganizowane dynamiczne struktury, takie jak prądy konwekcyjne, wiry w cieczy lub gazie (np. trąby powietrzne) czy organizmy żywe. Dlaczego produkcja entropii, czyli rozpraszanie energii w postaci ciepła, miałyby prowadzić do powstania, czy wręcz wymagała zaistnienia pewnych form uorganizowanych makroskopowo w przestrzeni i czasie?

Teoretyczna analiza matematyczna praw termodynamiki doprowadziła do wniosku, że jeżeli układ znajduje się blisko stanu równowagi termodynamicznej (jego entropia jest bliska maksymalnej), to szybkość produkcji entropii (rozpraszania, czyli dyssypacji energii) osiąga najniższą możliwą wartość i wtedy żadne struktury rzeczywiście "nie mają prawa" się pojawić. Sytuacja ta nie odnosi się jednak do organizmów żywych, które "żywią się" entropią otoczenia daleko odsuniętego od stanu równowagi termodynamicznej, a więc charakteryzującego się entropią znacznie niższą od maksymalnej.

---

<sup>7</sup>Układ np. atomów węgla w sześciowęglowej cząsteczce glukozy jest wysoce uporządkowany i zawiera dużo informacji. Jeżeli znamy położenie jednego z tych atomów, to posiadamy informację, że w najbliższym sąsiedztwie znajduje się pozostałych pięć, i to w danej konkretnej konfiguracji. Zbiór cząsteczek glukozy posiada względnie niską entropię. Natomiast jednowęglowe cząsteczki dwutlenku węgla, powstałego w wyniku spalania glukozy, są rozrzucone w przestrzeni "bez ładu i składu", a pomiędzy ich położeniem przestrzennym nie występuje żadna korelacja. Wobec tak chaotycznego rozkładu cząsteczek dwutlenku węgla, znajomość lokalizacji jednego atomu węgla nie daje nam żadnej informacji o położeniu pozostałych. Entropia układu przyjmuje wobec tego wysoką wartość.

Przy większych gradientach termodynamicznych (np. różnicach temperatury) rozpraszanie, czyli dyssypacja energii odbywa się w sposób "burzliwy", zamiast zachodzić w sposób łagodny i stopniowy, jak w stanach bliskich równowagi. Jeżeli lekko podgrzejemy od spodu naczynie z wodą, to ciepło będzie przewodzone pomiędzy spodnią i wierzchnią warstwą wody poprzez przekazywanie energii kinetycznej (prędkości) przez cząsteczki znajdujące się się niżej - cząsteczkom położonym wyżej. Kiedy jednak różnica temperatur pomiędzy spodnią i wierzchnią warstwą wody przekroczy pewną wartość krytyczną, ten mechanizm dyssypacji energii (w postaci ciepła) stanie się niewystarczająco efektywny. Zamiast prostego przewodzenia ciepła pojawią się wstępujące i zstępujące prądy konwekcyjne. Pierwsze z nich składają się z cząsteczek o dużej energii kinetycznej, uzyskanej przez podgrzewanie spodu naczynia - cząsteczki te, zamiast przekazywać swoją energię cząsteczkom położonym wyżej, same wędrują do góry, aby tam oddać (poprzez proces parowania) swoją energię powietrzu, w ten sposób ochładzając się i powracając prądami zstępującymi na spód naczynia, gdzie cały cykl się zamyka. Ten proces dyssypacji energii (nazywany konwekcją) poprzez "organizowanie się" ogromnych ilości cząsteczek w makroskopowe dynamiczne struktury - prądy konwekcyjne - jest znacznie szybszy, niż przewodzenie. Analogiczna sytuacja zachodzi w przypadku przepływu wody przez rurę - przy powolnym strumieniu wody przepływ ma charakter jednostajny (laminarny), natomiast po przekroczeniu pewnej granicznej prędkości przepływ staje się turbulentny - pojawiają się "struktury" w postaci wirów. Pojawienie się prądu konwekcyjnego lub wiru zostaje zapoczątkowane przez mikroskopijną fluktuację, zaburzenie, które bardzo szybko rozrasta się do "ogromnych", to jest makroskopowych rozmiarów. Kiedy już taka fluktuacja się pojawi, "organizuje" ona w odpowiedni sposób swoje otoczenie (tworząc w określony sposób skierowany, lewo- lub prawoskrętnie, do góry lub na dół, wir lub prąd konwekcyjny) - w ten sposób układ zachowuje pamięć o swej historii, to jest o fakcie, że w tym, a nie innym miejscu pojawiła się taka, a nie inna fluktuacja. Jak pamiętamy, zależność wielkoskalowej historii od mikroskopijnych, nieprzewidywalnych zaburzeń, z także zachowywanie pamięci o tej historii, charakteryzuje przede wszystkim proces ewolucji biologicznej.

Zjawisko pojawianie się wyżej opisanych struktur, zwanych strukturami dyssypatywnymi, w momencie kiedy gradient termodynamiczny (ilość energii "wymagającej dyssypacji") w układzie przekroczy pewną graniczną wartość, przewidział teoretycznie Ilija Prigogine w oparciu o wyprowadzone przez siebie właściwości termodynamiki nierównowagowej. O ile zatem termodynamika twierdzi, iż każdy układ izolowany dąży do stanu o największej entropii, czyli najmniejszym uporządkowaniu, to wynika z niej także, że na drodze do osiągnięcia tego stanu mogą pojawiać się wysoce uporządkowane struktury, których "rolą" jest, o dziwo, właśnie przyspieszenie wzrostu ogólnego nieuporządkowania. W ten sposób rzucony został pomost pomiędzy fizyką (a w szczególności termodynamiką) a biologią. Życie bowiem to z punktu widzenia termodynamicznego nic innego, jak jeden z wielu procesów na powierzchni Ziemi uczestniczących w rozpraszaniu energii widzialnego promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez Słońce (energia jest ostatecznie rozpraszana pod postacią promieniowania cieplnego wysyłanego w otchłań Kosmosu). Ponieważ Ziemia rozprasza w jednostce czasu wystarczająco duże ilości energii (produkuje

wystarczająco dużo entropii), na jej powierzchni tworzą się rozmaite struktury dyssypatywne, takie jak organizmy żywe lub zjawiska atmosferyczne (np. cyklony). Czymkolwiek innym by nie było, życie jest także strukturą dyssypatywną lub, jeśli ktoś woli, hierarchicznie zorganizowanym zespołem takich struktur, które mogą zaistnieć jedynie w układach intensywnie rozpraszających energię (produkujących entropię), takich jak powierzchnia Ziemi. Jednakże, bycie strukturą dyssypatywną nie stanowi wyczerpującej charakterystyki fenomenu życia (nie są przecież "żywe" ani prądy konwekcyjne, ani turbulencje), zaledwie ocierając się o sedno jego istoty. O ile zatem termodynamika podaje warunek konieczny (jeden z wielu) do zaistnienia organizmów żywych jako uorganizowanych przestrzennie i czasowo struktur dynamicznych, to nie formułuje ona kryteriów dostatecznych do jednoznacznego zdefiniowania układów biologicznych. Kryteria takie muszą zostać dostarczone przez prawa rządzące "wyższym" niż dynamiczny, czy nawet termodynamiczny poziom rzeczywistości - mianowicie poziomem biologicznym.

Na tym zakończę pobieżny przegląd rozmaitych właściwości ewolucji fizycznej, które leżą u źródeł analogicznych cech ewolucji biologicznej. Należą do nich, przypomnę: zmiana w czasie, kierunkowość tej zmiany, specyficzna skala czasu, w której dany rodzaj ewolucji zachodzi, nieodwracalność, nieprzewidywalność (chaotyczność) oraz tworzenie dynamicznych struktur uorganizowanych przestrzennie i czasowo. Istotna rola powyższych zbieżności polega na pokazaniu, że wiele nieodłącznych właściwości ewolucji biologicznej korzenie swe ma w ewolucji czysto fizycznej, co dowodzi głębokiego osadzenia fenomenu życia w fizycznym poziomie rzeczywistości. Z drugiej strony jednak nie zmienia to faktu, że istnieje sedno ewolucji biologicznej stanowiące o istocie przemian świata żywego, nie znajdujące odpowiednika na poziomie fizycznym i do niego nieredukowalne; przedstawię je w drugiej części książki. Wybrane aspekty "ewolucji termodynamicznej" oraz ich implikacje dla ewolucji biologicznej omówię bardziej szczegółowo w ostatnim rozdziale tej części książki, poświęconej ewolucji fizycznej. Teraz natomiast zatrzymam się przez jakiś czas przy najbardziej spektakularnej, a zarazem jeszcze "czysto fizycznej" ewolucji wszystkiego co (w sensie fizycznym) istnieje, a mianowicie ni mniej, ni więcej, tylko całego Wszechświata.



## 1.2. EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

### 1.2.1. Wstęp

Od wieków ludzie byli przekonani o stałości Kosmosu. Pogląd taki, oczywistością dorównujący chyba średniowiecznej wierze w obrót Słońca dookoła Ziemi, czerpał swoją siłę głównie z psychologicznej potrzeby stabilności świata, a także z obserwowanej niezmienności "sfery gwiazd stałych". Przeświadczenie to było tak silne, że "odkrycie" ewolucji biologicznej drogą doboru naturalnego (Darwin) lub też ewolucji skorupy ziemskiej (np. dryfu kontynentów - teoria Wagera) poprzedziło w czasie uznanie zmienności Wszechświata jako całości. To ostatnie zdarzenie przypadło na lata 20-ste i 30-ste XX-go wieku i związane było przede wszystkim z odkryciem przez Hubble'a tak zwanej ucieczki galaktyk. Fenomenalną szansę teoretycznego przewidzenia zjawiska ewolucji Wszechświata zaprzepaścił największy chyba geniusz w historii nauki, Albert Einstein, po stworzeniu swojej ogólnej teorii względności (1915). Z teorii tej wynikało, że nasze Universum jest niestabilne: powinno albo rozszerzać się, albo kurczyć i zapadać. Einstein wprowadził do swoich równań tzw. stałą kosmologiczną, odpowiadającą pewnej powszechnej sile odpychającej (ujemnej grawitacji), aby ratować Wszechświat przed ewolucją. Kiedy Aleksander Friedman pokazał, że nawet Kosmos "wyposażony" w stałą kosmologiczną jest niestabilny i zaproponował (jako pierwszy) kilka podstawowych modeli ewolucji Wszechświata, Einstein początkowo nie uwierzył tym rezultatom, sugerując błąd w obliczeniach. Nawet zatem jego geniuszu nie starczyło, aby przewyciężyć utarte schematy myślowe i przyjąć za dobrą monetę wnioski płynące z jego własnej teorii. Dopiero odkrycie Hubble'a, że galaktyki (ściślej mówiąc - ich gromady) oddalają się jedna od drugiej tym szybciej, im dalej się znajdują (1929), przekonało większość uczonych, że Wszechświat rzeczywiście ulega ekspansji (rozszerzaniu się). Ostatecznie, Einstein uznał wprowadzenie stałej kosmologicznej za największy błąd swego życia.

Dzisiaj fakt ewolucji Wszechświata nie budzi wątpliwości wśród uczonych. Kosmologia (nauka o Wszechświecie) stała się prężną, silnie rozwiniętą gałęzią nauki, znajdującą potwierdzenie nie tylko w teoretycznych modelach wywiedzionych z ogólnej teorii względności i fizyki cząstek elementarnych, ale wspartą także na bogatej bazie obserwacyjnej. W następnym podrozdziale przedstawię krótko najważniejsze dane poświadczające fakt zmienności Kosmosu w czasie.

### 1.2.2. Dlaczego myślimy, że Wszechświat ewoluuje?

Pierwszym i, jak dotąd, najbardziej bezpośrednim dowodem na ewolucję Wszechświata, było odkrycie przez Edwina Hubble'a (tego od teleskopu Hubble'a) ucieczki galaktyk, czyli faktu, że galaktyki (gromady galaktyk) oddalają się jedna od drugiej, a więc wszystkie galaktyki oddalają się od wszystkich innych. Co więcej, im dalej leżą od siebie dane dwie galaktyki, tym szybciej się od siebie oddalają (proporcjonalność szybkości ucieczki od odległości określa tzw. stała Hubble'a). Oznacza to,

iż rozszerza się cała przestrzeń Wszechświata, zaś zawarta w niej materia - nie (gdyby materia, a więc także my, ulegała "rozdęciu" wraz z przestrzenią, nie moglibyśmy tego w żaden sposób zauważyć - to tak, jakby jednocześnie rozszerzał się mierzony za pomocą linijki przedmiot oraz sama, służąca do pomiaru linijka!). Rosną zatem rozmiary całego Wszechświata (o ile jest on skończony) lub też każdej jego skończonej części (jeżeli jest on nieskończony). Powyższe stwierdzenie dotyczy jednakże jedynie wystarczająco dużych obszarów - w mniejszych skalach wielkości siła grawitacji przewyższa rozszerzanie się przestrzeni, dlatego też takie obiekty, jak planety, gwiazdy, galaktyki i ich gromady zachowują w przybliżeniu stałą wielkość. Natomiast wzrastają odległości pomiędzy gromadami galaktyk. Oznakę ucieczki galaktyk stanowi poczerwienienie ich widma, czyli wynikające z tzw. zjawiska Dopplera przesunięcie linii absorbcyjnych poszczególnych pierwiastków (np. wodoru) ku większym długościom fali elektromagnetycznej (przykładem zjawiska Dopplera dla fali dźwiękowej jest obniżenie wysokości dźwięków wydawanych przez oddalające się obiekty, np. mijający nas pociąg lub karetkę pogotowia).

Drugim istotnym dowodem na rzecz ewolucji Wszechświata jest promieniowanie tła. Jego odkrycie wzbudziło szereg kontrowersji co do zasad przyznawania nagrody Nobla. Stąd też pozwolę sobie w tym miejscu na krótką dygresję.

Jeżeli włączysz radio i usłyszysz w nim szumy oraz trzaski, to czym prędzej powiadom o tym Komitet Nagrody Nobla Szwedzkiej Akademii Nauk, a niechybnie nagroda ta zostanie Ci przyznana. Musisz jeszcze tylko dowiedzieć się od jakiegoś specjalisty, dlaczego Ci szumi. Nie wierzysz? Kiedy w 1965 Penzias i Wilson testowali antenę rejestrującą fale radiowe, używaną wcześniej do łączności z satelitami, odkryli dochodzący ze wszystkich kierunków szum, którego w żaden sposób nie mogli wytłumaczyć. Pierwotnie posądzali gołębie, które pozostawiały w aparacie swoje odchody. Jednakże usunięcie ich (tzn. zarówno odchodów, jak i gołębi) niewiele pomogło. Zakłócenia pozostały. Stwierdzili więc, że szumi. Zinterpretowali to jako fakt, że szumi, oraz podali wyjaśnienie, iż jest to szum niewyjaśniony. Za to kilkanaście lat później dostali nagrodę Nobla.

To, co im szumiało, było właśnie słynnym promieniowaniem tła, stanowiącym koronny argument na rzecz hipotezy Wielkiego Wybuchu i znakomite potwierdzenie modeli wczesnych etapów ewolucji Wszechświata. W konstrukcji tych modeli największe zasługi położyli: Gamow, Dicke i Peebles. Dwaj ostatni dowiedzieli się o kłopotach z aparaturą Penziasa i Wilsona z przypadkowej rozmowy telefonicznej i od razu poprawnie zinterpretowali ich obserwacje. Kto więc "odkrył" promieniowanie tła? Czy istotą odkrycia naukowego jest przypadek, czy też uzyskanie nowej wiedzy na bazie wiedzy już posiadanej? Szumy w radiu może stwierdzić każdy, natomiast nie każdy umie wyjaśnić, dlaczego szumi. Na tym zakończę dygresję.

Promieniowanie tła jest promieniowaniem mikrofalowym, docierającym do nas bardzo jednorodnie ze wszystkich kierunków. Stanowi ono pozostałość po wczesnej fazie historii Wszechświata, kiedy to stał się on przezroczysty, a promieniowanie zostało "uwolnione" na skutek rekombinacji (połączenia) protonów z elektronami w atomy wodoru. Jak wspomniałem przed chwilą, jego obecność przewidują teoretyczne modele oparte na fizyce cząstek elementarnych, zakładające,

że Kosmos był kiedyś mały, gęsty i gorący. Jak dotąd, nie znaleziono żadnego innego rozsądnego wytłumaczenia zjawiska promieniowania tła.

O tym, że Wszechświat posiadał kiedyś inne cechy, niż obecnie, świadczy także wygląd jego odległych regionów. Ze względu na czas potrzebny światłu na dotarcie do nas od bardzo dalekich obiektów, oglądamy je jako młodsze, niż obiekty leżące w naszym bezpośrednim sąsiedztwie - widzimy je takimi, jakimi były miliardy lat temu. W rzeczywistości, takie odległe obiekty mogą już dawno nie istnieć - jedyną pozostałością po nich jest promieniowanie elektromagnetyczne docierające do naszych oczu. Na im dalsze obiekty kierujemy teleskopy, tym głębiej sięgamy w przeszłość Wszechświata. Jeżeli ten ostatni byłby niezmienny w czasie, to dalekie obiekty nie powinny różnić się od bliskich. Tak jednak nie jest. Wszystkie odkryte dotychczas kwazary to obiekty bardzo odległe, istniejące przynajmniej kilka miliardów lat temu. Także kształty dalekich galaktyk oglądane w falach widzialnych i radiowych tym bardziej różnią się od kształtów otaczających nas galaktyk, im dalej te pierwsze są od nas położone. A zatem w przeszłości materia wypełniająca Kosmos przybierała odmienne formy, niż obecnie. Jest to jednoznaczne z ewolucją Wszechświata.

Ostatnią omawianą tutaj przesłanką świadczącą o ewolucji naszego Universum jest obfitość helu w Kosmosie. Wszystkie cięższe (niż wodór i hel) pierwiastki powstają w wyniku nukleosyntezy z lżejszych pierwiastków we wnętrzach gwiazd. Mogą one potem zostać wyrzucone w przestrzeń podczas wybuchów gwiazd Supernowych. Jednakże, mechanizm ten nie prowadzi do uwolnienia znaczących ilości helu i nie jest w stanie wytłumaczyć obfitości jego występowania w przestrzeni kosmicznej - około 23 % wszystkich pierwiastków (prawie całą resztę ciągle stanowi wodór). Z drugiej strony, modele kosmologiczne opisujące wczesne etapy ewolucji Wszechświata, kiedy panowały ogromne ciśnienia i temperatury, przewidują wytworzenie bardzo zbliżonych ilości helu do rzeczywiście obserwowanych. Stanowi to zatem kolejne potwierdzenie hipotezy, że Wszechświat przeszedł kiedyś przez młode, gorące stadium.

### *1.2.3. Na czym polega ewolucja Wszechświata?*

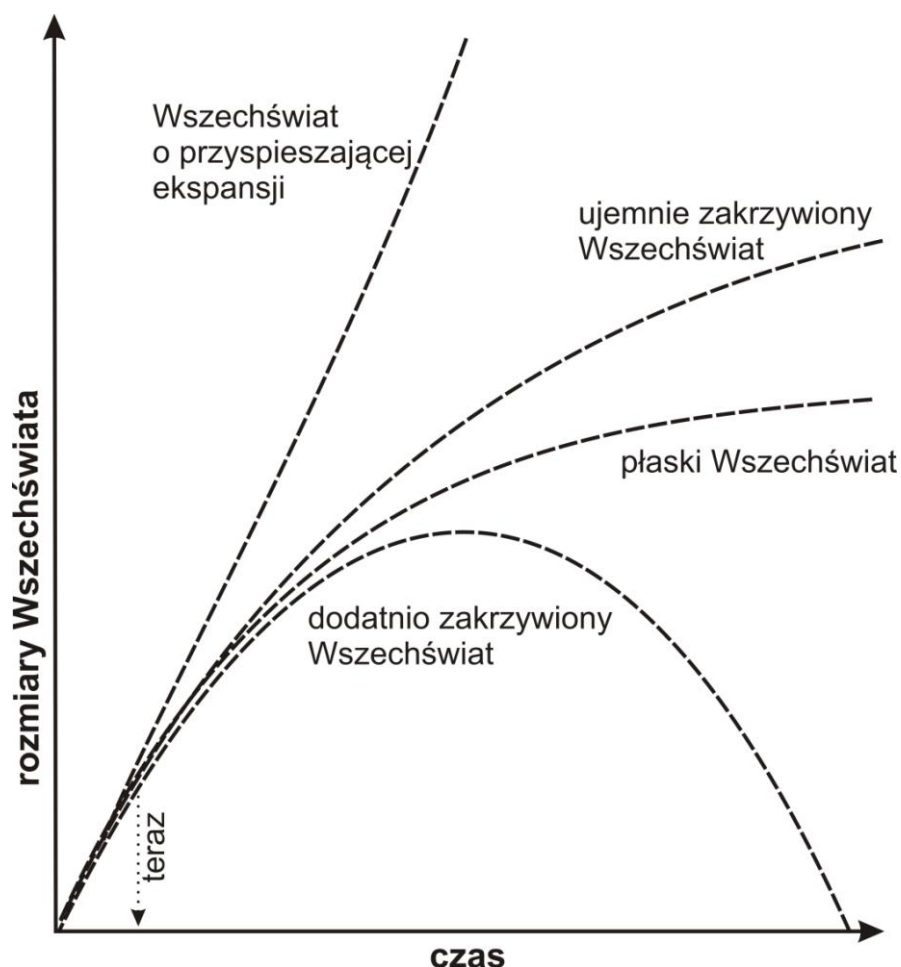
Ogólnie rzecz biorąc, w ewolucji Wszechświata można wyróżnić dwa główne aspekty: aspekt geometryczny oraz aspekt materii-energii. Pierwszy z nich dotyczy zmian w wielkości całego Wszechświata oraz rodzaju i stopnia zakrzywienia wypełniającej go przestrzeni (ściślej mówiąc, przestrzeń, wraz z zawartą w niej materią i energią po prostu jest Wszechświatem). Drugi natomiast odnosi się do przemian materii i energii, które przybierają rozmaite formy, układające się w coraz to nowe konfiguracje.

Zacznijmy od aspektu geometrycznego. Jak już wspomniałem, Wszechświat rozszerza się w tym sensie, że trójwymiarowa przestrzeń ulega "rozdęciu" wraz z upływem czasu (podobnie jak powierzchnia balonu w wyniku dmuchania), skutkiem czego poszczególne gromady galaktyk oddalają się od siebie (tak jak zwiększa się odległość pomiędzy kropkami narysowanymi na powierzchni dmuchanego balonu). Natomiast same gromady oraz zawarte w nich galaktyki, gwiazdy i planety nie ulegają powiększeniu. Jeżeli Wszechświat rozszerza się, to znaczy, że kiedyś był mniejszy. Co

więcej, mamy dane po temu, by przypuszczać, że z upływem czasu grawitacja wyhamowuje ucieczkę galaktyk, a więc że kiedyś tempo wzrostu rozmiarów Wszechświata było jeszcze większe. Cofając się w czasie o około 15 miliardów lat dochodzimy w końcu do momentu, kiedy rozmiary Wszechświata były bardzo małe (zerowe?), a gęstość materii-energii, ciśnienie i temperatura bardzo duże (nieskończone?). Moment ten możemy określić jako początek Wszechświata. Do kwestii, co właściwie przez taki początek należy rozumieć, powrócimy w jednym z kolejnych podrozdziałów.

Od momentu, kiedy każdy skończony obszar obecnego Wszechświata miał niezmiernie małą wielkość (jeżeli Wszechświat jest nieskończony, czego nie wiemy, nie ma sensu mówić o jego rozmiarach jako całości), rozszerza się on, przy czym szybkość owej ekspansji ulega zmniejszaniu na skutek hamującego działania siły grawitacji pomiędzy oddalającymi się od siebie skupiskami materii (obecnie są to gromady galaktyk) (choć ostatnie dane sugerują, że od paru miliardów lat ekspansja zaczęła znowu przyspieszać – patrz poniżej). Początkowo szybkość ekspansji Wszechświata była ogromna i dlatego moment jego powstania określa się jako Wielki Wybuch (ang. Big Bang). Wedle obecnie powszechnej koncepcji, zwanej inflacją, w pierwszych ułamkach sekund tempo „rozdymania się” Wszechświata było niesamowicie wprost wielkie. Dalsza przyszłość Wszechświata, jak również jego ogólna geometria zależą od gęstości zawartej w nim materii. Jeżeli gęstość ta przekracza gęstość krytyczną, to jest minimalną gęstość potrzebną do zahamowania ekspansji, przestrzeń Wszechświata posiada dodatnią krzywiznę i skończone rozmiary, a sam Wszechświat będzie miał swój kres w dalekiej przyszłości. Siły grawitacji w końcu powstrzymają jego rozszerzanie się i po pewnym czasie zacznie się on coraz szybciej zapadać, aby zakończyć swoje istnienie w stadium końcowym podobnym w pewnym stopniu do początkowego: o bardzo małych rozmiarach i wielkiej gęstości oraz temperaturze. Oznacza to oczywiście zniszczenie wszelkich tworów takich jak galaktyki, gwiazdy, planety i istoty żywe. Przypadek ten reprezentuje dolna krzywa na rycinie 1.1. Jako analogia może tu posłużyć kamień wyrzucony z powierzchni Ziemi. Jeżeli nadamy mu zbyt małą prędkość, to w końcu przestanie on się wznosić, zatrzyma się i zacznie z powrotem spadać na ziemię.

Jeżeli gęstość materii Wszechświata jest niższa od gęstości krytycznej, to posiada on za mało materii, aby zahamować ekspansję (jak pamiętamy, siła grawitacji jest proporcjonalna do masy) i będzie się rozszerzał wiecznie. Ilustruje to druga od góry krzywa na rycinie 1.1. Podobnie, jeżeli wyrzucimy kamień z dostatecznie dużą prędkością, to nigdy nie spadnie on na powierzchnię Ziemi, oddalając się od niej w nieskończoność. Szybkość ucieczki będzie systematycznie maleć, dążąc asymptotycznie do jakiejś wielkości większej od zera. Wszechświat zawsze będzie się rozszerzał z jakąś skończoną szybkością. W tym modelu Wszechświata nieskończona przestrzeń jest zakrzywiona ujemnie, a Wszechświat czeka w końcu (po setkach miliardów lat) "termiczna śmierć" na skutek wypalenia się gwiazd i wzrostu nieuporządkowania (chaosu), którego miarą jest entropia (w takim Wszechświecie życie także nie byłoby możliwe). Co prawda wniosek ten napotyka na pewne trudności interpretacyjne, albowiem maksymalna możliwa entropia Wszechświata rośnie szybciej, niż entropia rzeczywista, ale szersze rozwinięcie tego tematu wykracza poza ramy niniejszego rozdziału.



Ryc. 1.1. Cztery modele ewolucji Wszechświata: dla trzech różnych średnich gęstości materii: większej od gęstości krytycznej (przestrzeń zakrzywiona dodatnio), równej krytycznej (przestrzeń płaska) i mniejszej od krytycznej (przestrzeń zakrzywiona ujemnie), oraz dla Wszechświata o przyspieszającej ekspansji ze względu na obecność piątej, odpychającej siły - kwintesencji.

W przypadku gdy gęstość materii jest dokładnie równa gęstości krytycznej, przestrzeń Wszechświata jest nieskończona i płaska. W tym wypadku Wszechświat będzie się także rozszerzał wiecznie i ewentualnie zmierzał do "śmierci termicznej", jakkolwiek oba procesy będą zachodziły wolniej, niż w przypadku przestrzeni o krzywiznie ujemnej (druga od dołu krzywa na rycinie 1.1). Szybkość ucieczki galaktyk będzie zmierzała asymptotycznie do zera, a więc w nieskończenie odległej przyszłości będzie ona nieskończenie mała. Na skutek tych podobieństw (nieskończone rozmiary i wieczne rozszerzanie się) modele Wszechświata o krzywiznie ujemnej lub zerowej (czyli "płaskie") określa się mianem "otwartych", podczas gdy modelom o krzywiznie dodatniej nadaje się nazwę "zamkniętych" (skończona przestrzeń "zamyka" się tu tak jak powierzchnia kuli).

W końcu, niektóre ostatnie dane wskazują, że jakaś nieznaną siłą (nazwaną prowizorycznie kwintesencją) wywiera efekt odwrotny do grawitacji, czyli odpychający, co skutkuje przyspieszeniem ekspansji Wszechświata (górna krzywa na rycinie 1.1).

Pozostaje jeszcze wyjaśnić, co znaczą określenia: przestrzeń zakrzywiona dodatnio, płaska lub zakrzywiona ujemnie. Przestrzeń Wszechświata stanowi twór trójwymiarowy, którego

zakrzywienie trudno jest sobie wyobrazić (choć można je w sposób ścisły zdefiniować matematycznie) i dlatego jako analogii używa się często dwuwymiarowych powierzchni. Płaską powierzchnią jest zwykła, "płaska" płaszczyzna. Posiada ona nieskończone rozmiary, a dwie linie proste wyprowadzone na niej z jednego punktu pod jakimś kątem będą się w dowolnej odległości od tego punktu dalej rozchodziły pod tym samym kątem. To samo dotyczy płaskiej, trójwymiarowej przestrzeni.

Za przykład dwuwymiarowej powierzchni zakrzywionej dodatnio może służyć powierzchnia kuli. Posiada ona skończone rozmiary (pole powierzchni) - do jej pomalowania wystarczy użyć skończonej ilości farby, mimo, iż brak jej jakichkolwiek "brzegów". Linie proste wyprowadzone z danego punktu pod jakimś kątem będą miały w dalszej odległości tendencję do rozchodzenia się pod coraz mniejszym kątem (ulegając zagięciu ku sobie), aż w końcu ponownie się zejdą, tak jak południki na globusie ("linia prosta" w przestrzeni zakrzywionej definiowana jest nieco odmiennie, niż "normalna" linia prosta znana z potocznych wyobrażeń). Jeżeli ruszyć na powierzchni kuli "przed siebie", np. wzdłuż równika, to w końcu dojdzie się do punktu wyjścia. Przez analogię, dodatnio zakrzywiona trójwymiarowa przestrzeń posiada skończoną objętość (do jej wypełnienia wystarczy użyć skończonej ilości farby), nie mając przy tym żadnych brzegów (mówimy, że przestrzeń taka jest skończona, ale nieograniczona). Linie proste wyprowadzone z jednego punktu mają tendencję do zbiegania się, a wyruszywszy z jakiegoś miejsca "przed siebie" wzdłuż linii "prostej" dotrze się w końcu do punktu wyjścia. Należy to interpretować dosłownie - we Wszechświecie o dodatniej krzywiznie czasoprzestrzeni statek kosmiczny po wystartowaniu z Ziemi, oddalając się od niej cały czas w tym samym kierunku, po jakimś czasie doleciałby z powrotem do naszej planety, tyle że z przeciwnej strony! W przestrzeni zakrzywionej dodatnio przestrzeni (objętości) robi się tym mniej, w odniesieniu do przestrzeni płaskiej, im dalej oddalamy się od danego punktu.

Dwuwymiarową powierzchnię o ujemnej krzywiznie można sobie wyobrazić jako wyidealizowane końskie siodło (lub górską przełęcz), którego brzegi przedłużono w nieskończoność. Powierzchnia taka jest zatem oczywiście nieskończona, a dwie linie proste wyprowadzone z jednego punktu pod jakimś kątem mają skłonność do rozchodzenia się (wyginania na zewnątrz, od siebie) tym szybszego (pod tym większym kątem), im dalej odbiegają one od tego punktu. Analogiczne właściwości posiada ujemnie zakrzywiona trójwymiarowa przestrzeń. Im dalej w niej od danego punktu, tym więcej jest tam przestrzeni (objętości) (w porównaniu z przestrzenią płaską). O ile zatem, wędrując w przestrzeni zakrzywionej dodatnio, zgubić się jest stosunkowo trudno, bo wszystkie kierunki mają tendencję do zbiegania się, to w przestrzeni o ujemnej krzywiznie nawet niewielkie zboczenie z trasy może nas szybko zaprowadzić bardzo daleko od zamierzonego celu. Oczywiście efekty ewentualnego zakrzywienia czasoprzestrzeni przejawiają się w skalach znacznie większych (rzędu miliardów lat świetlnych), niż te znane nam z codziennego doświadczenia. Dlatego bardzo trudno byłoby nam stwierdzić istnienie tej krzywizny przez bezpośrednią obserwację, tak jak nie zauważamy zakrzywienia kuli ziemskiej stojąc na jej powierzchni.

Pozostaje stwierdzić, który z powyższych modeli najlepiej odzwierciedla stan obecnej wiedzy. Wszystkie trzy omawiane typy modeli Wszechświata na obecnym etapie ewolucji i w dostępnych

obserwacjom skalach odległości wyglądają bardzo podobnie (wszystkie trzy dolne krzywe na rycinie 1.1 przebiegają bardzo blisko siebie w punkcie czasowym opisanym jako "teraz"). Nie da się zatem określić zakrzywienia przestrzeni poprzez prosty pomiar. Można jednak próbować oszacować gęstość materii we Wszechświacie i stąd wydedukować jego geometrię oraz przyszłość.

Bezpośrednie pomiary masy Wszechświata zawartej we wszystkich znanych nam formach materii dają gęstość ponad dziesięciokrotnie mniejszą od gęstości krytycznej. Faworyzuje to model nieskończonego Wszechświata o ujemnej krzywiznie, rozszerzającego się wiecznie jako martwy już trup, w którym ustały wszelkie procesy. "Spokój, spokojnie, wilgoć", żeby użyć określenia Gombrowicza. Przyszłość taka nie jest wielce komfortująca z ludzkiego punktu widzenia i dlatego wielu naukowców wykazuje silną predylekcję filozoficzną do modelu Wszechświata zamkniętego (skończonego), zakrzywionego dodatnio, posiadającego swój gorący kres w przeciwieństwie Wielkiego Wybuchu - Wielkim Zapadnięciu (ang. Big Crunch), swoistym finis mundi, o wiele bardziej malowniczym, niż zimna śmierć Wszechświata. Swoją drogą, tego rodzaju preferencje światopoglądowe licznych fizyków wydają się nieco niezrozumiałe - życie szybciej przestanie być możliwe we Wszechświecie zamkniętym, niż w otwartym. Być może wolą oni po prostu pochówek Wszechświata typu "krematorium", raczej niż typu "powolny rozkład zwłok", kierowani względami czysto estetycznymi.

Z kolei, tak zwana koncepcja inflacji (zakładająca ogromny wzrost rozmiarów Wszechświata w pierwszych ułamkach sekundy na skutek działania odpychającej (!) siły grawitacji w tzw. fałszywej próżni, będącej wtedy jedynym "składnikiem" Universum) implikuje, że obecna gęstość materii jest bardzo bliska gęstości krytycznej, a zatem przestrzeń jest (prawie) płaska. Inflacja „wygładziłaby” przestrzeń i doprowadziła do równomiernego rozkładu materii i energii, co tłumaczyłoby obserwowaną obecnie (prawie) idealną homogenność promieniowania tła (bardzo niewielkie odchylenia od tej homogenności wykazują doskonałą zgodność z przewidywaniami teorii inflacji). Dwa ostatnie modele napotykają na problem "brakującej masy", która mogłaby zwiększyć gęstość materii na tyle, aby osiągnąć lub przekroczyć gęstość krytyczną. Duże nadzieje wiąże się tu z neutrinami, słabo oddziałującymi cząstkami elementarnymi bezustannie przenikającymi przestrzeń Wszechświata, tradycyjnie uważanymi za pozbawione masy. Jeżeli okazałoby się jednak, że neutrino posiadają niewielką masę, mogłaby ona wystarczyć do "zamknięcia" krzywizny przestrzeni i wyhamowania ekspansji Wszechświata. Innymi kandydatami na „ciemną materię” (nie emitującą promieniowania elektromagnetycznego) są czarne dziury lub „egzotyczne” (nie odkryte jeszcze) masywne cząstki elementarne. Tak czy owak, wiele przesłanek przemawia za tym, że głównym składnikiem Wszechświata jest tak zwana „ciemna energia”, której natura pozostaje całkowitą tajemnicą.

Przypomnę, że wiele ostatnio uzyskanych danych obserwacyjnych sugeruje istnienie jakiejś piątej siły (obok oddziaływania grawitacyjnego, elektrycznego, silnego jądrowego i słabego jądrowego), zwanej kwintesencją, która ma charakter odpychający (nie mylić z ujemną grawitacją fałszywej próżni w teorii inflacji), a która powoduje przyspieszanie ekspansji Wszechświata. Siła ta jest wywierana właśnie przez tajemniczą „ciemną energię”. A więc najprawdopodobniejsza sytuacja

na dzień dzisiejszy wygląda następująco: inflacja wygładziła przestrzeń i spowodowała, że jest ona (prawie idealnie) płaska (na krytyczną gęstość materii składa się materia „normalna” – 5 %, „ciemna materia” – 25 % oraz „ciemna energia” – 70 %)<sup>8</sup>, zaś kwintesencja, po początkowym okresie hamowania rozszerzania się Wszechświata przez grawitację, z czasem (ok. 7 miliardów lat po początku Wszechświata) zaczęła dominować i doprowadziła do przyspieszania jego ekspansji.

Omówię teraz skrótowo aspekt materii-energii w ewolucji Wszechświata, czyli to, jakie zmiany w formie, którą przybierała materia i energia, towarzyszyły rozszerzaniu się przestrzeni. Zmiany te były niejako wymuszone przez ekspansję naszego Universum, dlatego że stopniowo w wyniku tej ostatniej robiło się coraz więcej miejsca dla materii (oraz promieniowania) wypełniającej przestrzeń, co powodowało spadek gęstości, ciśnienia oraz temperatury. Ponieważ zachowanie się cząstek elementarnych oraz cechy przekazywanych pomiędzy nimi oddziaływań zależą w głównej mierze właśnie od temperatury (czyli posiadanej przez cząstki energii kinetycznej), rozszerzanie się i ochładzanie Wszechświata siłą rzeczy powodowało przemiany jednej w drugą postaci, w jakich występowała materia i energia. Wzrost rozmiarów Kosmosu był więc niejako motorem tych zmian. Poniżej po prostu wyliczę skrótowo kilka najważniejszych etapów, odpowiadających istotnym przekształceniom dominujących form materii i energii, podając przy tym szacunkowy czas od Wielkiego Wybuchu, w którym dana przemiana lub opisywany stan miały miejsce.

a. Początek Wszechświata. Prawa obecnej fizyki nie sięgają do "samego początku", nie wiemy zatem, jaką postać miała wtedy materia i energia, ani nawet, czy te terminy w ogóle posiadały jakikolwiek sens. Zgodnie z tzw. modelem standardowym Wszechświata zaczęły się od początkowej osobliwości o zerowych rozmiarach oraz nieskończonej gęstości i temperaturze. O materii i energii w tego rodzaju warunkach nie sposób czegokolwiek rozsądnego powiedzieć. Fizycy wierzą jednak, że przyszła teoria kwantowej grawitacji usunie nieprzyjemne nieskończoności, stanowiące niewątpliwie estetyczną skazę modelu standardowego. O tym, jak mógł wyglądać sam początek Wszechświata, powiem więcej w następnych podrozdziałach.

b. Pierwsze ułamki sekundy. Istnieje jedynie "fałszywa" próżnia, którą od próżni "normalnej" różni wyższy stan energetyczny (o innych osobliwościach próżni kwantowej występującej w mechanice kwantowej, poza posiadaniem rozmaitych stanów energetycznych, powiem nieco dalej). Brak jest natomiast "tradycyjnej" materii. "Fałszywa" próżnia wywiera ujemną (odpychającą) siłę grawitacji, co w bardzo krótkim czasie prowadzi do ogromnego wzrostu rozmiarów Wszechświata. Jest to tak zwane zjawisko inflacji. W pewnym momencie następuje jednak coś w rodzaju "przemiany fazowej" (analogicznej do zamarzania wody, a więc przejścia z fazy ciekłej do stałej), prowadząca do przekształcenia się próżni "fałszywej" w próżnię "normalną", przy czym uwolniona nadwyżka energetyczna ulega przekształceniu w materię oraz promieniowanie. Od tego momentu Wszechświat rozszerza się już znacznie wolniej, niż w fazie inflacyjnej.

---

<sup>8</sup> Zauważmy, że znana nam materia, np. protony, neutrony i elektrony to zaledwie marne 5 % całej materii/energii Wszechświata.



c. Pierwsze sekundy. Istnieje jednorodna "zupa" promieniowania oraz cząstek elementarnych i ich antycząstek (materii i antymaterii). Istniejące cząstki to elektron i proton (oraz ich antycząstki: pozyton i antyproton), a także neutron. Mówiąc ściślej, w tak wysokiej temperaturze kwarki, normalnie po trzy wchodzące w skład protonu i neutronu, "pływają" sobie swobodnie w "zupie" cząstek. Promieniowanie i materia znajdują się w równowadze termicznej, to znaczy, że kreacja par cząstka-antycząstka z promieniowania zachodzi z jednakową szybkością, jak przemiana odwrotna, czyli anihilacja takich par i ich przekształcenie w energię promienistą.

d. Pierwsze dziesiątki sekund. Wszystkie (prawie) wolne neutrony łączą się z częścią protonów (których liczba kilkakrotnie przekracza ilość neutronów) w jądra helu. Promieniowanie jest już zbyt "rzadkie" (ma zbyt mało energii), aby mogło podtrzymywać kreację par cząstka-antycząstka. Wskutek tego zachodzi przede wszystkim przemiana odwrotna i prawie cała materia ulega anihilacji z antymaterią, wytwarzając ogromną ilość promieniowania. Pozostaje ono w równowadze termodynamicznej z materią - ze względu na wciąż wystarczająco dużą gęstość materii następuje nieustanna absorpcja i emisja kwantów promieniowania elektromagnetycznego (fotonów).

e. 300 000 (trzysta tysięcy) lat. Następuje rekombinacja (połączenie) nielicznych protonów i elektronów, które "przeżyły" anihilację, w atomy wodoru oraz elektronów i jąder helu w atomy helu. Wszechświat staje się przejrzysty dla promieniowania (zostaje uwolnione opisane wcześniej promieniowanie tła).

e. 1 000 000 000 (1 miliard) lat. Tworzą się (na skutek przyciągania grawitacyjnego) skupiska materii w różnych skalach wielkości, które dają początek gwiazdom, galaktykom i gromadom galaktyk. Brak planet zbudowanych z pierwiastków cięższych, niż wodór i hel, ponieważ pierwiastki takie po prostu jeszcze nie istnieją.

f. 5 000 000 000 (5 miliardów) lat. Następuje ewolucja pierwszej generacji gwiazd, nukleosynteza cięższych pierwiastków w ich wnętrzu, wyrzucanie tych pierwiastków w przestrzeń podczas wybuchów Supernowych, powstawanie gwiazd neutronowych (pulsarów) oraz czarnych dziur.

g. 10 000 000 000 (10 miliardów) lat. Zachodzi ewolucja następnych generacji gwiazd, formowanie planet zawierających duże ilości ciężkich pierwiastków, powstawanie życia.

h. 15 000 000 000 (15 miliardów) lat. Wszechświat osiąga stan obecny.

#### 1.2.4. Co właściwie powstało wraz z początkiem Wszechświata?

Istnienie Wszechświata (mówiąc ogólnie - istnienie czegokolwiek) można przeciwstawić nicości, cokolwiek ten ostatni termin miałby oznaczać. Innymi słowy, powstanie Wszechświata (czyli przejście od jego nieistnienia do istnienia) polegałoby na jego wyłonieniu się z nicości według następującego schematu:

**nicość → Wszechświat**

Co prawda, nie mamy pewności nawet co do tego, czy pojęcie nicości posiada jakikolwiek dobrze zdefiniowany, "realny" sens, czy też jest pojęciem pustym, lub może nawet wewnętrznym sprzecznym.

Należy podejrzewać, iż pojęcie to jest konsekwencją struktury systemu pojęć w naszym mózgu (opartej na przeciwstawianiu sobie przeciwieństw) raczej niż odzwierciedleniem jakiegoś "rzeczywistego" aspektu świata. Pozostawiając tę kwestię na boku, potraktujmy nicość jako pewien intuicyjnie zrozumiały (?) termin filozoficzny, który posłuży nam za odnośnik do określenia tego, czym jest Wszechświat, za przeciwieństwo jego istnienia.

Mówiąc potocznie, nicość da się wyrazić po prostu jako fakt, że "nic nie ma". W odniesieniu do Kosmosu nie oznacza to jedynie, że nic nie wypełnia pustej przestrzeni, a więc, że panuje absolutna, pozbawiona materii, próżnia. Zresztą, mechanika kwantowa uczy nas, że próżnia (tzw. próżnia kwantowa) wcale nie jest taka pusta - posiada ona swoje stany energetyczne, a "wypełniające" ją cząstki wirtualne co chwila ulegają spontanicznej kreacji jako para cząstka-antycząstka, by natychmiast zniknąć ponownie w wyniku anihilacji. Już zatem coś takiego, jak zupełna próżnia, czyli "czysta" przestrzeń nie zawierająca zupełnie nic, jest wytworem naszej idealizacji, czymś, co w przyrodzie nie istnieje, czemu, co więcej, nic sensownego nie odpowiada. Choć może to zabrzmieć paradoksalnie, próżnia (kwantowa) posiada swoją strukturę, swoje właściwości, stanowi twór dynamiczny, mogący zmieniać się w czasie, kurczyć, rozszerzać, podlegać fluktuacjom itd.. Niektórzy naukowcy posuwają się do stwierdzenia, że cała obecna fizyka jest właściwie nauką o próżni, w tym sensie, że takie "obiekty" jak cząstki elementarne czy fale są po prostu formą istnienia próżni kwantowej, nadającej masę wykreowanemu z niej cząstkom. Co więcej, być może to właśnie próżnia określa fundamentalne stałe przyrody, takie jak stała grawitacyjna.

Jednakże, i to nie tylko z powyżej przytoczonych powodów, w poszukiwaniu "prawdziwej" nicości musimy być bardziej radykalni, posunąć się dalej, niż jedynie do usunięcia materii i energii z przestrzeni, pozostawiając "pustą" próżnię. Trzeba bowiem także "unicestwić" samą przestrzeń (w tym oczywiście również próżnię) oraz czas. Wtedy dopiero będzie można z całą konsekwencją powiedzieć, że "nic nie ma" (zachodzi tu jednak kolejne pytanie: czy pod nieobecność czegokolwiek "realnego" mogą istnieć chociażby same prawa przyrody w rodzaju jakichś platońskich idei?; osobiście uważam, iż "prawa przyrody" są nieodłączną częścią "rzeczywistego" Wszechświata).

Mówienie o jakichkolwiek właściwościach tak pojętej nicości ociera się o granice absurdu. Dla potrzeb wywodu przyjmijmy jednak (co wydaje się intuicyjnie naturalnym założeniem), że nicość posiada zerowe rozmiary (skoro nie dopuszcza istnienia przestrzeni i czasu) oraz zerową energię i masę (z oczywistych chyba względów).

Wszechświat natomiast to czas i przestrzeń, połączone w czasoprzestrzeń, oraz ogromna różnorodność wypełniających ją tworów: galaktyk, gwiazd, planet, księżyców, istot żywych, czyli, ogólnie mówiąc, materii w rozmaitych postaciach. Zbudowana jest ona z cząstek elementarnych, takich jak elektron, proton i neutron (ściśle rzecz biorąc, to nie proton i neutron, a składające się na nie kwarki są cząstkami elementarnymi). Dwa ostatnie wchodzi w skład jąder atomów poszczególnych pierwiastków, natomiast elektrony tworzą ich powłoki elektronowe złożone z różnego typu orbitali, warunkujących rozmaite możliwości połączeń atomów, a zatem potencjalnie określających wszelkie właściwości związków chemicznych, minerałów, organizmów żywych itd.. Do tego dochodzą różne oddziaływania (grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne jądrowe, słabe jądrowe), a także energia

występująca w różnorodnych postaciach, np. energia kinetyczna, potencjalna itp.. Mówiąc zatem o istnieniu Wszechświata, mówimy o istnieniu rozmaitych składających się nań obiektów, wraz z przestrzenią. One to więc (w takiej lub innej formie) musiały powstać w chwili wyłonienia się Wszechświata z nicości.

Okazuje się jednak, że całą tę pozorną różnorodność da się w prosty sposób uporządkować i zunifikować, czyli sprowadzić wszelkie wypełniające przestrzeń (czasoprzestrzeń) obiekty do jednolitej postaci. Pozwoli to na bardziej jednoznaczne określenie, co powstało wraz z początkiem Wszechświata oraz na czym polega jego egzystencja.

Przede wszystkim, rozmaite postaci energii są sobie równoważne w tym sensie, że jedne formy energii mogą przechodzić w inne, przy czym całkowita ilość energii musi pozostać stała (prawo zachowania energii). Różne rodzaje energii można zatem uważać za odmienne przejawy tej samej jakości, przy czym za ich pozorną odmiennosc zdaje się odpowiadać bardziej system kategorii, w jakich postrzegamy świat, który to system stanowi pochodną mechanizmów integracji wrażeń zmysłowych przez nasz mózg, niż tenże świat "sam w sobie". Bardzo szczególną formą energii, postrzeganą przez nas w sposób specjalnie wyróżniony, jest materia. Mamy jednakże powody podejrzewać, że materia i rozmaite postaci energii (np. energia promienista) to po prostu odmiennie uorganizowane postaci próżni kwantowej lub też, jeśli kto woli, różne formy, jakie przybiera pewne uniwersalne "pole" fizyczne. O równoważności ("tradycyjnej") energii i materii mówi słynny wzór Einsteina:

$$E = m \cdot c^2,$$

gdzie E oznacza energię, m - masę, natomiast c - prędkość światła. Materia zatem to nic innego, jak pewnego rodzaju forma energii. Jest to przy tym energia dodatnia (większa od zera), w ramach przyjętej konwencji jej wartości przypisuje się znak "+". Energia równoważna materii wnosi zasadniczy wkład do całkowitej energii Wszechświata.

Inny bardzo ważny rodzaj energii w skali Kosmosu to energia wynikająca z oddziaływań. W dużych skalach jedyne liczące się oddziaływanie to przyciąganie grawitacyjne. Co prawda, na przykład siła przyciągania elektrostatycznego pomiędzy odmiennie (przyciąganie) lub jednakowo (odpychanie) naładowanymi obiektami ogromnie przewyższa przyciąganie wynikające z siły grawitacji. Jednakże na poziomie makroskopowym (w skali ciał niebieskich) wszystkie obiekty we Wszechświecie posiadają dokładnie równą liczbę ładunków dodatnich i ujemnych, tak że ciała te są elektrycznie neutralne, a ich całkowity ładunek wynosi zero. Nie występuje zatem pomiędzy nimi oddziaływanie elektrostatyczne. Gdyby np. Ziemia i Księżyc posiadały choć niewielką przewagę jednego ładunku nad drugim, oddziaływanie elektrostatyczne pomiędzy nimi wiele miliardów razy przewyższałoby siłę grawitacji. Natomiast przy równej liczbie ładunków obu znaków siła przyciągania pomiędzy ładunkami o przeciwnych znakach jest idealnie zrównoważona przez siłę odpychania pomiędzy ładunkami o jednakowym znaku. Ponieważ zarówno cały Wszechświat, jak i poszczególne obiekty astronomiczne są elektrycznie doskonale obojętne, w dużych skalach odległości oddziaływania elektrostatyczne zostają "wyłączone" (przyciąganie znosi odpychanie) i do głosu

dochodzi daleko od nich słabsza siła grawitacji. Ona to stanowi praktycznie jedyne oddziaływanie wnoszące istotny wkład w wielkoskalowe właściwości Wszechświata.

Siła grawitacji związana jest z ujemną energią potencjalną. Jak pamiętamy, energia to zdolność do wykonania pracy. Jeżeli podniesiemy kamień nad powierzchnię Ziemi, to po upuszczeniu będzie on mógł wykonać pracę, na przykład rozbić tafłę lodu. Im wyżej kamień podniesiemy, do wykonania tym większej pracy będzie on zdolny, tym większą posiadzie on ujemną energię potencjalną. Oczywiście, nawet kamień leżący na powierzchni Ziemi posiada możliwość wykonania pracy - jeżeli wywiercilibyśmy w naszej planecie pionowy szyb, to spadłby on do jej środka. Ogólnie rzecz biorąc, dwie przyciągające się masy tylko wtedy miałyby zerową energię grawitacyjną, kiedy znalazłyby się w tym samym punkcie. Aby je od siebie odsunąć wbrew sile grawitacji, potrzeba użyć pewnej energii, która w miarę wzrostu odległości przekształca się w energię potencjalną. Jej przykład stanowić może energia potencjalna zawieszono nad Ziemią kamienia. Ujemna energia grawitacji byłaby zatem wynikiem odsunięcia od siebie w przestrzeni obdarzonych masą ciał materialnych.

Okazuje się więc, że całe wielce różnorodne "umeblowanie" Wszechświata da się w zasadzie sprowadzić do dwóch podstawowych kategorii "bytów": obdarzonej dodatnią energią materii oraz związanej z ujemną energią grawitacji - przestrzeni. W naszym rozumowaniu dochodzimy teraz do decydującego kroku. Otóż okazuje się, że dodatnia energia równoważna masie jest dokładnie równa ujemnej energii potencjalnej grawitacji. A zatem energie te wzajemnie znoszą się, a całkowita energia Wszechświata jest zerowa! Jak pamiętamy, intuicyjnie przyjęliśmy za oczywiste, że nicość także oznacza brak jakiegokolwiek energii. Jeżeli zatem wszystko, co istnieje (materia, a w pewnym sensie nawet przestrzeń), stanowi jakąś formę energii, a sumaryczna energia wynosi zero, to co właściwie powstało w momencie, kiedy Wszechświat wyłonił się z nicości? Czy w ogóle ma jakikolwiek sens twierdzenie, że Wszechświat istnieje?

Można spróbować udzielić różnych, mniej lub bardziej spekulatywnych odpowiedzi na to paradoksalne pytanie. Jedną z nich zaproponuję poniżej, zastrzegając się jednakże, iż ma ona czysto filozoficzny charakter, jako że na obecnym etapie rozwoju fizyka nie jest w stanie w rozważanej tu kwestii nic sensownego powiedzieć. Jeżeli przybliżymy nicość przez punkt o zerowych wymiarach (brak przestrzeni), zerowej masie (brak materii) oraz zerowej całkowitej energii, to powstanie Wszechświata byłoby równoważne z "rozszczerzeniem się" nicości na obdarzoną dodatnią energią materię (masę) oraz na przestrzeń będącą "nośnikiem" ujemnej energii grawitacji. Za analogię może posłużyć "powstanie" par barw dopełniających (takich jak czerwona-zielona, żółta-fioletowa lub pomarańczowa-niebieska) w wyniku "rozszczerzenia" całkowitego "braku barw", czyli bieli (barwy białej nie traktujemy w tym ujęciu jako barwy). Wszystkie w ogóle barwy tęczy są "potencjalnie" zawarte w świetle białym, a możemy je "wydobyć" np. przy użyciu pryzmatu, rozszczepiającego białe światło na całe spektrum kolorów od czerwonego do niebieskofioletowego. Aby dało się to uczynić, musi jednak istnieć jakaś głębsza warstwa rzeczywistości, niż prawa naszego widzenia. W tym wypadku rozszczepienie "nicości barwnej" na poszczególne kolory możliwe było dzięki istnieniu określonego niższego poziomu, niż (fenomenologiczny) poziom barw, a mianowicie poziomu fizycznego. To mianowicie, co subiektywnie odbieramy jako kolory, w opisie fizycznym odpowiada

falom elektromagnetycznym o określonej długości fali. Czy w takim razie powstanie Wszechświata można przyrównać do "rozwarstwienia" przy pomocy jakiegoś "pryzmatu" białej "nicości barwnej" na poszczególne "kolory" odpowiadające przestrzeni, materii, energii, oddziaływaniom, cząstkom elementarnym, promieniowaniu, gwiazdom i galaktykom? A jeżeli tak, to czy odpowiedzialny był za to jakiś głębszy, nieznany nam poziom rzeczywistości?

Powstaje przy tym od razu pytanie, co właściwie "odróżnia" (poza znakiem) energię dodatnią od ujemnej, czyli masę od przestrzeni. Jak wiemy, różnice w widzeniu poszczególnych barw wynikają z odmiennego pobudzania komórek wzrokowych naszego oka przez fale elektromagnetyczne o różnej długości. W przypadku Wszechświata nie da się jednak powiedzieć, bez znajomości wspomnianej głębszej warstwy rzeczywistości, dlaczego nicłość rozwarstwiła się właśnie na takie, a nie inne byty. Być może jest to problem metafizyczny i jako taki w ogóle bezsensowny w świetle jakiegokolwiek naukowej metodologii. Być może rozwiązanie rzeczywiście istnieje w sferze "rzeczy samych w sobie", ale nigdy do niego nie dotrzemy ze względu na ograniczenia naszego aparatu pojęciowego ukształtowanego w procesie ewolucji biologicznej. W tym wypadku rozróżnienie "materia-przestrzeń" pochodziłoby tyleż ze świata rzeczywistego, co ze sposobu obróbki sygnałów z tego świata przez nasz mózg (szerzej tego rodzaju problemy omawiam w książce "Absolut - odniesienie urojone"). Być może wreszcie, jak chce Roger Penrose, ów najgłębszy poziom reprezentowany jest przez prostą stosunkowo formułę arytmetyczną, która "generuje" cały Wszechświat, podobnie jak inna prosta procedura matematyczna generuje pokrewny fraktalom, niezmiernie skomplikowany zbiór Mandelbrota.

Nie wiemy. Możemy jednak mniemać, że przestrzeń nie może istnieć bez materii (i odwrotnie), tak jak plus bez minusa lub barwa czerwona bez barwy zielonej. W pewnym sensie oba te fenomeny są swoimi przeciwieństwami. Powstały poprzez rozwarstwienie się nicości i być może (jeżeli Wszechświat jest skończony w czasie i przestrzeni) kiedyś anihilują w nicość. Tym, co je zarazem dzieli i łączy, wydaje się być siła grawitacji (zgodnie z ogólną teorią względności, grawitacja jest tożsama z zakrzywieniem przestrzeni). Istnienie masy, która stanowi zarówno źródło ("podmiot") tej siły, jak i obiekt ("przedmiot") jej oddziaływania, jest nieodłączne od istnienia przestrzeni, będącej nie tylko "sceną", lecz przede wszystkim "nośnikiem" przyciągania grawitacyjnego, sprawiającej, iż pojęcie grawitacji posiada w ogóle sens. Istnienie przestrzeni, jako "nośnika grawitacji", związane jest nieodłącznie z materią, zaś istnienie materii, jako zespołu przyciągających się mas, wymaga obecności przestrzeni. Obie zatem (tzn. przestrzeń i materia) reprezentują dwa oblicza tej samej rzeczy i nie jest logicznie możliwe ich rozdzielenie. Sytuacja ta przypomina dwie nawzajem rysujące się ręce w znanej grafice Escher'a lub też dwóch ludzi, z których każdy istnieje tylko we śnie drugiego. Jest oczywiste, że albo muszą istnieć razem, albo nastaje nicość.

Jak na razie wnioski z naszych rozważań były negatywne, to znaczy wskazywały na brak zasadniczych cech odróżniających Wszechświat od nicości, a przynajmniej na naszą nieznaną tych cech. Istnieje jednak określona właściwość Wszechświata, której z pewnością nie można przypisać naszemu filozoficznemu pojęciu nicości, a która stanowi drogowskaz w kierunku

zrozumienia istoty istnienia Universum. Jest nią informacja. Informacja o wzajemnym rozmieszczeniu energii dodatniej i ujemnej, czyli materii i przestrzeni.

Czysta biała kartka papieru nie zawiera w ogóle informacji - jej informacja jest zerowa. Jeżeli jednak narysujemy na tej kartce jakieś wzory czy symbole, to pojawi się już pewna ilość informacji. Informacji tej będzie tym więcej, im mniej chaotyczne, a bardziej uporządkowane będzie to, czym zapełnimy kartkę. Jeżeli weźmiemy 1000 punktów i "rozrzućmy" je przypadkowo, to powstanie układ o możliwie najmniejszej ilości informacji dla tej ilości punktów. Ilość informacji możemy zwiększyć w prosty sposób, np. grupując wszystkie punkty tylko na jednej połowie kartki. Gdyby natomiast punkty te składały się na rysunek ludzkiej twarzy (linie i plamy także stanowią zbiory punktów), to "zawartość informacyjna" kartki osiągnęłaby bardzo wysoką wartość. Układ "kartka z tysiącem punktów" zawierać może zatem różne ilości informacji, mieszczące się w przedziale pomiędzy minimalną wartością informacji (chaotyczny, losowy rozkład punktów) a wartością maksymalną (punkty ułożone w sposób ekstremalnie uporządkowany).

Jeżeli natomiast zamiast kartki papieru wzięlibyśmy pojedynczy punkt, to istnieje dla niego tylko jeden sposób "ułożenia", jeden stan, jaki ten punkt może przybierać. Minimalna ilość informacji dla pojedynczego punktu jest zarazem wartością maksymalną, przy czym obie równają się zero, o ile ilość informacji da się tu jeszcze sensownie zdefiniować. Otóż, o ile kartkę papieru z tysiącem punktów moglibyśmy przyrównać do Wszechświata, to nicość odpowiadałaby pojedynczemu punktowi (należy jednak zaznaczyć, że na skutek istnienia grawitacji, we Wszechświecie najmniej informacji posiada nie zespół mas rozrzuconych chaotycznie w przestrzeni, lecz masy skupione możliwie w jednym miejscu). Wszechświat od nicości, tak jak kartka z tysiącem punktów od pojedynczego punktu, różni się ilością informacji, i to zarówno aktualnie posiadanej, jak też maksymalnej (największej potencjalnie możliwej). Dzieje się tak, ponieważ na kartce (we Wszechświecie) istnieją dwa odmienne "rodzaje bytów", a mianowicie białe tło i czarne punkty (przestrzeń i materia) i wobec tego możliwe są różne kombinacje ich wzajemnego ułożenia. Natomiast w przypadku pojedynczego punktu (nicości) możemy mówić, w zależności od przyjętej konwencji, już to o jednym tylko "bycie", już to o żadnych bytach w ogóle. Istnienie informacji we Wszechświecie wydaje się zatem nierozłącznie związane z jego zróżnicowaniem na różnego typu obiekty. Skąd się jednak owe różnice biorą i na czym polega ich istota, pozostaje w dalszym ciągu tajemnicą.

Podsumowując, powstanie Wszechświata było w pewnej mierze tożsame z powstaniem informacji dotyczącej wzajemnego rozłożenia energii dodatniej oraz energii ujemnej, czyli materii i przestrzeni. Słowo nie stało się Ciałem - skoro Wszechświat istnieje przede wszystkim jako informacja, nie zaś energia (w tym materia), to do dziś jest on przede wszystkim Słowem. Tok rozumowania przeprowadzony w niniejszym rozdziale zrekapitulowany został skrótowo w Tabeli 1.

Tab. 1. Podsumowanie rozważań dotyczących istoty istnienia Wszechświata.

**Co właściwie powstało wraz z początkiem Wszechświata w Wielkim Wybuchu?**

nicość	→	Wszechświat
nie ma <u>nic</u>		istnieje: <u>przestrzeń</u> , <u>materia</u> , <u>energia</u> , <u>oddziaływania</u>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     równoważność materii i energii  <math>E = mc^2</math>                      materia = <u>dodatnia energia</u> </div>
		+
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     najważniejsze oddziaływanie                      w skali Wszechświata:  <u>grawitacja</u>  <math>grawitacja = \text{ujemna energia}</math> </div>
		odsunięcie od siebie mas w <u>przestrzeni</u> ↓ potencjalna energia grawitacji
		<u>suma:</u> dodatnia energia = ujemna energia materii                      grawitacji <b>ENERGIA = 0</b> całkowita energia Wszechświata jest zerowa
		<b>ENERGIA = 0</b>
		<u>powstanie Wszechświata:</u>
		♥ rozwarstwienie "nicości" na dodatnią energię (materię) i ujemną energię (przestrzeń = odsunięcie ciał w polu grawitacyjnym). ♠ pojawienie się INFORMACJI o rozdzieleniu energii dodatniej i ujemnej

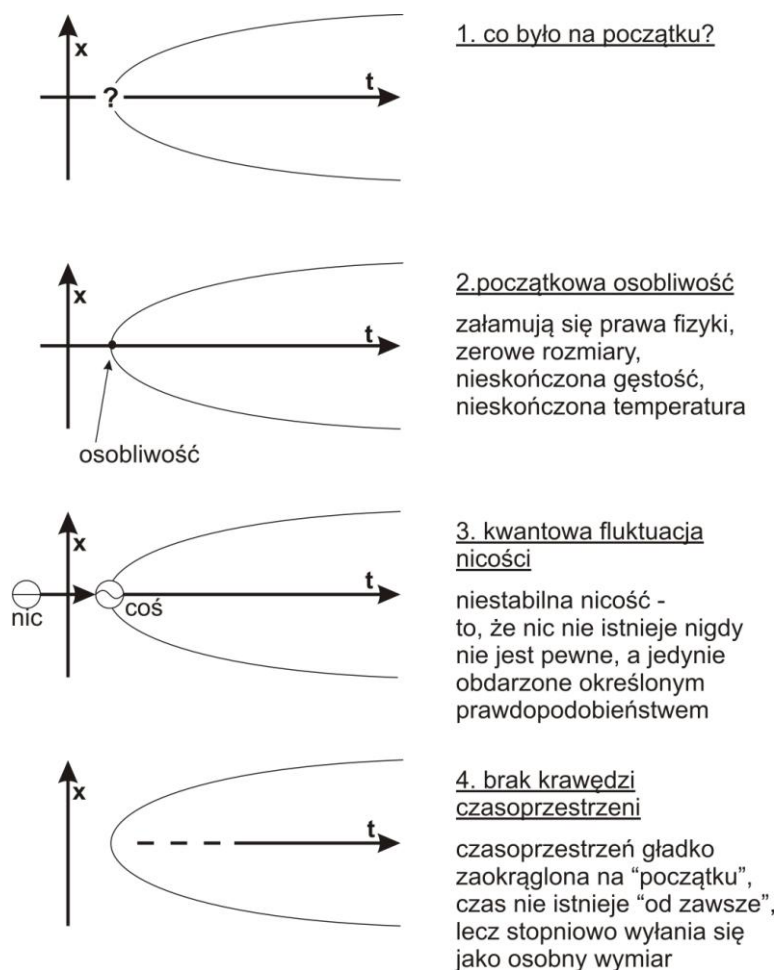
Na zakończenie chciałbym jeszcze raz uwypuklić fakt, że istnienie Wszechświata polega na "rozwarstwieniu nicości" na dwa przeciwstawne byty, znaki, "sensy". Przestrzeń posiada bowiem jakiegokolwiek "znaczenie" tylko w odniesieniu do materii i odwrotnie. Sens, istota materii i przestrzeni współdefiniują się więc niejako na drodze konotacji. Ma to bardzo istotne znaczenie ponieważ, jak zobaczymy w drugiej i trzeciej części niniejszej książki, w podobny sposób pojawiają się "sensy" na poziomie biologicznym i psychicznym. U organizmów żywych, które funkcjonalnie stanowią pewien zespół mechanizmów regulacyjnych zapewniających przeżycie i pozostawienie potomstwa, jedne mechanizmy regulacyjne mają "sens", "cel", "znaczenie" tylko w odniesieniu do pozostałych. Także znaczenie pojęć w obrębie sieci pojęciowej, stanowiącej "substancję" psychiki, odbywa się na zasadzie konotacji, a więc współdefiniowania jednych pojęć przez inne lub też, wedle równoważnej terminologii, poprzez rozwarstwienie się przeciwstawnych znaczeń na osiach znaczeniowych. Ta zadziwiająca paralelność istoty poziomu fizycznego, biologicznego i psychicznego, choć w dużym stopniu pozostaje zagadką, wydaje się być przejawem jakiegoś ogromnie istotnej i podstawowej cechy rzeczywistego świata.

Drugą elementarną cechą wyłaniania się poziomu biologicznego z poziomu fizycznego oraz poziomu psychicznego z poziomu biologicznego jest, jak to zostanie szczegółowo omówione dalej, samonakierowanie się pewnego układu na samego siebie. Jeżeliby tę analogię przenieść na wyłanianie się poziomu fizycznego z nicości, owo samonakierowanie się mogłoby oznaczać rekurencyjność (odwoływanie się do samej siebie) pewnej funkcji arytmetycznej "generującej" Wszechświat (porównaj funkcję generującą zbiór Mandelbrota). Chociaż na obecnym poziomie wiedzy przypuszczenie to należy uznać za czystą spekulację, może ono stanowić wskazówkę, gdzie należy szukać "teorii wszystkiego", zdolnej wyjaśnić (najlepiej: wygenerować) wszystkie podstawowe właściwości Wszechświata (np. masy cząstek elementarnych) na poziomie fizycznym.

#### 1.2.5. *Jak to się wszystko zaczęło?*

W poprzednim rozdziale dyskutowałem problem, co właściwie powstało wraz z pojawieniem się Wszechświata. Teraz spróbuję przeanalizować kwestię, jak doszło do tego, że nasze Universum miało początek, oraz czy pojęciu "początku" w ogóle można przypisać jakikolwiek dobrze zdefiniowany sens. Pytanie o początek Wszechświata przedstawia symbolicznie schemat 1 na rycinie 1.2. Na osi poziomej odłożono tam upływ czasu ( $t$ ), na pionowej zaś - jeden z trzech wymiarów przestrzennych ( $x$ ). Widzimy, że z czasem rozmiary Wszechświata w wymiarze  $x$  (a także oczywiście w pozostałych dwóch wymiarach przestrzennych:  $y$  i  $z$ ) ulegają zwiększeniu, przy czym szybkość ekspansji Wszechświata, z początku znaczna, potem powoli spada. Nie wiemy natomiast od czego właściwie się ta ekspansja rozpoczęła, co przedstawiono symbolicznie jako znak zapytania w miejscu, które skłonni byłibyśmy określić jako początek.





Ryc. 1. 2. Graficzne przedstawienie pytania "jak powstał Wszechświat" oraz trzech propozycji odpowiedzi na to pytanie.

Jak pamiętamy, fakt rozszerzania się Wszechświata doprowadził nas do wniosku, że około 14 miliardów lat temu Wszechświat był bardzo mały. Jeżeli do opisu ogólnej geometrii całego Wszechświata użyć ogólnej teorii względności Einsteina (formułującej siłę grawitacji w kategoriach zakrzywienia przestrzeni), najlepszej znanej nam teorii fizycznej dotyczącej zjawisk na poziomie makroskopowym ciał niebieskich (a cóż jest bardziej makroskopowego, niż cały Wszechświat?!), to okazuje się, iż cofając się w czasie dochodzimy do tzw. początkowej osobliwości, to znaczy stanu o zerowych rozmiarach oraz nieskończonej temperaturze i gęstości. Podobne osobliwości istnieją obecnie w centrum czarnych dziur, a jeżeli Wszechświat jest zakrzywiony dodatnio, to po fazie zapadania się skończy on swoje istnienie także w stadium osobliwości, tzw. osobliwości końcowej. W osobliwościach załamują się oczywiście wszelkie znane nam prawa fizyki. Ewolucję Wszechświata od etapu początkowej osobliwości opisuje tak zwany standardowy model kosmologiczny, oparty właśnie na ogólnej teorii względności. Schematycznie zostało to przedstawione na schemacie 2 na rycinie 1.2, gdzie Wszechświat rozpoczyna rozszerzanie się od pojedynczego punktu o zerowych rozmiarach.

Ze względu na występujące w nich nieskończoności, osobliwości stanowią wielce niepożądany element wszelkich scenariuszy kosmologicznych i dlatego naukowcy dążą do ich wyeliminowania. Pojawiają się ciągle nowe propozycje do tego zmierzające. Jedną z nich, najbardziej jeszcze mieszczącą się w ramach ogólnej teorii względności, stanowi wspomniana wcześniej koncepcja inflacji. Dowiedziano bowiem, że osobliwość początkowa musi się pojawić na początku Wszechświata, o ile siła grawitacji zawsze była przyciągająca. Natomiast scenariusz inflacyjny postuluje, jak pamiętamy, iż "fałszywa" próżnia w pierwszych ułamkach sekund istnienia Wszechświata wywierała ujemne ciśnienie grawitacyjne (czyli po prostu działała odpychająco). Przed fazą inflacyjną Wszechświat mógł się rozszerzać bardzo powoli; cofając się w czasie do minus nieskończoności stwierdzilibyśmy, że jego rozmiary dążą asymptotycznie do zera, nigdy go jednak nie osiągając.

Bardziej radykalne wydają się koncepcje zmierzające w kierunku tzw. teorii kwantowej grawitacji. Co ciekawe, teoria ta jeszcze nie istnieje, natomiast powszechnie antycypuje się jej skonstruowanie w przyszłości jako bardzo prawdopodobne. Miałaby ona powstać jako "uzgodnienie" ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej. Te dwie największe teorie współczesnej fizyki, z których pierwsza opisuje wielkoskalowe właściwości Wszechświata, druga natomiast zajmuje się prawami rządzącymi mikroświatem na poziomie atomowym i subatomowym, posiadają jeden istotny niedostatek: obie jednocześnie nie mogą być słuszne. Są po prostu ze sobą sprzeczne. Każda z nich doskonale opisuje pewien aspekt rzeczywistości, natomiast języka jednej nie da się przełożyć na język drugiej. Aby je uzgodnić, to znaczy uczynić z nich jedną spójną teorię, któraś z nich, a najprawdopodobniej obie, będą musiały być zmodyfikowane. Takiej jednolitej, zunifikowanej teorii nadano, niejako na wyrost (ponieważ jeszcze jej nie ma), nazwę teorii kwantowej grawitacji.

Potrzebę takiej teorii dla opisu najwcześniejszych etapów ewolucji Wszechświata łatwo zrozumieć, kiedy uświadomimy sobie, że na początku Wszechświat był tak mały i gęsty, iż jego opis jako całości (domena ogólnej teorii względności) był jednocześnie opisem na poziomie subatomowym (obszar stosowalności mechaniki kwantowej) - cały obserwowalny Wszechświat (obszar, z którego zdążyło do nas dotrzeć światło od chwili Wielkiego Wybuchu) posiadał w pewnym momencie rozmiary mniejsze od atomu! Mimo, iż nie udało się jeszcze stworzyć teorii kwantowej grawitacji, naukowcy sądzą, iż mogą przewidzieć pewne cechy, jakie ta teoria powinna posiadać i na tej podstawie próbują odpowiedzieć na pytania dotyczące początku Wszechświata. W szczególności, rozciągają oni na cały wczesny Wszechświat zasadę nieoznaczoności kwantowej.

Wedle mechaniki kwantowej w pewnych, bardzo małych skalach odległości (charakteryzowanych przy pomocy tzw. stałej Plancka), nie można określić jednocześnie wartości pewnych wielkości fizycznych dotyczących cząstek, na przykład ich położenia w przestrzeni oraz pędu (prędkości pomnożonej przez masę). Właściwość tę nazywamy zasadą nieoznaczoności Heisenberga. Zgodnie z nią, mechanika kwantowa podaje jedynie prawdopodobieństwa pewnych stanów, jak na przykład znalezienia cząstki w danym punkcie przestrzeni, posiadanie przez nią określonej energii itd.. W przedziale nieoznaczoności (tzn. w skalach odległości badanych przez mechanikę kwantową) nawet próżnia (zwana tutaj próżnią kwantową) zachowuje się w sposób

bardzo dziwny, o czym wspominałem wcześniej. Powstają w niej ciągle w wyniku spontanicznej kreacji pary cząstka - antycząstka, by zaraz potem ponownie zniknąć w procesie anihilacji (tzw. cząstki wirtualne). Także energia oraz stopień zakrzywienia przestrzeni w próżni kwantowej nie są określone z nieskończoną dokładnością - ich wartości podlegają nieustannym fluktuacjom. Dlatego próżnia kwantowa wygląda w pewnym sensie jak powierzchnia gotującej się wody.

Nieoznaczoność kwantowa ilustruje nam na przykładzie cząstek wirtualnych jedną bardzo ważną rzecz. Nigdy nie można powiedzieć z całą pewnością, że w danym miejscu przestrzeni nic nie ma. Nieprzewidywalne fluktuacje próżni kwantowej powodują, że stwierdzenie takie może być obdarzone pewnym, niekiedy bardzo wysokim prawdopodobieństwem, które jednak nigdy nie jest dokładnie równe jedności. Mechanika kwantowa z zasady nie jest w stanie opisywać świata w sposób deterministyczny. Tzw. funkcja falowa może jedynie określić prawdopodobieństwo, że po stanie  $S_0$  w chwili czasowej  $t_0$  nastąpi stan  $S_1$  w jakiejś następnej chwili czasowej  $t_1$ . Podaje ona, na przykład, że w takich to a takich warunkach, jeżeli w obecnej chwili szansa znalezienia elektronu w danym punkcie (obszarze) wynosi 51 %, to za jedną miliardową sekundy będzie ona wynosiła 73 %.

Otóż, we współczesnych "przymiarkach" do teorii kwantowej grawitacji podjęto próby skonstruowania tzw. funkcji falowej Wszechświata, określającej jakie jest prawdopodobieństwo, że Wszechświat w danej chwili będzie w stanie  $S_1$ , jeżeli przed chwilą znajdował się w stanie  $S_0$ . Właściwości takiej prowizorycznej funkcji falowej Wszechświata okazały się nader ciekawe. Wynika z niej, że jeżeli za  $S_0$  podstawimy "zero", albo "nicość", to istnieje niezerowe prawdopodobieństwo, że w następnym momencie z tej nicości wyłoni się "coś", a mianowicie przestrzeń i materia! Tego rodzaju scenariusz można by nazwać kwantową fluktuacją nicości. "Nicość", jako stan fizyczny, jest zatem niestabilna i w końcu nieuniknione staje się powstanie z niej Wszechświata. W tym sensie nicość okazuje się stanem zakazany fizycznie, którego istnienie nie jest możliwe, a nawet niedopuszczalne logicznie jako wewnętrznie sprzeczne. Musi zatem istnieć "coś", a tym czymś okazuje się Wszechświat. Dlaczego akurat właśnie znany nam Wszechświat, posiadający ściśle określone właściwości, a nie twór zupełnie odmienny? Nie wiemy. Być może odpowiedź na to pytanie leży ponownie w głębszym, nie znanym nam jeszcze poziomie rzeczywistości. Schemat 3 na rycinie 1.2 prezentuje schematycznie koncepcję wyłonienia się Wszechświata jako kwantowej fluktuacji nicości.

W sprawie wyjaśnienia problemu początku Wszechświata najdalej chyba idzie radykalna propozycja Hawkinga i Hartle'a, znana jako koncepcja braku krawędzi (brzegu) czasoprzestrzeni. W istocie swej, koncepcja ta w ogóle zaprzecza sensowności pojęcia "początek" w jego normalnym znaczeniu. Postulat braku brzegu czasoprzestrzeni oznacza, że czterowymiarowa czasoprzestrzeń zagina się gładko w okolicy swego początku, podobnie jak powierzchnia Ziemi w sąsiedztwie bieguna północnego. Nie ma tam zatem żadnych punktów wyróżnionych w rodzaju początkowej osobliwości modelu standardowego. Owe ciągle (gładkie) zagięcie czasoprzestrzeni odbywa się w ten sposób, że w okolicach "początku" czas jako taki nie istnieje, posiadając charakter dodatkowego wymiaru przestrzennego, nieodróżnialnego od trzech pozostałych. Czas "wyłania się" (odpowiadający czasowi wymiar nabiera właściwego mu charakteru) dopiero w pewnej odległości od zaokrąglonego "czubka",

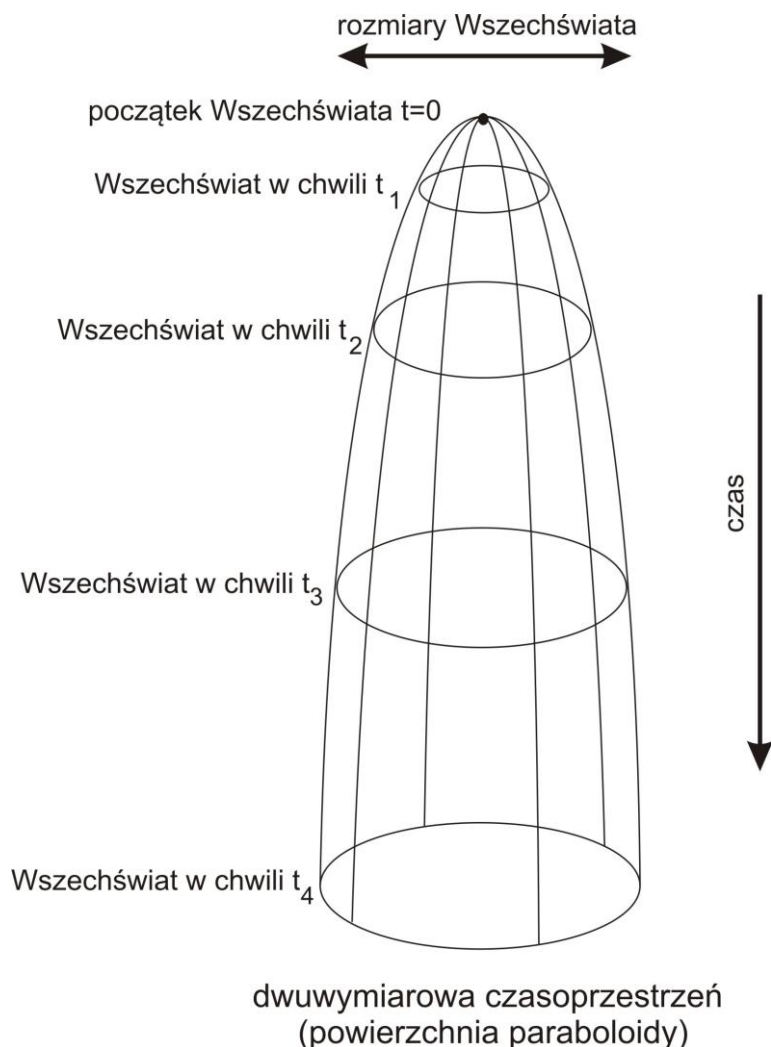
"wierzchołka" czasoprzestrzeni, przy czym "przemiana" ta odbywa się w sposób ciągły (schemat 4 na rycinie 1.2). Spróbujmy przyjrzeć się koncepcji braku krawędzi czasoprzestrzeni nieco bliżej.

Tradycyjnie czas uważany jest za wymiar zasadniczo różny od wymiarów przestrzennych. Jego upływ odbywa się w jednym tylko kierunku (tak zwana strzałka czasu), podczas gdy przestrzeń nie posiada żadnych wyróżnionych kierunków. Inną, bardziej już matematyczną różnicą (a zatem odleglejszą od intuicyjnego oglądu) jest fakt, że obliczając odległości w czasoprzestrzeni, inaczej uwzględnia się dystanse w przestrzeni, inaczej zaś w czasie. Czas stanowi niejako parametr służący do opisu zmian zachodzących w przestrzeni.

Jeżeli tradycyjną koncepcję czasu odniesiemy do ewolucji Wszechświata, to okazuje się, że wzrost rozmiarów Wszechświata ("wypełniającej" go przestrzeni) zachodzi właśnie w czasie, tak jak to pokazano poglądowo na rycinie 1.3. Zamknięty Wszechświat w kolejnych chwilach czasowych jest tu reprezentowany przez jednowymiarowe okręgi. Ich ciąg tworzy powierzchnię figury zwanej paraboloidą, która odpowiada tu zakrzywionej czasoprzestrzeni. W miarę rozszerzania się przestrzeni obwód (i średnica) tych okręgów oczywiście rośnie. Nic przy tym nie wzbrania cofnąć się w czasie do samego początku Wszechświata, kiedy to rozmiary tego ostatniego były zerowe, a więc okrąg został ściągnięty do punktu. W zasadzie, można pójść nawet dalej i śledzić upływ czasu (cokolwiek by to miało znaczyć) przed początkiem Wszechświata, aż do minus nieskończoności. Wynika to stąd, że czas traktowany jako coś w pewnym sensie zewnętrznego w stosunku do naszej paraboloidy - zawsze biegnie on (wedle konwencji zastosowanej na rycinie 1.3) pionowo z góry na dół, w przeciwieństwie do położonych poziomo okręgów "przestrzennych". Nakreślony wyżej stan rzeczy prowadzi do rozlicznych paradoksów logicznych, w ich liczbie tych rozważanych przez Kanta (filozof ten dowodził, że czas ani nie mógł mieć "początku", ani też upływać "wiecznie").

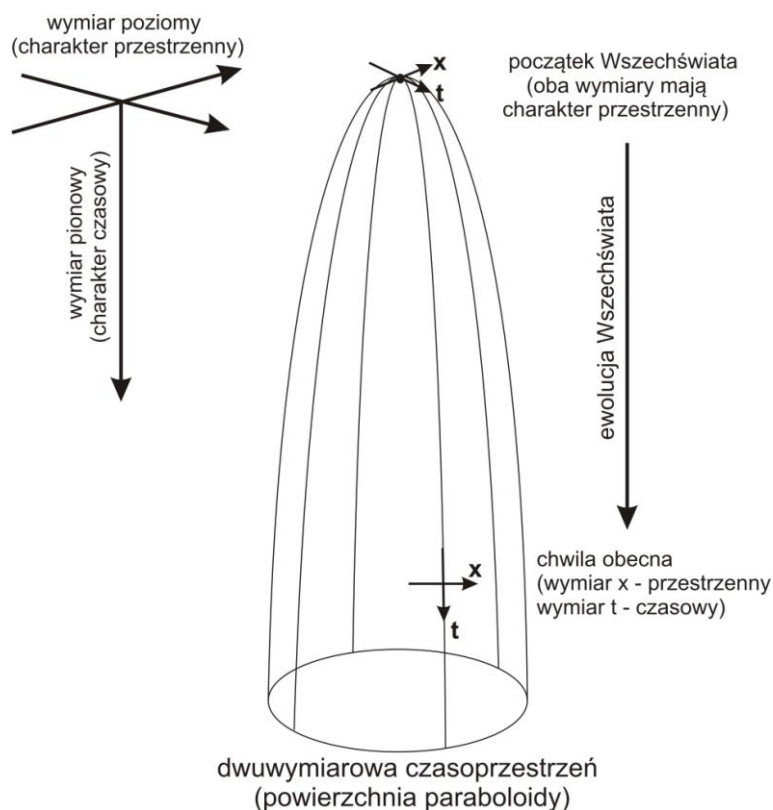
Spójrzmy jednak, co się stanie, kiedy czas uczynimy immamentną częścią paraboloidy. Załóżmy, że powierzchnia tej ostatniej (z definicji dwuwymiarowa) "zawiera" dwa prostopadłe do siebie wymiary:  $x$  i  $t$ , jak to ilustruje Rycina 1.4. Nie zakładamy z góry, który z nich jest przestrzenny, a który czasowy. Zamiast tego zdefiniujemy wymiar poziomy jako wymiar o charakterze przestrzennym, natomiast wymiar pionowy będziemy określać mianem wymiaru czasowego. Wymiar ukośny będzie posiadał cechy pośrednie pomiędzy wymiarem przestrzennym i czasowym. Zgodnie z tym nowym punktem widzenia, posuwając się od czubka paraboloidy w dół, obserwujemy nie upływ czasu, a jedynie coś, co bardziej ogólnie możemy nazwać ewolucją Wszechświata.

Na samym czubku, który możemy utożsamić z "początkiem" Wszechświata, powierzchnia paraboloidy jest dokładnie pozioma. A zatem, zgodnie z podaną definicją, zarówno wymiar  $x$ , jak i  $t$ , mają tam charakter przestrzenny. Na samym "początku" nie zachodzi zatem w ogóle upływ czasu! Jeżeli poruszamy się w dół paraboloidy wzdłuż jej "południka", to wymiar  $t$  staje się stopniowo pionowy, nabierając charakteru czasowego, podczas gdy wymiar  $x$  w dalszym ciągu pozostaje wymiarem przestrzennym, zachowując swą "poziomość". W dostatecznej odległości od czubka  $t$  jest wymiarem zdecydowanie czasowym, odmiennym od przestrzennego wymiaru  $x$  (oraz "bliźniaczych" wymiarów  $y$  oraz  $z$ ). Z taką sytuacją mamy do czynienia w chwili obecnej.



Ryc. 1. 3. Ewolucja Wszechświata w czasie niezależnym w stosunku do niego, upływającym "wiecznie". Wszechświat rozpoczyna się od punktu w pewnym momencie czasu  $t=0$  i kontynuuje swą ewolucję jako rozszerzający się obiekt jednowymiarowy zakrzywiony dodatnio - okrąg. Dwa pozostałe wymiary przestrzenne zostały pominięte.

W koncepcji braku brzegu czasoprzestrzeni nie można się cofnąć w czasie poza "początek", odpowiadający w użytej analogii czubkowi paraboloidy. Co więcej, im bliżej tego "początku", tym bardziej czas przestaje być czasem, stając się zamiast tego przestrzenią (jej dodatkowym wymiarem). Mówiąc w uproszczeniu, im bliżej "początku", tym upływ czasu staje się wolniejszy, aby na czubku ustać zupełnie! Ponieważ na "początku" w ogóle nie było czasu, pojęcie początku całkowicie traci swój tradycyjny sens, zaczynając jedynie odnosić się do pewnego, niczym szczególnym nie wyróżniającego się punktu gładko zakrzywionej czasoprzestrzeni. Rzecz ma się tu podobnie, jak z biegunem północnym kuli ziemskiej - miejsce to niczym specjalnym nie różni się od innych miejsc na powierzchni naszej planety, a przypisywana mu szczególna ranga bierze się raczej z naszego sposobu opisu rzeczywistości, niż z samej tej rzeczywistości.



Ryc. 1. 4. Ewolucja Wszechświata, w którym czas stanowi jego integralną część i "rozpoczyna" się wraz z nim. Czasoprzestrzeń nie posiada "brzegu" w postaci osobliwości początkowej, a oba przedstawione wymiary ( $t$  i  $x$ ) mają na (łagodnie zaokrąglonym) "początku" charakter przestrzenny, ponieważ oba są "poziome". Im dalej od początku, tym bardziej jeden z wymiarów,  $t$ , staje się "pionowy" i przez to nabiera charakteru czasowego, podczas gdy wymiar  $x$  (a także nie pokazane wymiary  $y$  oraz  $z$ ) pozostaje przestrzenny ("poziomy").

Pozbawioną brzegu czasoprzestrzeń, w której czas, mający pierwotnie charakter wymiaru przestrzennego, wyłania się dopiero w pewnej odległości od umownego początku, możemy sobie wyobrazić jako pewien całościowy twór, który po prostu istnieje i jest wszystkim, co istnieje. Wszechświat taki, bo o nim to przecież mówimy, nie jest zawieszony w przestrzeni, gdyż sam obejmuje całą przestrzeń, ani też nie istnieje w czasie, skoro czas także zawiera w sobie. Jego "evolucja" byłaby sprawą pozorną i oznaczała po prostu poruszanie się w dół od czubka paraboloidy. Ewolucja ta byłaby równoważna ze zmianami przestrzeni (oraz także materii, energii itd.) w czasie, za wyjątkiem okolic samego początku, gdzie czas nie jest dostatecznie dobrze zdefiniowany.

Problemy z intuicyjnym ogarnięciem tych "egzotycznych" właściwości Wszechświata, tak obcych naszemu zdrowemu rozsądkowi, biorą się z biologicznej genezy mózgu człowieka. Logika naszego umysłu, najbardziej podstawowe kategorie ludzkiego aparatu poznawczego powstałe w procesie ewolucji biologicznej, ukształtowały się w świecie, w którym ma miejsce jednoznacznie określony upływ czasu. Im dalej odchodzimy od naszego potocznego doświadczenia, czy to w kierunku subatomowego świata mechaniki kwantowej, czy też wielkoskalowych krzywizn czasoprzestrzeni opisywanych przez ogólną teorię względności, tym mniej struktura "sieci pojęciowej" w naszym mózgu przystaje do struktury świata. Nic w tym dziwnego - ewolucja kształtowała nasz

mózg w celu sprawnego poruszania się w otaczającym świecie, a nie zgłębiania tajemnic Natury. Dlatego koncepcja czasu stającego się przestrzenią wydaje się nam tak obca i trudna do intuicyjnego ogarnięcia.

### 1.2.6. Dlaczego w ogóle istnieje materia?

Każda cząstka materialna, za wyjątkiem fotonu<sup>9</sup>, posiada swoją antycząstkę, o jednakowej masie lecz przeciwnych pewnych właściwościach, np. ładunku. Antycząstką ujemnie naładowanego elektronu jest pozyton, obdarzony ładunkiem elektrycznym o takiej samej wielkości, ale przeciwnym znaku (dodatnim). Podobnie, dodatnio naładowanemu protonowi odpowiada ujemnie naładowany antyproton<sup>10</sup>. Ogólnie rzecz biorąc, cząstki składają się na materię, podczas gdy antycząstki tworzą antimaterię.

Własności antimaterii są w zasadzie, pominiawszy wspomniane przed chwilą odwrócenie znaków ładunków elektrycznych u antycząstek, identyczne z właściwościami materii. Gdybyśmy na przykład atom wodoru, składający się z protonu i krążącego wokół niego elektronu, zamienili na "anty-atom", podstawiając antyproton za proton, zaś pozyton - za elektron, to właściwości nowo powstałego układu powinny być nieodróżnialne od układu pierwotnego. W dalszym ciągu bowiem cząstka elementarna o mniejszej masie i jakimś ładunku elektrycznym, obiegałaby cząstkę o większej masie i przeciwnym ładunku. Tego samego należałoby oczekiwać w przypadku całego Układu Słonecznego, łącznie z Ziemią i żyjącymi na niej ludźmi - zamiana materii na antimaterię powinna zostać niezauważalna.

Ta daleko posunięta symetria właściwości pomiędzy materią i antimaterią stoi w jaskrawej sprzeczności z faktem, że w zasadzie cały obserwowany Wszechświat zbudowany jest z materii, nie zaś z antimaterii (tę ostatnią można otrzymywać w niewielkich ilościach w ziemskich laboratoriach). Naturalne wydaje się oczekiwanie, że będą występować równe ilości materii i antimaterii, albo że cała materia anihiluje przy zetknięciu z antimaterią, a pusty Wszechświat zostanie wypełniony jedynie powstałym w wyniku tej reakcji promieniowaniem.

Aby zrozumieć ten pozorny paradoks, musimy ponownie cofnąć się do najwcześniejszych etapów ewolucji Wszechświata. Zgodnie z powiedzianym powyżej, w czasie pierwszych sekund swego istnienia był on bardzo mały, gęsty i gorący. Przestrzeń wypełniała wtedy wysoce skondensowana mieszanka materii (oraz antimaterii) i promieniowania, będących między sobą w równowadze termicznej. Oznacza to, że następowała bardzo szybka, obustronna przemiana promieniowania w materię i antimaterię oraz odwrotnie. Szybkość reakcji kreacji (syntezy) cząstek i antycząstek z promieniowania była przy tym dokładnie równa szybkości anihilacji cząstek i antycząstek, połączonej z emisją promieniowania, tak że ilość cząstek, antycząstek i promieniowania pozostawała niezmienna w czasie.

---

<sup>9</sup>Antycząstką fotonu jest po prostu foton.

<sup>10</sup> Ściślej rzecz biorąc, proton zbudowany jest z kwarków, a antyproton – z antykwarków.

Po kilkudziesięciu sekundach, na skutek rozszerzania się Wszechświata, gęstość i temperatura promieniowania, a zatem jego energia, stały się zbyt niskie, by pozwolić na efektywne wytwarzanie cząstek i antycząstek. Reakcja anihilacji zaczęła więc przeważać nad kreacją i po krótkim czasie cała antymateria zniknęła w połączeniu z materią, a związana z ich masą energia została uwolniona w postaci promieniowania.

Co się jednak stało z materią? W procesie kreacji z promieniowania wytwarzane są dokładnie równe ilości materii i antymaterii, obie powinny zatem ulec kompletnej anihilacji, a pusty Wszechświat być dziś wypełniony jedynie promieniowaniem. Co więc spowodowało, że istnieją galaktyki, gwiazdy, planety i my sami? Skąd wzięła się potrzebna na to materia?

Otóż okazuje się, że przyjęta wcześniej doskonała symetria materii i antymaterii jest jedynie pewnym przybliżeniem, chociaż przybliżeniem nadspodziewanie dobrym. Problem jednak w tym, iż nie jest to przybliżenie idealne. Właściwości materii i antymaterii różnią się mianowicie bardzo nieznacznie. Tak nieznacznie, że różnice te jest bardzo trudno zauważyć. One to jednak zadecydowały o zaistnieniu Wszechświata w znanej nam postaci.

Materia i antymateria nie tylko powstają (w równych ilościach) w procesie kreacji z promieniowania. Mogą one także przekształcać się jedna w drugą, przy czym w przemianie tej pośredniczą tzw. cząstki X. Sedno sprawy stanowi fakt, iż materia powstaje z antymaterii nieznacznie szybciej, niż antymateria z materii. Różnica ta jest tak znikoma, że w chwili, kiedy szybkość anihilacji zaczęła przewyższać szybkość kreacji, przewaga materii nad antymaterią wynosiła jedynie jedną część na dziesięć miliardów ( $10^{10}$ ). Proces anihilacji z antymaterią przeżyła zatem jedynie skrajnie mikroskopijna "nadwyżka" materii, taka mniej więcej, jaką stanowi milimetr na dziesięć tysięcy kilometrów (czyli jedną czwartą obwodu równika Ziemi). Z tej niewyobrażalnie małej nadwyżki powstało jednak potem wszystko, co obecnie istnieje pod postacią materii, a mianowicie galaktyki, gwiazdy i planety.

Chętnie skłonni bylibyśmy przypuszczać, że skoro właściwości materii i antymaterii są niemal identyczne, to właściwie dla czego nie miałyby być one dokładnie takie same. Jednakże, nasza intuicja, nasza potrzeba prostoty i estetyki zupełnie zawodzi w tym momencie. I całe szczęście. Istnienie bowiem wszelkiej materii we Wszechświecie zawdzięczamy właśnie owemu niewielkiemu, niezrozumiałemu "defektowi", niedoskonałości w idealnej symetrii pomiędzy materią i antymaterią. Nie znaczy to, że dalszy rozwój nauki nie wykaże, iż ta pozorna skaza w idealnej symetrii praw Wszechświata stanowi przejaw jakiejś głębszej logiki, w swej istocie bardziej konsekwentnej od logiki człowieka, uwarunkowanej strukturą połączeń komórek nerwowych w jego mózgu. Oczekiwanie na ową nową logikę oznacza zapewne czekanie na teorię Wielkiej Unifikacji, na przełom podobny do tego, jaki na początku naszego wieku stał się udziałem teorii względności i mechaniki kwantowej.

Innym, obok przypadku materia-antymateria, najbardziej chyba znanym problemem związanym z symetrią we Wszechświecie, jest kierunek upływu czasu. Każdy z nas doświadcza upływu czasu w codziennym doświadczeniu. Ludzie rodzą się, dorastają, starzeją, umierają, deszcze padają z góry na dół, ciepło płynie z miejsc o wyższej temperaturze do miejsc o niższej temperaturze, Wszechświat ulega ekspansji. W każdym z przytoczonych przypadków sekwencja zdarzeń jest



określona i nie może być odwrócona. Natychmiast rozpoznalibyśmy film puszczonej od końca. Widok stłuczonej filizanki, która samoistnie łączy się z kawałków w jedną całość i wlatuje z podłogi na stół raziłby nienaturalnością. O jednokierunkowym przebiegu czasu, czyli tzw. "strzałce czasu", upewnia nas zresztą najlepiej nasza introspekcja psychiczna, w której to przyszłość zawsze następuje po teraźniejszości, wyprzedzanej z kolei przez przeszłość.

Dziwnym może się wobec tego wydawać, że dwie największe teorie fizyczne, teoria względności i mechanika kwantowa, będące niekwestionowaną chlubą współczesnej nauki, po prostu ignorują fakt istnienia strzałki czasu! Występujące w nich równania matematyczne są symetryczne względem kierunku upływu czasu, "obojętne" na rozróżnienie pomiędzy przeszłością i przyszłością (pewien wyjątek stanowi tu wspomniana wcześniej redukcja funkcji falowej w mechanice kwantowej - dziwoląg pojęciowy, stanowiący raczej jaskrawy dowód naszej niewiedzy, niż odzwierciedlający faktyczny stan rzeczy). Oznacza to, że gdyby zatrzymać wszystkie cząsteczki we Wszechświecie i puścić je w przeciwną stronę z tą samą prędkością, to przebieg wszystkich zdarzeń zostałby idealnie odwrócony. Obserwowalibyśmy jabłka "spadające" z ziemi na gałąź, słyszeli grom wywołujący błyskawicę, a promienie świetlne wypadałyby z naszych oczu, odbijały od rozmaitych przedmiotów, by w końcu zostać pochłonięte przez Słońce.

Powyższa sprzeczność, zakrawająca na jawny absurd, korzenie swe czerpie z faktu, że zarówno teoria względności (wraz ze swoją poprzedniczką - dynamiką Newtona), jak i mechanika kwantowa, powstały w celu opisu pojedynczych obiektów, takich jak ciała niebieskie lub cząstki elementarne, względnie prostych układów złożonych z kilku zaledwie elementarnych obiektów. Jakoż istotnie, jeżeli rozważamy Ziemię krążącą wokół Słońca, albo też układ (atom wodoru) złożony z protonu i elektronu, to odwrócenie kierunku upływu czasu zupełnie nic by nie zmieniło. Ziemia obiegająca Słońce w przeciwną stronę nie byłaby czymś w jakiś sposób nienaturalnym.

Strzałka czasu pojawia się natomiast w termodynamice, teorii fizycznej opisującej przemiany różnych form energii (np. mechanicznej, elektrycznej, cieplnej) jedna w drugą. Słynne drugie prawo termodynamiki stwierdza, że entropia (stopień nieuporządkowania) w układzie izolowanym rośnie z czasem. Termodynamikę od teorii względności i mechaniki kwantowej różni przede wszystkim fakt, że zajmuje się ona nie pojedynczymi obiektami, lecz złożonymi układami zawierającymi miliardy (mówię to w przenośni - w rzeczywistości chodzi tu o znacznie większe liczby) elementów (np. atomów, cząsteczek chemicznych, cząstek elementarnych). Z oczywistych względów, termodynamika nie może analizować losów każdego z takich elementów. W zamian, reprezentuje ona podejście statystyczne, opisujące przeciętne zachowanie się elementów w układzie. Można na przykład obliczyć, że przy danej temperaturze średnia prędkość cząsteczek w gazie wynosi  $x$ , a procent cząsteczek o pewnej określonej prędkości wynosi  $y$ . Termodynamika stwierdza także, na przykład, że w układzie dwóch komór z gazem połączonych przewodem, gaz będzie przepływał z komory o większym ciśnieniu do komory o mniejszym ciśnieniu, bez względu na zachowanie się poszczególnych cząsteczek. To znaczy, teoretycznie można sobie wyobrazić taki układ prędkości i położenia cząsteczek, który spowodowałby zachowanie się odwrotne, ale prawdopodobieństwo powstania podobnego układu opiewa na liczbę tak astronomicznie małą, że w ogóle nie warto brać jej

pod uwagę. Zauważmy, że przepływ gazu "pod prąd" gradientu ciśnienia w czasie jest dokładnie tożsamy z "normalnym" przepływem gazu (z miejsca o większym ciśnieniu do miejsca o mniejszym ciśnieniu) "wstecz" w czasie, "pod prąd" strumienia jego upływu. Termodynamika twierdzi zatem ni mniej, ni więcej, tylko że zajście pewnych zjawisk (wyrównanie ciśnienia gazu w komorach połączonych przewodem) jest o wiele bardziej prawdopodobne zgodnie z kierunkiem upływu czasu, niż w kierunku przeciwnym. Pojawia się tu zatem dobrze określona strzałka czasu. Tego rodzaju efekty możliwe są dzięki podejściu statystycznemu, adekwatnemu w układach zawierających wiele elementów. To, w jaki sposób strzałka czasu wyłania się podczas przejścia od prostoty do złożoności, od pojedynczych elementów do ich skomplikowanych układów, stanowi niewątpliwie frapującą zagadkę współczesnej fizyki. Szerzej problemem tym zajmę się w następnym rozdziale, poświęconym ewolucji termodynamicznej.

Pewne światło na zagadnienie strzałki czasu może rzucić fakt, iż nawet czas znany nam z "dynamicznych" (w przeciwieństwie do "termodynamicznych") teorii, mechaniki kwantowej i teorii względności, nie jest, jak się przypuszcza, idealnie symetryczny. Oznacza to, iż nawet tak prosty system, jak atom wodoru, złożony z protonu i elektronu, zachowywałby się nieco inaczej po odwróceniu strzałki czasu. Co więcej, wszystko wskazuje na to, iż złamanie symetrii czasu jest ściśle powiązane ze złamaniem symetrii materia-antymateria. Udowodniono, że istnienie jednej asymetrii pociąga za sobą automatycznie istnienie drugiej. Związek ten jest na tyle głęboki, że antycząstki często traktuje się po prostu jako cząstki poruszające się "pod prąd" strumienia czasu!. Jak pamiętamy, złamanie symetrii materia-antymateria była odpowiedzialna za istnienie galaktyk, gwiazd i nas samych. Jak się okazuje, u podłoża zjawiska upływu czasu zdaje się leżeć ta sama przyczyna, która umożliwiła przetrwanie materii. Tego ostatniego wniosku nie należy jednakże przeceniać - związek pomiędzy termodynamiczną strzałką czasu a opisanym powyżej złamaniem symetrii praw dynamicznych nadal wydaje się całkowicie zagadkowy.

Żeby sytuacja była jeszcze ciekawsza, istnieje dodatkowo trzecia asymetria, ściśle związana z dwiema poprzednimi. Chodzi tu o złamanie symetrii "świat - jego lustrzane odbicie". Polega to po prostu na tym, że jeśliby zamienić we Wszechświecie prawą stronę z lewą, to jego właściwości uległyby zmianie. Ten, szokujący na pierwszy rzut oka wniosek, znalazł już eksperymentalne potwierdzenie w pewnych badaniach nad procesami rozpadu radioaktywnego - w jedną stronę było emitowanych nieco więcej cząstek, niż w przeciwną. Różnice pomiędzy naszym światem a jego (jak na razie istniejącym tylko w teorii) lustrzanym odbiciem nie byłyby może tak wielkie, jak to opisał Lewis Carroll w książce "Co Alicja zobaczyła po drugiej stronie zwierciadła" (druga część "Alicji w krainie czarów"), a już na pewno znacznie mniej malownicze. Trzeba jednak przyznać, że zniszczenie idei, którą skłonni bylibyśmy traktować jedynie jako fantazję przeznaczoną dla dzieci, nasuwa pytanie, czy istnieje w fizyce jakakolwiek granica wyznaczona przez tak zwany zdrowy rozsądek, której przekroczenie będzie po wsze czasy wzbronione.

Trzy zaprezentowane asymetrie (o dalszych nic nam nie wiadomo) stanowią pewną nierozdzieloną całość. Wyraża się to w ten sposób, że jeżeli albo zamienimy materię na antymaterię, albo prawą stronę świata na lewą, albo też odwrócimy kierunek czasu, to właściwości świata ulegną

zmianie. Jeżeli jednakże dokonamy wszystkich trzech operacji naraz, to otrzymamy świat, który niczym nie będzie się różnił od świata realnego! Połączenie wspomnianych asymetrii okazuje się zatem być, na głębszym niejako poziomie rzeczywistości, przejawem pewnej nadrzędnej symetrii.

Jako dalekiej analogii można użyć leżącego na płaszczyźnie trójkąta o trzech różnych bokach. Trójkątowi takiemu brak jakiegokolwiek symetrii. Dokonanie na nim jednej z trzech następujących operacji, a mianowicie odbicia lustrzanego w stosunku do osi pionowej, odbicia lustrzanego w stosunku do osi poziomej oraz obrotu wokół punktu przecięcia tych osi o 180 stopni, da w rezultacie inny (inaczej położony) trójkąt. Natomiast dokonanie wszystkich tych operacji naraz nic nie zmieni - trójkąt pozostanie dokładnie w tym miejscu, w którym się znajdował poprzednio (można to łatwo sprawdzić). O ile zatem każda operacja wzięta pojedynczo zmienia właściwości (położenie) trójkąta, to ich grupa nie wywiera żadnego efektu. Taką właśnie grupę operacji stanowią trzy przedstawione asymetrie Wszechświata.

Zarazem podsumowując i odpowiadając krótko na pytanie zawarte w tytule tego rozdziału, istnienie materii (oraz, w pewnym zagadkowym sensie - upływu czasu) możliwe jest ze względu na bardzo drobną "niedoskonałość" (w stosunku do naszych estetycznych oczekiwań) w trzech symetriach praw fizycznych. Bez tego "feleru" Wszechświat istniałby jako bezczasowy twór wypełniony jedynie promieniowaniem. Przy bliższym wejrzeniu, pozorna niedoskonałość okaże się jednak być może przejawem jakiejś wyższej doskonałości. Aby się o tym przekonać, trzeba poczekać na dalszy rozwój fizyki, a w szczególności na tęsknie oczekiwaną "Teorię Wszystkiego", o ile stworzenie takiej teorii jest w ogóle możliwe.

Treść niniejszego rozdziału została zwięźle streszczona w Tabeli 2.

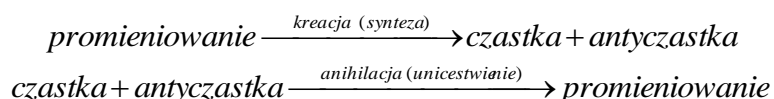
\* \* \*

Kosmologia prezentuje nam, co bardzo pobieżnie próbowałem pokazać w niniejszym rozdziale, niezmiernie fascynujący obraz Wszechświata jako całości, a w szczególności jego powstania i ewolucji. Jednocześnie, obraz ten wydaje się bardzo niepełny. W dalszym ciągu nie wiemy, jak Wszechświat powstał, dokąd zmierza jego dalszy rozwój, ani też czego właściwie istnienie mamy na myśli, mówiąc o istnieniu Wszechświata. Od wieków przeciwstawiano materialną, konkretną, namacalną istotę "obiektywnego" świata zewnętrznego - ulotnej, subiektywnej i niekonkretnej "substancji duchowej". Przyzwyczajono nas, że o ile człowieka zwodzić mogą wybujałe wytwory wyobraźni i oderwanej od rzeczywistości spekulacji, to zawsze pozostanie niewzruszona opoka rozumu i poznania w postaci otaczającego nas świata materialnego. Teraz okazuje się, że istota materii (a także energii, przestrzeni, czasu itd.) jest równie zwiewna, ulotna i tajemnicza, jak istota naszej psychiki.

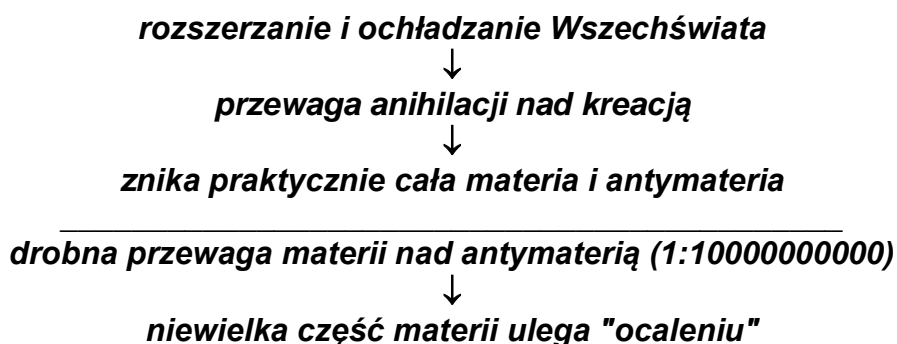
Tab. 2. Podsumowanie rozważań dotyczących przyczyn istnienia materii i upływu czasu.

## Dlaczego istnieje materia?

Wczesny, gorący Wszechświat → dwie przeciwstawne reakcje zachodziły z jednakową szybkością:



Materia i antymateria powstawały w tej samej ilości. Dalsza ewolucja:



**Przyczyna:** nieznaczna różnica we właściwościach materii i antymaterii (antymateria nieco szybciej przekształca się w materię, niż odwrotnie)

♣ **Istnienie materii:** konsekwencja złamania trzech powiązanych ze sobą symetrii praw fizycznych.

**1. asymetria materia - antymateria:** zamiana wszystkich cząstek na ich antycząstki nieznacznie zmienia właściwości układu.

**2. asymetria przestrzeń - jej lustrzane odbicie:** zamiana w świecie prawej strony z lewą spowoduje zmianę jego właściwości.

**3. asymetria czasu:** odwrócenie biegu (strzałki) czasu zmienia nieznacznie właściwości cząstek.

♠ **Istnienie galaktyk, gwiazd, planet i nas samych** zawdzięczamy drobnemu "defektowi" w doskonałej symetrii naszego *Universum*.

Właściwie nie ma w tym nic dziwnego. Nie jest nam przecież dany (mimo iż często miewamy takie subiektywne odczucie) świat zewnętrzny "sam w sobie", w swej immanentnej istocie, a jedynie pewne zespoły pojęć, stanowiące odzwierciedlenie, reprezentację niektórych aspektów tego świata w naszej psychice. To więc, co nazywamy materią, czasem i przestrzenią w fizyce, ma niewątpliwie w dużym stopniu, jako przynależące do trzeciego świata Poppera, naturę zbiorowego konstruktum umysłów ludzkich, a więc pojęciową. To, co różni powyższe pojęcia od całkowicie dowolnych wytworów fantazji lub też, będącej wielką zbiorową "fantazją" - kultury, to pewna korespondencja ustanowiona za pośrednictwem doświadczenia potocznego oraz (w szczególności) metodologii nauk ścisłych i przyrodniczych pomiędzy "strukturą semantyczną" tych pojęć, a "rzeczywistą strukturą" fenomenów świata zewnętrznego. Owa "przystawalność" pomiędzy "siecią pojęciową" i "rzeczami samymi w sobie" nie może przy tym z zasady być idealna. Ogranicza ją struktura sieci neuronalnej w ludzkim mózgu, odziedziczona po ewolucji biologicznej (temat ten poruszam szerzej we wspomnianej wcześniej książce "Absolut - odniesienie urojone"). Nie jesteśmy zatem "uniwersalnymi maszynami poznawczymi" o nieograniczonych możliwościach, jak to przez wieki skłonnych było sądzić (*explicite* lub *implicite*) wielu naukowców i filozofów.

Wiedza naukowa nie jest całkowicie autonomiczna i nie powstaje *de novo*. Tworzy się ona w oparciu o wiedzę już posiadaną, w pierwszym rzędzie zdobytą w doświadczeniu potocznym. Nie mamy jednak gwarancji, że nasz system pojęć, ukształtowany podczas zajęć dnia codziennego, takich jak liczenie jabłek, mierzenie odległości taśmą mierniczą lub upływu czasu przy pomocy zegarka, okaże się adekwatny do opisu cząstek elementarnych lub Wszechświata jako całości. Im dalej odchodzimy od naszego potocznego doświadczenia w kierunku małych lub wielkich skal odległości, wysokich gęstości i temperatur, tym bardziej egzotyczne wydają nam się prawa fizyki obowiązujące w tych "rejonach" rzeczywistości. Zauważmy, że nawet tak podstawowe pojęcie dla naszego poznania, jak przestrzeń, czas, materia i przyczynowość, niekoniecznie są całkowicie rodem wprost ze świata zewnętrznego. Stanowią one bowiem także pochodną pewnego konkretnego sposobu integracji, porządkowania bodźców zmysłowych przez ludzki mózg, ukształtowany w procesie ewolucji biologicznej raczej do polowania na mamuty, niż w celu rozwijania nauki czy filozofii.

Mimo wszystko ufamy, że stopniowo oka naszej "sieci pojęciowej" coraz lepiej przylegają do struktur świata, tak jak sieć pajęczna może coraz dokładniej oplatać kamienną rzeźbę. Piękno nauki także na tym się zasadza, że prawdopodobnie nigdy nie będziemy mogli liczyć na całkowite poznanie wszystkich aspektów świata, a więc że pająk zawsze będzie miał coś do roboty.

Różne teorie fizyczne dotyczące różnych aspektów Wszechświata to jakby różne rzuty na płaszczyznę pewnej bryły przestrzennej. Na przykład, obraz pionowo stojącego jajka na pionowej płaszczyźnie reprezentuje (jajowatą) elipsę, natomiast jego rzut na płaszczyznę poziomą to po prostu koło. Obrazy bardziej złożonych brył, "zanurzonych" w przestrzeniach o więcej, niż trzech wymiarach, mogą być daleko bardziej różnorodne.

W przypadku nauki złożonej z poszczególnych teorii naukowych, próbujemy odtworzyć obraz całej bryły (świata) dysponując tylko kilkom rzutami, z których część jest jedynie pobieżnie

naszkiowana. Z czasem tworzymy nowe rzuty (obrazy), ulepszamy już istniejące lub odkrywamy, że to, co dotychczas uważaliśmy za odrębne elementy, stanowi kawałki jednego większego, spójnego obrazu. Docelowo chcielibyśmy uzgodnić, zunifikować wszystkie obrazy-teorie w jedną całość i w ten sposób uzyskać wgląd w istotę opisywanej bryły-świata. Może się to okazać niemożliwe albo ze względu na nieskończone skomplikowanie świata, albo na ograniczenia naszego aparatu poznawczego. Czy ma to oznaczać pesymizm poznawczy? Chyba nie. W ostatecznej instancji, to nie cel jest najważniejszy, ale prowadząca do niego droga.

Więcej o uwarunkowaniach i ograniczeniach naszego poznania (w tym naukowego) podstawową strukturą (będącą wynikiem ewolucji biologicznej) znaczeń w naszym mózgu powiem w trzeciej części niniejszej książki, poświęconej ewolucji sieci pojęciowej.

### 1.3. EWOLUCJA TERMODYNAMICZNA

#### 1.3.1. *Istota ewolucji termodynamicznej*

Takie terminy jak entropia, stopień uporządkowania, informacja i termodynamika pojawiły się już na łamach tej książki przy okazji omawiania ewolucji fizycznej w ogóle, a ewolucji Wszechświata - w szczególności. Jednakże, zwłaszcza w poprzednim rozdziale poświęconym właśnie ewolucji Wszechświata, nacisk został położony na wzajemne relacje pomiędzy przestrzenią, czasem, materią i energią oraz ich zależność od konkretnego momentu historii naszego Universum, podczas gdy zasady przekształcania jednych form energii w inne oraz jej rozpraszania w postaci ciepła, jak również wynikające z nich kwestie dotyczące nieodwracalności procesów i powstawania uporządkowanych struktur, tak istotne dla zrozumienia chociażby fizycznych podstaw fenomenu życia, zostały potraktowane marginalnie. W niniejszym rozdziale chciałbym nadrobić te zaległości i pokrótce naszkicować niezmiernie ważki aspekt ewolucji fizycznej będący domeną termodynamiki.

Wiele najprostszych aspektów ewolucji Wszechświata wcale nie jest tak oczywistych, jak mogłoby to wynikać z lektury poprzedniego rozdziału. W szczególności, można sobie zadać dalekie od trywialności pytanie, dlaczego zarówno ewolucja Wszechświata jako całości, jak i znajdujących się w nim obiektów, zachodzi właśnie w tym, a nie odwrotnym kierunku. Pytanie to wygląda nieco inaczej w przypadku wszechświata otwartego (nieskończonego) i zamkniętego (skończonego, o dodatnio zakrzywionej przestrzeni). Jeżeli Wszechświat jest otwarty, to rozszerza się od stanu o wielkiej (nieskończonej?) gęstości, co prowadzi do spadku tej gęstości w czasie na skutek "rozciągnięcia" przestrzeni; nie zachodzi natomiast zjawisko odwrotne - kurczenie się przestrzeni i zapadanie Wszechświata od stadium bardzo rozrzedzonego rozkładu materii do "gęstego" stanu "końcowego". Modele Wszechświata oparte na ogólnej teorii względności, będące symetryczne względem czasu, nie dają a priori odpowiedzi na pytanie, dlaczego pierwszy, nie zaś drugi przypadek ma miejsce (odpowiednie równania mówią tylko, iż Wszechświat jest niestabilny, powinien się zatem kurczyć lub rozszerzać, natomiast wybór jednej z tych dwóch możliwości opiera się w całości na danych doświadczalnych).

Co nawet istotniejsze, powstaje pytanie dlaczego w rozszerzającym się Wszechświecie ma miejsce ewolucja rozkładu materii od początkowego etapu charakteryzującego się bardzo jednorodnym rozkładem materii (i energii) w kierunku tworzenia skupisk materii w różnych skalach wielkości, takich jak gromady galaktyk, galaktyki, gwiazdy i planety. "Ostatecznym" (jeżeli pominiemy tzw. promieniowanie Hawkinga), najbardziej skondensowanym stadium przemian materii są czarne dziury, które dodatkowo mogą łączyć się z sobą, dając w efekcie coraz to większe i większe obiekty.

W przypadku Wszechświata zamkniętego, po fazie rozszerzania się nastąpi faza kontrakcji (kurczenia się), która w zasadzie mogłaby być dokładnym odwróceniem fazy ekspansji, znajdując swój finał w końcowej osoblności. Czy oznacza to, że nie tylko na powrót nastąpi wzrost gęstości materii i temperatury, ale zarazem galaktyki, gwiazdy, planety i organizmy żywe zaczną ewoluować

wstecz, aby ponownie (tuż przed Wielkim Zapadnięciem) doprowadzić do równomiernego rozkładu materii (i energii), takiego jaki miał miejsce zaraz po Wielkim Wybuchu?

Tę ostatnią kwestię można przeformułować w następujący sposób: co powoduje, że w trakcie ewolucji Wszechświata daje się zaobserwować wyraźny trend do powstawania różnego rodzaju obiektów, właśnie galaktyk, gwiazd i planet wraz z różnymi strukturami dynamicznymi, formującymi się na ich powierzchni, takimi jak zjawiska atmosferyczne czy organizmy żywe? Dlaczego nie następuje raczej powszechny zanik tego rodzaju obiektów i struktur? Teorie kosmologiczne mówią o tym, jak zmienia się w czasie krzywizna i rozmiar przestrzeni, a co za tym idzie uśredniona po wielkich obszarach gęstość materii i np. energii promienistej (całkowita ilość energii występującej w rozmaitych postaciach, np. w formie materii, nie ulega zmianie i jest prawdopodobnie równa zero). Bez wprowadzenia dodatkowych (w stosunku do ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej) założeń nie wynika z tych teorii jednakże, jakim zmianom ulega rozkład przestrzenny materii (i energii), a zatem jakie makroskopowe formy zaczyna ona z czasem przybierać. Ogólnie rzecz biorąc, w tym miejscu powracamy do problemu kierunkowości i nieodwracalności ewolucji fizycznej, nakreślonego ogólnie w pierwszym rozdziale tej części książki. Strzałka czasu, której brak wyraźnie daje o sobie znać na gruncie teorii dynamicznych, pojawia się, jak już wspominałem, w teorii fizycznej zwanej termodynamiką.

Skąd biorą się owe specyficzne właściwości termodynamiki, nieobecne w dynamice oraz niededukowalne bezpośrednio z jej praw? Przecież zarówno dynamika (mechanika kwantowa, teoria względności), jak i termodynamika odnoszą się do tego samego świata fizycznego, o pewnym zestawie uniwersalnych i (w co głęboko wierzymy) niesprzecznych cech. Obie, na przykład, opisują zachowanie takich samych cząstek elementarnych, atomów i cząsteczek chemicznych lub złożonych z nich układów i obiektów. Jak to się zatem dzieje, że w termodynamice pojawiają się tak podstawowe właściwości świata, jak strzałka czasu, nieodwracalność czy uporządkowane struktury, podczas gdy w dynamice są one nieobecne, więcej - sam język, struktura matematyczna dynamiki nie jest "przystosowana" do sensownego mówienia o tego rodzaju terminach (są one dynamice tak dalece pojęciowo obce, jak ślepeму koloru)?

Problem powyższy jest pokrewny innemu, znacznie bardziej znanemu problemowi. Chodzi mianowicie o to, jak fenomen życia, które przecież w pewnym sensie jest niczym więcej niż zbiorem określonych atomów, zachowujących się w ścisłej zgodności z prawami fizyki, wyłania się z poziomu fizycznego i co go od tego poziomu odróżnia? W szczególności, skąd bierze się cecha celowości organizmów żywych, ich funkcjonalności, ukierunkowania na wykonanie pewnego rodzaju zadania (którym jest przetrwanie i rozmnożenie się). Jak proces ewolucji biologicznej, z jednej strony w swej istocie niewyraźalny w terminologii czysto fizycznej, może - z drugiej strony - prowadzić do powstawania tak skomplikowanych strukturalnie i funkcjonalnie układów? Przecież ani celowość, ani dążność do tworzenia specyficznych, funkcjonalnych struktur, nie jest w żaden sposób wpisana w pojedyncze atomy! A jednak wierzymy, że wszystkie te właściwości w jakiś sposób wyłaniają się z pewnego rodzaju zachowania się określonych układów atomów. Na czym zatem musi polegać



specyficzność tego zachowania, aby mogły powstać takie makroskopowo uporządkowane i celowe obiekty, jak organizmy żywe?

Zmagając się z różnymi interpretacjami redukcjonizmu w biologii (odrzucając przy tym redukcjonizm prymitywny, wyrażający się np. w twierdzeniu, że człowiek to nic innego, jak tylko zbiór atomów), często zapominamy, że podobny problem redukcjonizmu pojawia się już w obrębie samej fizyki, na styku dynamiki i termodynamiki. Notabene, sposób wyłaniania się poziomu termodynamicznego z poziomu dynamicznego może rzucić wiele światła na istotę fenomenu życia (jest ono w swej istocie także zjawiskiem termodynamicznym), będąc etapem pośrednim na drodze od pojedynczych atomów do konkretnego złożonego organizmu biologicznego, np. konia. W ten sposób termodynamika łąca do pewnego stopnia "dziurę" ziejącą pomiędzy klasyczną fizyką i biologią. Sednem istoty poziomu biologicznego zajmę się w drugiej części tej książki (podczas gdy problem wyłaniania się poziomu psychicznego poruszam w części trzeciej). Teraz natomiast chciałbym powrócić do specyficznych właściwości termodynamiki, odróżniających ją od dynamiki.

Termodynamika, pomimo opisywania tego samego obiektywnego świata, jest zasadniczo odmienna od dynamiki, ponieważ jej struktura pojęciowa (i matematyczna) bierze swe korzenie już na wyjściu z uwzględnienia innych aspektów tego świata. Różnice w "późniejszych" (wynikających z przyjętych założeń) właściwościach dynamiki i termodynamiki mają zatem swoje źródło w rozmaitych punktach wyjścia obu tych teorii. Spróbuję teraz powyższe stwierdzenie dookreślić i pokazać jak dwa odmienne "punkty widzenia" dają efekt w postaci dwóch trudnych do uzgodnienia (ale to problem naszego systemu pojęć, nie zaś "obiektywnej" rzeczywistości) obrazów świata.

Dynamika skupia się na zachowaniu się pojedynczych obiektów lub też na oddziaływaniu jednego obiektu na drugi. Mechanika kwantowa opisuje na przykład ewolucję przestrzennego rozkładu funkcji falowej związanej z danym elektronem oraz oddziaływanie pomiędzy ujemnie naładowanym elektronem i protonem obdarzonym ładunkiem dodatnim w atomie wodoru. Dynamika Newtona i teoria względności odnosić się mogą do ruchu kamienia w polu grawitacyjnym Ziemi lub wzajemnego ruchu Ziemi i Księżyca wynikającego z wywieranych przez nie wzajemnie siły grawitacji. Dynamika sprawuje się najlepiej, gdy stosujemy ją do pojedynczych obiektów lub par obiektów - już zachowanie się trzech ciał o porównywalnej masie w polu grawitacyjnym przysparza ogromnych problemów matematycznych (problemu trzech ciał nie da się rozwiązać ściśle w sposób analityczny).

Natomiast zasadniczym punktem wyjścia dla termodynamiki jest zainteresowanie zbiorami (ogromnej ilości) atomów (cząstek elementarnych, cząsteczek chemicznych), a nie właściwościami pojedynczych atomów (cząsteczek). Z takimi właśnie zbiorami, zawierającymi wiele elementów (w istocie niewyobrażaną wprost ilość, np. rzędu  $10^{20}$ ), a nie z pojedynczymi elementami (np. atomami), mamy do czynienia w przypadku makroskopowych obiektów znanych nam z codziennego doświadczenia, takich jak kamień, gaz w pojemniku lub nasza planeta. I właśnie takich obiektów dotyczą terminy strzałki czasu i nieodwracalności (porównaj przykład filiżanki, która może się rozbić samoistnie, lecz nigdy się sama nie złoży z kawałków) oraz złożoności i uorganizowania (żeby nie sięgać daleko, wystarczy wspomnieć organizmy żywe).

W takim układzie wielkiej ilości elementów staje się oczywiście całkowitą niemożliwością śledzenie zachowania każdego z elementów. Ilość potrzebnych na to pomiarów czy obliczeń opiewa na liczbę tak astronomiczną, że nie opłaca się w ogóle brać jej pod uwagę, pomijając już fakt, że dokładne pomiary i obliczenia byłyby niemożliwe z powodów zasadniczych, ze względu na indeterminizm (i zasadę nieoznaczoności) mechaniki kwantowej, rządzącej zachowaniem się pojedynczych cząstek elementarnych i atomów. Całe szczęście, dokładna znajomość stanu (położenia oraz wektora prędkości) każdego atomu (cząsteczki) wchodzącego w skład rozważanego układu okazuje się w dużej mierze zbędna, przynajmniej z makroskopowego punktu widzenia.

Dzieje się tak dlatego, że po uśrednieniu rozmaite przeciwstawne zachowania poszczególnych elementów znoszą się nawzajem, a zatem nie znajdują wyrazu na poziomie makroskopowym. Jeżeli weźmiemy zamknięte naczynie wypełnione gazem, to poszczególne cząsteczki gazu poruszają się w rozmaite strony z bardzo różnymi, często wielkimi prędkościami. Jednakże, średnio rzecz biorąc, tyle samo cząsteczek porusza się z daną prędkością w danym kierunku, co w kierunku przeciwnym. Przeciętny wektor prędkości wyniesie zatem dokładnie zero, co wydaje się o tyle oczywiste, że gaz jako całość, na skutek ograniczenia przez ściany naczynia, nie porusza się. Może nas także interesować nie tyle kierunek (wektor) prędkości cząsteczek, co przeciętna wartość tej prędkości, oraz proporcjonalna do niej energia kinetyczna cząsteczki. Tutaj także jesteśmy w stanie obliczyć średnią wartość tej energii, przy czym będzie ona oczywiście niezerowa (chyba że gaz posiadałby temperaturę zera bezwzględnego, ale wtedy uległby zestaleniu). Siłą rzeczy, istotą termodynamiki jest zatem podejście statystyczne, polegające na podaniu średniej wartości jakiegoś parametru dla całego zbioru elementów zamiast całego zespołu wartości parametrów dla poszczególnych elementów. Dodatkowo, możliwe jest określenie rozkładu wartości jakiegoś parametru w badanym systemie, wyrażające się na przykład tym, że daną szybkość (ściślej: pewien wąski zakres szybkości) posiada pewien procent cząsteczek gazu, zaś inną szybkość - inny procent tych cząsteczek.

Na podstawie średnich wartości takich mikroskopowych, dotyczących pojedynczych cząsteczek parametrów możemy określić wartość jakiegoś parametru makroskopowego, dotyczącego całego systemu, nie mającego natomiast żadnego sensu, jeśli go odnieść do poszczególnych elementów systemu. Takim makroskopowym, statystycznym, "fenomenologicznym" parametrem jest na przykład temperatura, proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząsteczek (parametr mikroskopowy). Wydaje się oczywiste, że w układzie fizycznym określoną temperaturę może posiadać gaz, a nie pojedyncza cząsteczka, tak jak w obrębie języka znaczenie przysługuje zdaniu lub wyrazowi, lecz nie pojedynczej literze. Obok temperatury, gaz charakteryzują jeszcze inne makroskopowe parametry, a mianowicie np. ciśnienie (średni "nacisk" na ścianki naczynia wywołany nieustannym uderzaniem w nie cząsteczek gazu) oraz objętość. Te trzy parametry opisują w sposób zupełny (w pewnym istotnym sensie) stan, w jakim aktualnie gaz się znajduje (jeżeli założymy, że gaz ten jest w stanie równowagi). Termodynamiczny opis układu złożonego z wielu elementów przy pomocy makroskopowych parametrów wydaje się więc być niezwykle oszczędny w porównaniu z opisem dynamicznym - w tym ostatnim należałoby podać trzy współrzędne oznaczające położenie w

przestrzeni plus trzy współrzędne wektora prędkości dla każdej z (powiedzmy)  $10^{20}$  cząsteczek wchodzących w skład danej próbki gazu. Ta lakoniczność opisu wynika oczywiście z podejścia statystycznego - ignorowania "indywidualnego" zachowania się poszczególnych elementów układu i poprzestania na określeniu jedynie średnich wartości parametrów mikroskopowych<sup>11</sup>.

Sięgające samej istoty termodynamiki nakierowanie uwagi na układy złożone z wielu elementów czyni w ogóle możliwym sformułowanie w jej obrębie takich terminów jak "uporządkowanie" lub "entropia" (będąca, jak pamiętamy, miarą stopnia nieuporządkowania). Oczywiście jest, że tam, gdzie mamy do czynienia z pojedynczym obiektem (elementem), nie może być on w jakikolwiek sposób "uporządkowany". Natomiast w przypadku, kiedy rozpatrujemy układ złożony z wielu obiektów, już sam ich rozkład w przestrzeni może być chaotyczny (a więc nieuporządkowany) lub też składać się na określoną strukturę. Strukturze przestrzennej towarzyszyć może struktura czasowa (funkcjonalna), obejmująca określony "wzorzec" zmian rozkładu elementów w czasie. Termodynamika umożliwia zatem wprowadzenie, a raczej - w ogóle uczynienie sensownymi - pojęć struktury i (nie)uporządkowania, nieobecnych na poziomie dynamicznym.

Z punktu widzenia dynamiki, a w szczególności mechaniki kwantowej, atom węgla wchodzący (jako jeden z budulców jakiegoś związku organicznego) w skład wysoko uorganizowanej struktury (niech nią będzie np. ludzki mózg) to dokładnie taki sam atom, jak atom węgla w cząsteczce  $\text{CO}_2$  będącej elementem homogennego (jednorodnego) gazu - dwutlenku węgla, który osiągnął maksymalną w danych warunkach entropię (stopień nieuporządkowania). Dynamika stwierdza, że ruch tego atomu i ewentualne tworzenie przezeń wiązań chemicznych podlega (w obu przypadkach) takim to a takim prawom, ale nic ponadto. Nie jest ona w stanie wejść na wyższy poziom i orzekać czegokolwiek o regułach rządzących zachowaniem się układów złożonych z wielu atomów. Owa niemożność nie wynika bynajmniej z tymczasowej niedoskonałości obecnych teorii dynamicznych, na czele z mechaniką kwantową, które z czasem zostaną zastąpione przez lepsze teorie, pozwalające na przezwyciężenie powyższych ograniczeń. Ograniczenia te są bowiem natury zasadniczej i wynikają z istoty podejścia (paradygmatu) dynamicznego w ogóle. Aby przejść od pojedynczych obiektów do układów złożonych z wielu elementów, nieuchronnie konieczne staje się uzupełnienie dynamiki o nowy system pojęć, nieobecnych w jej obrębie i z niej niewyprowadzalnych (podobnie, nie da się opisać sedna istoty życia przy użyciu jedynie terminologii zaczerpniętej z fizycznego poziomu rzeczywistości).

Co prawda, w pewnym sensie nawet pojedynczy obiekt, taki jak atom, może posiadać swego rodzaju "strukturę", wyrażającą się np. w tym, że atom składa się z jądra i powłok elektronowych. Nie o takiej jednak strukturze mówi termodynamika. "Struktura" atomu jest konieczna, jako jednoznacznie wynikająca z praw fizyki. Natomiast w układach termodynamicznych jakakolwiek ewentualna

---

<sup>11</sup>W podobny sposób nauką statystyczną jest ekonomia. Nie interesuje jej na przykład (w przeciwieństwie do psychologii), czy pokrętne zakamarki świadomości i podświadomości **danego** człowieka doprowadzą do zakupienia przez niego badanego towaru, a jedynie jaki **procent** ludzi w społeczeństwie zdecyduje się na taki zakup ze względu na przeciętne uwarunkowania finansowe oraz inne. W tym sensie, o ile psychologię możemy uważać za "dynamikę" człowieka jako istoty obdarzonej psychiką, to socjologia i ekonomia są jego "termodynamiką".

struktura w żaden sposób konieczna nie jest - może ona istnieć lub równie dobrze może jej nie być. Każdej strukturze termodynamicznej można przypisać prawdopodobieństwo jej samoistnego powstania, przy czym im mniejsze to prawdopodobieństwo, tym bardziej struktura ta jest uporządkowana. "Struktury" obdarzone największym prawdopodobieństwem, np. równomiernie rozłożony gaz w pojemniku, charakteryzują się najmniejszym uporządkowaniem, a ich entropia przybiera wartość maksymalną.

Ponieważ pojęcie struktury może wydać się nieadekwatne w przypadku równomiernego rozkładu gazu w pudełku, oznaczającego de facto całkowity "brak struktury", wprowadzimy zamiast niej bardziej ogólne pojęcie stanu makroskopowego. Oznacza ono jakiś wyróżniony makroskopowo ("fenomenologicznie") rodzaj przestrzennego uporządkowania elementów układu. Na przykład, z tego samego zestawu atomów można by otrzymać zarówno bezładną, jednorodną mieszaninę, jak i organizm człowieka. Oba przypadki odpowiadają odmiennym stanom makroskopowym tego samego układu. Potencjalnie można tu zresztą sobie wyobrazić bardzo wiele rozmaitych innych stanów mikroskopowych, na przykład wszystkie pierwiastki będące posegregowane w oddzielnych fiolkach. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku gazu w pudełku - obok równomiernego rozkładu gazu istnieje teoretycznie możliwość, że wszystkie cząsteczki gazu byłyby skupione tylko w jednej połowie pudełka, a także ogromna ilość jeszcze innych potencjalnych stanów makroskopowych.

Kluczowym elementem dla "późniejszych" cech termodynamiki, które wyłaniają się z jej "punktów wyjścia", jest to, iż rozmaite stany makroskopowe obdarzone są różnym (w istocie – z reguły niewyobrażalnie wprost różnym) prawdopodobieństwem. Oznacza to, że szansa spontanicznego powstania rozmaitych stanów makroskopowych na skutek przypadkowego przemieszczania się elementów danego układu jest bardzo różna. Nie trzeba chyba nikogo przekonywać, że na skutek losowego przemieszczania się pewnego zestawu atomów o wiele prędzej powstanie jednorodna mieszanina atomów, niż ludzki organizm. To samo z gazem w pudełku - na skutek przypadkowych zderzeń jego cząsteczek dążą one do równomiernego rozmieszczenia w pudełku. Takie dobranie się prędkości cząsteczek i kierunku ich ruchu, aby wszystkie naraz uległy skupieniu w jednej połowie pudełka, obdarzone jest mniejszym względnym prawdopodobieństwem (w stosunku do równomiernego rozkładu cząsteczek gazu w całym pudełku), niż wyrzucenie samych orłów przy  $10^{20}$  (100 000 000 000 000 000 000) rzutach monetą (przyjmując, że liczba cząsteczek przekracza  $10^{20}$ ).

Jak termodynamika radzi sobie z określaniem prawdopodobieństwa rozmaitych stanów makroskopowych? Otóż, fundamentalnego znaczenia nabiera tu ilość stanów mikroskopowych odpowiadających danemu stanowi makroskopowemu. Stan mikroskopowy to taki a nie inny, unikalny stan wszystkich elementów rozpatrywanego układu. W przypadku gazu oznacza to dokładnie określone położenie i wektor prędkości (czyli wartość prędkości plus jej kierunek) wszystkich cząsteczek wchodzących w skład tego gazu. Różne stany makroskopowe reprezentują rozmaite klasy stanów mikroskopowych - jednemu stanowi makroskopowemu odpowiada wiele stanów mikroskopowych. Wydaje się oczywiste, że bardzo rozmaite bezładne rozkłady cząsteczek gazu będą "na oko" wyglądać tak samo i wobec tego odpowiadać stanowi makroskopowemu nazwanemu

jednorodnym rozkładem. Stanowi makroskopowemu "wszystkie cząsteczki gazu w lewej połowie pudełka" można przyporządkować znacznie mniejszą, ale ciągle ogromną ilość stanów mikroskopowych - do pomyślenia jest wiele kombinacji położeń i prędkości poszczególnych cząstek dających "w wyniku" taki właśnie stan.

Co ma to jednak do prawdopodobieństwa stanów makroskopowych? Bardzo wiele. Okazuje się bowiem, że prawdopodobieństwo zaistnienia danego stanu makroskopowego pozostaje w ścisłej zależności od ilości odpowiadających temu stanowi potencjalnych stanów mikroskopowych - im więcej tych ostatnich, tym większe prawdopodobieństwo. Wszystkie stany mikroskopowe są z zasady obdarzone jednakowym prawdopodobieństwem (takim, że suma prawdopodobieństw wszystkich możliwych stanów mikroskopowych daje w wyniku 1). Co więcej, na skutek nieustannego ruchu cząsteczek, ciągle odbywa się przejście od jednego stanu mikroskopowego do innego. Ten następny stan mikroskopowy może należeć do tej samej klasy stanów mikroskopowych (czyli tego samego stanu makroskopowego) lub też do innej klasy, niż poprzedni stan mikroskopowy. Przy losowym błędzeniu od jednego stanu mikroskopowego do drugiego, prawdopodobieństwo, że układ przejdzie z jednej klasy stanów mikroskopowych (stanu makroskopowego) do drugiej będzie zależało od względnej liczebności tych klas. Oczywiście jest, że o wiele bardziej prawdopodobne będzie przejście ze stanu makroskopowego, któremu odpowiada względnie mała ilość stanów mikroskopowych, do stanu makroskopowego "zawierającego" ogromną liczbę stanów mikroskopowych, niż przejście odwrotne. W takim wypadku mówimy po prostu, że drugi stan makroskopowy jest o wiele bardziej prawdopodobny od pierwszego. Widzimy zatem, jak liczba stanów mikroskopowych składających się na dany stan makroskopowy określa prawdopodobieństwo tego ostatniego.

Rozważmy dla przykładu układ czterech liczb całkowitych z zakresu od 1 do 100. Załóżmy, że każda z tych liczb zmienia się co chwilę w sposób zupełnie przypadkowy w dowolną liczbę ze wspomnianego zakresu. Stan mikroskopowy tego układu będzie reprezentowany przez aktualny zestaw czterech konkretnych liczb. Układ co chwila będzie losowo przechodził z jednego stanu mikroskopowego do drugiego. Wyróżnijmy teraz stan makroskopowy X, w którym wszystkie cztery liczby są takie same oraz stan makroskopowy Y, odpowiadający każdemu innemu przypadkowi (kiedy nie jest tak, że wszystkie cztery liczby są takie same). Prawdopodobieństwo przejścia ze stanu X do stanu Y jest oczywiście o wiele większe, niż prawdopodobieństwo przejścia odwrotnego. Kombinacje czterech przypadkowych liczb będą zatem pojawiać się stosunkowo rzadko. Przykład ten od sytuacji rzeczywistych układów różni głównie to, że prawdopodobieństwo spontanicznego pojawienia się wyróżnionego stanu makroskopowego X jest jedynie bardzo, ale nie astronomicznie małe.

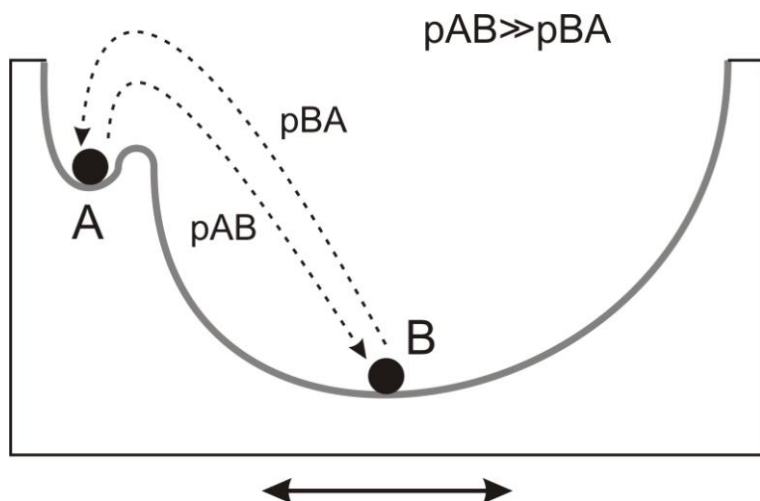
Żeby upewnić się, że wszystko jest jasne, przyjrzyjmy się jeszcze następującej analogii. Niech nasz układ stanowi taca z pewną ilością leżących na niej kuleczek. Stan mikroskopowy tego układu odpowiada dokładnie określonej kombinacji położeń wszystkich kuleczek na tacy (jeżeli choć jedna kuleczka byłaby choć trochę przesunięta, to powstałby już inny stan mikroskopowy). Tacą potrząsamy, a więc nasz układ ciągle przechodzi od jednego stanu mikroskopowego do innego. Określmy teraz dwa stany makroskopowe: 1: "wszystkie kuleczki tworzące prostokąt pokrywający

lewą połowę tacy" oraz 2: "kuleczki rozrzucone beładnie po tacy". Oczywiście jest, że o wiele bardziej prawdopodobny jest stan makroskopowy nr 2. Dzieje się tak dlatego, że odpowiada mu znacznie większa liczba stanów mikroskopowych, czyli rozmaitych kombinacji położenia poszczególnych kuleczek. W stanie 1 kuleczki mogą występować zamiennie w jednej z niewielu ściśle określonych "pozycji" w rozmaitych częściach prostokąta, np. na jego brzegu, rogu lub we wnętrzu, ale ze względu ilość możliwych kombinacji rozmaitych położenia poszczególnych kuleczek w tych "pozycjach" konstytuuje to stosunkowo ograniczoną liczbę stanów mikroskopowych. Natomiast ilość potencjalnych kombinacji położenia kuleczek w drugim ("beładnym") stanie makroskopowym jest praktycznie nieograniczona. Dlatego układ z o wiele większym prawdopodobieństwem osiągnie stan 2, niż stan 1. Jeżeli na tarczy strzeleckiej stan 1 reprezentowany byłby przez pojedynczy punkcik, natomiast cała reszta tarczy odpowiadałaby stanowi 2, to oczywiście jest, że przy przypadkowym ("na oślep") strzelaniu do tarczy istniałaby jedynie znikoma szansa trafienia w punkt (stan 1), a kula prawie na pewno osiągnęłaby pozostały obszar tarczy (stan 2) (zakładamy, że tarcza jest wystarczająco duża, aby założyć, że wszystkie strzały w nią trafiają). W tym momencie staje się oczywiście jasne, dlaczego (przechodząc do bardziej "realistycznego" przykładu) równomierne rozproszenie gazu w pudełku jest o wiele bardziej prawdopodobne, niż zgrupowanie wszystkich cząsteczek gazu w jednej połowie pudełka.

Każdy układ posiada naturalną tendencję do ewolucji od stanu makroskopowego o małym prawdopodobieństwie do stanu znacznie bardziej prawdopodobnego. Oznacza to, że jeżeli początkowy stan układu obdarzony jest małym prawdopodobieństwem, to układ będzie nieuchronnie dążył do stanu o większym prawdopodobieństwie. Jeżeli zaś "wystartujemy" układ od stanu najbardziej prawdopodobnego, to nic się w nim nie zmieni - nadal pozostanie on w tym stanie. Ewolucja od stanu mniej prawdopodobnego (bardziej uporządkowanego) do bardziej prawdopodobnego (mniej uporządkowanego) jest zatem nieodwracalna.

Tu już powinno zacząć nam coś świtać, wyłaniać się coś podejrzanie znajomego, z czym spotkaliśmy się na poprzednich stronach tej książki. Ale po kolei.

Rozważmy kwestię nieodwracalności ewolucji układów dynamicznych na kolejnym obrazowym przykładzie. Weźmy naczynie, w którego dnie znajdują się dwa zagłębienia: jedno małe i płytkie zagłębienie A oraz jedno duże i głębokie zagłębienie B. Naczynie takie przedstawia rycina 1.5. W naczyniu znajduje się pojedyncza kuleczka, a całym naczyniem potrząsamy. Kuleczka może albo z zagłębienia A przeskoczyć do zagłębienia B, albo też - odwrotnie - z zagłębienia B wpaść do zagłębienia A. Każde z tych przejść obdarzone jest określonym prawdopodobieństwem, przy czym prawdopodobieństwo przejścia  $A \rightarrow B$  ( $p_{AB}$ ) znacznie przewyższa prawdopodobieństwo przejścia  $B \rightarrow A$  ( $p_{BA}$ ). Jest to chyba oczywiście - wpadnięcie kulki do zagłębienia A wymaga iście niebywałego trafu, polegającego na bardzo specyficznym doborze prędkości i kierunku ruchu kuleczki, natomiast praktycznie każdy znaczniejszy ruch spowoduje przeskoczenie kuleczki z zagłębienia A do zagłębienia B. Układ posiada zatem immanentną skłonność do ewolucji od stanu A do stanu B.



Ryc. 1. 5. Naczynie z dwoma zagłębieniami w dnie: A i B. Kuleczka znajdująca się w każdym z tych zagłębień reprezentuje inny stan makroskopowy. Na skutek potrząśnięcia naczyniem kuleczka może ze stanu A przejść do stanu B lub odwrotnie. Prawdopodobieństwo pierwszego przejścia ( $p_{AB}$ ) jest znacznie większe, niż prawdopodobieństwo przejścia odwrotnego ( $p_{BA}$ ). Dlatego układ będzie wykazywał silną tendencję do ewolucji od stanu makroskopowego A do stanu makroskopowego B.

Teraz pojedyncza kuleczka reprezentuje oczywiście, inaczej niż w poprzedniej analogii z tacą, stan całego układu, a nie tylko jednego elementu (w analogii z tacą stan układu był sumą stanów wszystkich elementów - kuleczek). Natomiast dno naczynia wyznacza zbiór możliwych położenia kuleczki, a więc stanów układu. Istnieje tutaj oczywiście bardzo wiele stanów mikroskopowych (czyli po prostu możliwych lokalizacji kuleczki na dnie naczynia). Z drugiej strony, mamy do czynienia jedynie z dwiema klasami stanów mikroskopowych, czyli stanami makroskopowymi. Jak pamiętamy, wszystkie "mikrostan" możemy uważać za równoważne, czyli obdarzone takim samym prawdopodobieństwem. Natomiast prawdopodobieństwo "makrostanów" odpowiada względnej ilości składających się na nie "mikrostanów". Na rycinie 1.5 widać wyraźnie, że stan makroskopowy B jest o wiele bardziej "obszerny" (zawiera znacznie więcej możliwych mikrostanów), niż "wyróżniony" stan A, "gromadzący" jedynie bardzo nieliczne mikrostan. Stan A jest o tyle bardziej "uporządkowany" (posiada małą entropię, będącą, jak pamiętamy, miarą stopnia nieuporządkowania), iż daje on o wiele więcej informacji o lokalizacji kuleczki (skoro już wiemy, że kuleczka znajduje się w małym zagłębieniu A, to o wiele łatwiej ją znaleźć, niż gdybyśmy posiadali "jedynie" informację, iż jest ona "gdziekolwiek" w wielkim zagłębieniu B). Biorąc pod uwagę ogólne prawdopodobieństwo, kuleczka "prawie na pewno" przebywa w zagłębieniu B, więc wiadomość, że rzeczywiście się tam znajduje niesie ze sobą bardzo mało informacji. Poza tym kuleczkę w obszernym zagłębieniu B znacznie trudniej znaleźć. Makroskopowy stan B charakteryzuje zatem duże nieuporządkowanie położenia kuleczki (może ona przebywać w jednym z bardzo wielu stanów mikroskopowych), a więc duża entropia.

Jak to stwierdziliśmy wcześniej, opisywany układ wykazuje nieodwracalną tendencję do ewolucji od stanu A do stanu B, lub też do pozostawania w stanie B, jeżeli został on już osiągnięty.

Przed chwilą zaś zobaczyliśmy, że stan B, jako bardziej prawdopodobny, charakteryzuje się także większą ilością informacji, mniejszym stopniem uporządkowania i większą entropią (o wzajemnych związkach pomiędzy tymi parametrami powiem więcej nieco później), niż stan A. Dowiedliśmy zatem krok po kroku ni mniej, ni więcej, tylko że w każdym (izolowanym) układzie musi następować spadek uporządkowania i informacji oraz wzrost entropii, aż do momentu, kiedy wartości tych parametrów ustabilizują się na stałym minimalnym (w przypadku entropii - maksymalnym) możliwym w danych warunkach poziomie.

W ten sposób, startując od "punktów wyjścia" termodynamiki, udało się nam wyprowadzić jej najbardziej podstawowe, "makroskopowe" właściwości, które okazały się nieuchronnymi skutkami próby opisu układów składających się z wielu elementów. Po pierwsze, doszliśmy do słynnego drugiego prawa termodynamiki, głoszącego, że w układach izolowanych entropia rośnie z czasem, aż do osiągnięcia wartości maksymalnej (układ musi być izolowany, aby nie mógł wymieniać materii i energii, a więc i entropii, z otoczeniem). Oznacza to uniwersalną dążność układów fizycznych do wzrostu stopnia nieuporządkowania. W szczególności, przy przemianie jednej formy energii w drugą, energia ma tendencję do bycia rozproszoną w najbardziej "nieuporządkowanej" formie, a mianowicie pod postacią energii cieplnej.

Drugą, ogromnie istotną konsekwencją wynikającą ze statystycznej natury termodynamiki, polegającej na śledzeniu jedynie "średniego" zachowania się elementów w układzie zawierającym wiele takich elementów, jest wyłonienie się strzałki czasu. Stanowi ona w pewnym sensie alternatywne oblicze drugiej zasady termodynamiki - strzałka czasu odpowiada po prostu takiemu kierunkowi w czasie, w którym następuje wzrost entropii. Innymi słowy, uniwersalna dążność do spadku stopnia uporządkowania nie tylko wymusza jednokierunkowy upływ czasu, ale w pewnym sensie jest nawet z upływem czasu tożsama. Czas płynie w tym kierunku w czasoprzestrzeni Wszechświata, w którym wzrasta entropia. Spadek uporządkowania z czasem oznacza, że na początku Wszechświata stopień uporządkowania osiągnął wartość maksymalną. Do sprawy tej jeszcze powrócę.

Drugie prawo termodynamiki implikuje także nieodwracalność wszelkich procesów, w których zachodzi zmiana entropii. Oznacza to, że dla takich procesów, powiązanych ze wzrostem entropii, nie będziemy w przyrodzie obserwować procesów im przeciwnych. Filiżanka może ulec rozbiću na kawałki, natomiast nie ulega spontanicznemu złożeniu się z takich kawałków. Gaz w pudełku dąży do uzyskania jak najbardziej jednorodnego rozkładu molekuł w przestrzeni. Ogólnie rzecz biorąc, każdy układ fizyczny zmierza ku stanowi równowagi termodynamicznej, w którym entropia przybiera wartość maksymalną, a po którego osiągnięciu "nic już się nie dzieje".

Termodynamika nadaje wreszcie swoiste, a zarazem bardzo ogólne (czasami wręcz zbyt ogólnikowe) znaczenie takim terminom jak "uporządkowanie", "struktura" i "informacja". Aby je przybliżyć, powróćmy raz jeszcze do naszego pudełka z gazem. Wyróżnijmy ponownie dwa stany makroskopowe: stan A, w którym wszystkie cząsteczki gazu znajdują się w lewej połowie pudełka (na przykład zaraz po usunięciu przegrody oddzielającej połowę pudełka wypełnioną gazem od drugiej połowy zawierającej próżnię), oraz stan B, reprezentujący równomierne rozmieszczenie cząsteczek w



pudełku. Wiemy już, że stanem "docelowym" tego układu jest stan B jako o wiele bardziej prawdopodobny i wobec tego charakteryzujący się wyższą entropią. Stan A natomiast ma znikome szanse powstać w sposób spontaniczny i może być osiągnięty jedynie przez jakieś zewnętrzne działanie, na przykład wspomniane usunięcie przegrody oddzielającej dwie połowy pudełka (a wcześniej - wypompowanie gazu z jednej połowy pudełka). Dzieje się tak, ponieważ stan makroskopowy A obdarzony jest informacją odpowiedzialną za przestrzenne uporządkowanie cząsteczek gazu, a więc właśnie za rodzaj "struktury" w rozumieniu termodynamicznym. Informacja ta natomiast nie może pojawić się w układzie znikąd.

Cząsteczki w układzie A, znajdujące się w lewej połowie pudełka, są uporządkowane w rozumieniu jak najbardziej potocznym. Podobnie, w mieszkaniu panuje porządek, kiedy ubrania znajdują się w szafie, produkty żywnościowe w lodówce, a odpadki w koszu na śmieci. Zachodzi zatem przestrzenna segregacja poszczególnych obiektów. Oczywiście, "upchanie" wszystkich cząsteczek gazu w jednej połowie pudełka niczemu praktycznemu nie służy (w przeciwieństwie do porządkowania rzeczy w mieszkaniu), ale tego rodzaju dystynkcje są całkowicie nieistotne z fizycznego punktu widzenia.

Być może nieco trudniej będzie zaakceptować w sposób intuicyjny wyrażone wyżej stwierdzenie, że stan A posiada już swego rodzaju dobrze określoną strukturę. Rozważmy prostokąt wypełniony małymi kwadracikami, ułożonymi ściśle obok siebie w, powiedzmy, 1000 rzędów i 500 kolumn. Mamy zatem 500000 kwadracików. Każdy kwadracik może być biały lub czarny. Prostokąt wypełniony kwadracikami tworzy pewien wzór, czy obraz, tak jak ziarna emulsji fotograficznej na czarno-białej fotografii. Załóżmy, że równa liczba białych i czarnych kwadracików rozrzucona jest przypadkowo po powierzchni prostokąta. Powstanie wtedy jednostajny, szary obraz, nie posiadający oczywiście żadnej struktury. Z drugiej strony, jeżeli czarnym i białym kwadracikom w polu prostokąta nadamy taki rozkład, aby reprezentował on czarno-białą reprodukcję obrazu "Mona Lisa", to będziemy mieli do czynienia z bardzo skomplikowaną strukturą dwuwymiarową (tak jak np. rzeźba odpowiada strukturze trójwymiarowej). Wynikać to będzie ze wzajemnego ułożenia białych i czarnych kwadracików w "specjalny", "znaczący", "określony" sposób, który łatwo jest krótko scharakteryzować jakimś stwierdzeniem, np.: "to jest ludzka twarz". Inny, chociaż znacznie mniej skomplikowany obraz struktury reprezentowałby prostokąt, w którego górnej części zgromadzilibyśmy same czarne, a w dolnej - same białe kwadraciki. Strukturę tę można krótko określić jako "prostokąt podzielony na część czarną i białą". Reprezentuje ona w jakimś sensie stadium pośrednie pomiędzy Mona Lisą a beładną mieszaniną białych i czarnych kwadracików. Gdyby "namalował" ją malarz-abstrakcjonista, nosiłaby w sobie nawet jakieś zaczątki znaczenia. Tak czy owak, byłaby ona z pewnością nieco mniej "monotonna", niż jednolite szare tło i przez to zasługiwała na miano "struktury". Podobnie, pewnego rodzaju strukturę tworzy gaz zgrupowany w jednej połowie pudełka w opozycji do gazu równomiernie rozproszonego w całym pudełku.

Zarówno pojęcie "stopień uporządkowania układu", jak i termin "stopień skomplikowania struktury" można zdefiniować, wyrazić poprzez ilość informacji zawartej w odpowiadającym danej "strukturze" stanie makroskopowym. Poprzednio powiedziałem, iż dany stan makroskopowy posiada

tym więcej informacji, im mniej stanów mikroskopowych mu odpowiada, czyli im mniejsze jest prawdopodobieństwo spontanicznego powstania danego stanu makroskopowego w wyniku przypadkowego ułożenia się elementów rozpatrywanego układu. W powyższej analogii oczywiste jest, że białe i czarne kwadraciki ułożą się najprawdopodobniej w "szarą" mieszaninę, znacznie mniejszą szansę na zaistnienie będzie miała segregacja kwadracików do dwóch jednakowych części: "czarnej" i "białej", natomiast samoistne "namalowanie się" Mona Lisy możemy uznać za prawie całkowicie wykluczone. Stąd wniosek, że dzieło Leonarda da Vinci zawiera największą ilość informacji, natomiast bezładna mieszanina kwadracików - najmniejszą.

Istnieje jednak alternatywna i, moim zdaniem, znacznie bardziej adekwatna droga "pomiaru" ilości informacji stowarzyszonej z danym stanem makroskopowym. Wedle tego podejścia, ilość informacji "zawarta" w stanie makroskopowym jest proporcjonalna do długości najkrótszego możliwego opisu tego stanu. Innymi słowy, stan makroskopowy zawiera tym więcej informacji, im dłuższy opis jest konieczny do pokazania, w jaki sposób ten stan został wyróżniony, na czym on polega.

Zastosujmy powyższą regułę do naszego prostokąta. Dla każdego kwadracika wprowadźmy jego "współrzędne", oznaczające w której kolumnie (współrzędna x) i rzędzie (współrzędna y) on leży. Położenie danego kwadracika będzie więc jednoznacznie wyznaczone przez parę liczb mającą postać (x,y), przy czym x może przybierać wartość od 1 do 500, natomiast y - od 1 do 1000; przykładowe współrzędne punktu mogą więc wynosić na przykład (123, 698). Pełny opis każdego możliwego makrostanu rozważanego układu otrzymamy w następujący sposób: "kwadraciki o następujących współrzędnych ... (tu następuje wyliczanie) są czarne" (w domyśle: reszta kwadracików jest biała). Jest to najdłuższy możliwy opis jakiegokolwiek stanu makroskopowego, szczególnie w przypadku równej liczby białych i czarnych kwadracików. Jednakże, wiele makrostanów da się scharakteryzować w sposób o wiele bardziej ekonomiczny. W szczególności, najkrócej, bo słowami "rozkład przypadkowy" można opisać makrostan reprezentujący "szare tło", czyli przypadek, kiedy białe i czarne kwadraciki rozrzucone są w sposób losowy, a entropia (nieuporządkowanie) układu osiąga wartość maksymalną. Nieco więcej informacji musi zawierać opis prostokąta podzielonego na dwie połowy: czarną i białą. Może on wyglądać następująco "wszystkie kwadraciki o współrzędnej y pomiędzy 1 i 500 są czarne" (w domyśle: kwadraciki o współrzędnej y pomiędzy 501 i 1000 są białe) lub też: "wszystkie czarne kwadraciki znajdują się w górnej połowie" (trzeba by tu jednak pierwej zdefiniować "górną połowę"). Opis tego makrostanu jest więc dłuższy od opisu makrostanu "bezładnego", a zatem makrostan "połowa czarna, połowa biała" jest bardziej uporządkowany i posiada wyższy stopień skomplikowania struktury. Żeby natomiast w pełni scharakteryzować makrostan "reprodukcja Mona Lisy", należałoby w zasadzie podać koordynaty (współrzędne) wszystkich czarnych kwadracików, a zatem długość opisu tego stanu zbliżyłaby się do maksymalnej. Nazwany stan makroskopowy zawierałby więc (w danym konkretnym układzie) największą możliwą ilość informacji, najbardziej złożoną strukturę i najwyższy stopień

uporządkowania<sup>12</sup>. Dokładnie z tego samego powodu człowieka możemy uznać za strukturę znacznie bardziej złożoną (o znacznie mniejszej entropii), niż beładną mieszaninę atomów. Widzimy więc, że kryterium "długości najkrótszego możliwego opisu" daje nam do ręki narzędzie pozwalające na przynajmniej intersubiektywne oszacowanie stopnia złożoności struktury i uporządkowania (a zatem zawartości informacyjnej) badanego stanu makroskopowego. Nie jest to jednak w żadnej mierze kryterium w pełni obiektywne. Dla kosmity układ kwadracików reprezentujący reprodukcję Mona Lisy wcale nie musiałaby się wydawać istotnie różny od rozkładu kwadracików czysto losowego (chaotycznego). Także struktury biologiczne (w tym organizm człowieka) można uznać za "specjalnie wyróżnione" jedynie z punktu widzenia wymogów funkcjonalności narzuconych przez "cele" ewolucji biologicznej.

Jak wynika ze wszystkiego powiedzianego powyżej, termodynamika pozwoliła, poprzez opisywanie zbiorów wielu elementów, na wywiedzenie takich cech świata fizycznego, jak dążność do wzrostu entropii, strzałka czasu oraz nieodwracalność procesów. Dała możliwość mówienia o właściwościach układów fizycznych "wymykających" się paradygmatowi dynamicznemu: złożoności struktury, stopniu uporządkowania lub ilości posiadanej informacji. Niestety, jak to zasygnalizowałem przed chwilą, trzeba było za to zapłacić cenę w postaci pewnej subiektywności termodynamiki. Nieodłącznym elementem konstrukcji pojęciowej tej teorii jest bowiem stan wyróżniony makroskopowo. Jak pamiętamy, to właśnie tendencja do przechodzenia stanów makroskopowych mniej prawdopodobnych w bardziej prawdopodobne legła u podstawy drugiego prawa termodynamiki, strzałki czasu i cechy nieodwracalności. To stan makroskopowy charakteryzuje się określoną strukturą, uporządkowaniem i zawartością informacyjną. Jednakże samo wyodrębnienie jakiegoś stanu makroskopowego, czyli połączenie pewnej grupy stanów mikroskopowych w wyróżnioną klasę, wydaje się być procedurą zasadniczo subiektywną (w najlepszym razie: intersubiektywną). Najlepszą dostępną miarą ilości informacji stanowiącej o istocie stanu makroskopowego wydaje się najmniejsza długość opisu niezbędna do pełnej charakteryzacji, wyróżnienia tego stanu. Długość ta jest jednak zrelatywizowana do stanu naszego umysłu, jego wiedzy i kategorii, w jakich dokonuje on oglądu świata. "Skażenie" subiektywizmem samej idei makrostanów to cecha głęboko fundamentalna. "Obiektywnie" istnieją tylko stany mikroskopowe, obdarzone równym prawdopodobieństwem i pod każdym innym względem sobie równoważne. Dany, konkretny stan mikroskopowy, jaki reprezentują w którejś chwili atomy składające się na organizm człowieka, jest równie mało prawdopodobny, co inny konkretny stan mikroskopowy takich samych atomów tworzących beładną mieszaninę. W obu przypadkach wyszczególnienie danego stanu mikroskopowego wymaga informacji o położeniach i wektorach prędkości wszystkich składających

---

<sup>12</sup>Stwierdzenie to jest pewnym uproszczeniem, ponieważ położenie czarnych kwadracików (czarnych punktów na reprodukcji) nie jest od siebie zupełnie niezależne. Pewne punkty "wymuszają" w jakimś stopniu położenie innych, aby zachować np. ciągłość owalu twarzy. Z tego oraz wielu innych powodów znalezienie najkrótszego opisu skomplikowanego stanu makroskopowego byłoby w praktyce bardzo trudne do zrealizowania. Niezmiernie kłopotliwa wydaje się bowiem ocena wzajemnej "korelacji" położenia rozmaitych punktów. Jest to jednakże "jedynie" problem techniczny, w żaden sposób nie podważający ogólnej zasady.

się na dany układ atomów. Człowiek jest stanem makroskopowym o wiele bardziej "uporządkowanym", niż beładna mieszanina atomów, ponieważ ilość możliwych stanów mikroskopowych "dających" jednorodną mieszaninę o czynnik ładu astronomiczny przewyższa ilość stanów mikroskopowych, które "zaklasyfikowalibyśmy" jako stan makroskopowy "człowiek". Ponieważ nie można jednak podać żadnych obiektywnych kryteriów takiej klasyfikacji, musimy albo przystać na immanentny subiektywizm termodynamiki, albo też zmienić nasze pojęcie obiektywności, godząc się, iż na poziomie termodynamicznym (a potem: biologicznym i psychicznym) wyłaniają się pewne cechy czy aspekty świata nieobecne na poziomie czysto dynamicznym. Oznaczałoby to przyznanie bardziej "obiektywnego" statusu takim aspektom świata, jak uporządkowanie, "cele" biologiczne i psychika, a w zasadzie - zanegowanie jakiegokolwiek zasadniczej różnicy, opozycji pomiędzy obiektywizmem i subiektywizmem. Osobiście jestem zwolennikiem tej drugiej alternatywy, uważam bowiem, że nasze powiązanie obiektywności jedynie z (sub)atomowym poziomem rzeczywistości stało się już nieco zbyt archaiczne, tym bardziej, że na tym właśnie poziomie mechanika kwantowa także napotyka na ogromne problemy z obiektywnością. Problemem zatarcia ostrej granicy pomiędzy obiektywną i subiektywną sferą świata zajmę się szerzej w trzeciej części książki, poświęconej ewolucji psychiki.

### 1.3.2. *Termodynamiczna ewolucja Wszechświata*

Jak pamiętamy z rozdziału poświęconego ("dynamicznej") ewolucji Wszechświata, zawarta w nim materia, początkowo tworząca jednorodną mieszaninę cząstek elementarnych, stopniowo zaczęła tworzyć skupiska w różnych skalach wielkości. Wyodrębnieniu uległy gromady galaktyk, same galaktyki, wreszcie - poszczególne pokolenia gwiazd. Przy dużym udziale pierwiastków ciężkich, zsyntetyzowanych w jądrach gwiazd, a następnie wyrzuconych w przestrzeń kosmiczną w wybuchach Supernowych, zaczęły się formować planety i ich księżycy, a także pomniejszy drobiazg skalny - meteoryty, komety i asteroidy. Homogeny pierwotnie rozkład materii uległ zatem zmianie na wybitnie niejednorodny. Co więcej, powstałe w wyniku tych przemian obiekty astronomicznie - galaktyki, gwiazdy, planety - uległy dalszemu wewnętrznemu zróżnicowaniu, wchodząc w posiadanie określonej struktury wewnętrznej. Galaktyki składają się z części centralnej i ramion spiralnych, gwiazdy posiadają jądro, płaszcz i koronę, planeta Ziemia oprócz dwuwarstwowego jądra i płynnego płaszcza "wyposażona" jest jeszcze dodatkowo w skorupę planetarną i atmosferę - obie charakteryzujące się warstwową budową i skomplikowaną dynamiką (do tego dochodzą jeszcze oceany, czyli hydrosfera). W przypadku planety, każda z jej warstw posiada odmienny skład pierwiastkowy, przy czym cięższe pierwiastki wykazują tendencję do lokalizacji bliżej środka (ciężkości) planety. Na naszej planecie, a zapewne także na wielu innych planetach we Wszechświecie, doszło dodatkowo do powstania wysoko uorganizowanych organizmów żywych, których stopień złożoności wzrastał z czasem, w procesie ewolucji biologicznej. Wreszcie, w niektórych przypadkach życie wydało istoty rozumne (jak my sami), którym do myślenia służy wielce skomplikowany mózg (lub odpowiadający mu organ u rozmaitych kosmitów). Wyrażna tendencja materii do osiągnięcia rozkładu wysoce niejednorodnego, a także do tworzenia rozmaitego rodzaju

uporządkowanych struktur wydaje się zatem niezaprzeczalna. Cecha ta stanowi, obok rozszerzania się przestrzeni, podstawowy rys dotychczasowej ewolucji Wszechświata.

Zaraz, zaraz. Przecież jeszcze przed chwilą, rozważając ewolucję układów termodynamicznych, do jakich bez wątpienia zalicza się złożony z wielu (czemu jak czemu, ale temu trudno zaprzeczyć) atomów Wszechświata, twierdziliśmy dokładnie coś przeciwnego. Zgodnie z drugim prawem termodynamiki, entropia, a zatem stopień nieuporządkowania ma rosnać, natomiast ilość informacji i związana z nią komplikacja struktury - maleć. Dowodziliśmy, że rozkład przestrzenny czy to cząsteczek gazu, czy kuleczek na tacy, dążyć powinien do jednorodnego rozkładu tych elementów systemu. Mozaika składająca się na obraz Mona Lisy powinna ulec rozsypaniu w bezładną mieszaninę kwadracików. Stało się jednak coś dokładnie przeciwnego - paręnaście miliardów lat po tym, jak wszystkie atomy tworzyły jednorodną zupę, z zupy tej wyłonił się, przy pewnej pomocy niejakiego Leonardo da Vinci, notabene także "potomka" owej zupy - obraz Mona Lisy! Czy po to zatem włożyliśmy tyle trudu, logicznie, krok po kroku, wyprowadzając najistotniejsze właściwości termodynamiki, by w końcu skonstatować, że jej prawa nie mają nic wspólnego z rzeczywistym światem, który jakoby nieuchronnie miał im podlegać? Czy rzeczywistość, w której żyjemy, zaprzecza najbardziej elementarnej logice?

Nic podobnego. Przytoczone powyżej "odstępstwa" od drugiego prawa termodynamiki, w postaci samoistnego formowania się wielkoskalowych skupisk materii (obiektów astronomicznych) i powstawania wysoko uorganizowanych organizmów żywych, są odstępstwami pozornymi. Ale, co ciekawe, dla zupełnie różnych powodów. Oznacza to, że skupianie się obłoków gazu i pyłu kosmicznego w ciała niebieskie w zupełnie inny sposób pozornie "obchodzi" ogólny trend do powszechnego wzrostu entropii, niż czyni to proces powstawania i ewolucji istot żywych. O ile organizmy biologiczne "żywią się" ujemną entropią otoczenia (negentropią), to obiekty astronomiczne są pod względem tworzenia własnej struktury "wbrew" regule narastania chaosu całkowicie "samowystarczalne". Obecny podrozdział poświęcony będzie temu, jak z drugą zasadą termodynamiki "radzą sobie" galaktyki, gwiazdy i planety, zaś w następnym powiem, jak termodynamika dopuszcza powstawanie organizmów żywych.

Kluczem do zrozumienia termodynamiki Wszechświata jako całości, a także bezpośrednio z nią związanej ewolucji rozkładu materii, jest siła grawitacji. Wywiera ją i jednocześnie jej podlega każdy obiekt materialny obdarzony masą. Jak powszechnie wiadomo, oddziaływanie grawitacyjne wywiera efekt przyciągający, a więc powodujący wzajemne zbliżanie się do siebie ciał. Na skutek tej właściwości materia wykazuje naturalną tendencję do gromadzenia się w jednym punkcie. To, że cała materia Wszechświata dawno już nie znalazła się w jednym miejscu, tworząc coś w rodzaju ogromnej czarnej dziury lub końcowej osobliwości, zawdzięczamy rozszerzaniu się Wszechświata. Odbywa się tutaj nieustanna "rywalizacja" pomiędzy oddalaniem się od siebie obiektów materialnych na skutek ekspansji Wszechświata a ich przybliżaniem się do siebie, spowodowanym grawitacją. Na dzień dzisiejszy grawitacja "wygrała" na mniejszych dystansach, co spowodowało uformowanie się planet, gwiazd, galaktyk i gromad galaktyk. Natomiast w większych skalach odległości ciągle jeszcze dominuje "impet" nadany materii (i przestrzeni) w czasie Wielkiego Wybuchu, dzięki czemu gromady

galaktyk nadal oddalają się od siebie. Generalnie jednak rzecz biorąc, grawitacja sprzyja niejednorodnemu rozkładowi materii w przestrzeni.

Natomiast wzajemne oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy poszczególnymi cząsteczkami gazu w pudełku z gazem jest tak znikome, że spokojnie można je zaniedbać. W gazie dominującą rolę odgrywa chaotyczny ruch i zderzanie się cząsteczek, wynikające z posiadanej przez nie energii kinetycznej. Właśnie ze względu na przypadkowy kierunek ruchu poszczególnych cząsteczek gaz zmierza do stanu losowego rozkładu tych cząsteczek w przestrzeni. Natomiast w przypadku obiektów o astronomicznej skali wielkości ruch nie jest bynajmniej przypadkowy - jego kierunek wymusza w głównej mierze siła grawitacji. W wyniku tego obiekty astronomiczne mają tendencję do zbliżania się do wspólnego środka ciężkości. To tłumaczy, dlaczego jednorodne obłoki gazu i pyłu kosmicznego uległy skupieniu w galaktyki, gwiazdy i planety, a nie zachodzi proces odwrotny, jaki ma miejsce w pudełku z gazem, czyli ewolucja w kierunku równomiernego rozkładu materii. Różnica wynika z wielkości rozpatrywanych układów. W skali kosmicznej, ze względu na ogromne masy, z jakimi mamy do czynienia, siła grawitacji (proporcjonalna do masy) dominuje nad przypadkowymi ruchami termicznymi cząsteczek. Nawet przecież pudełko z gazem lub ziemską atmosferę nie ulatuje w kosmos, lecz pozostaje w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią naszej planety na skutek grawitacyjnego przyciągania Ziemi. Na małą skalę, grawitacja pozwala jednak cząsteczkom gazu poruszać się "jak chcą", albowiem, ze względu na ich małą masę wzajemne przyciąganie grawitacyjne pomiędzy nimi jest bardzo słabe (gazy atmosferyczne utrzymuje przy powierzchni Ziemi oczywiście oddziaływanie grawitacyjne wywierane przez naszą planetę).

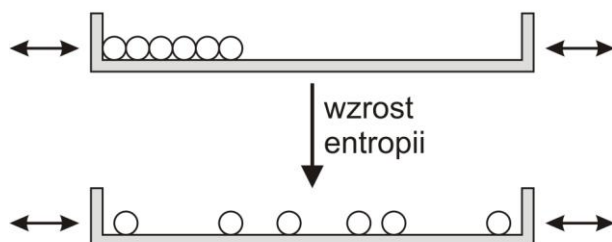
Różnicę pomiędzy kierunkiem ewolucji rozkładu materii w pudełku z gazem i w Kosmosie przedstawia obrazowo rycina 1.6. W tym pierwszym przypadku sytuacja odpowiada zachowaniu się kuleczek na tacy, którą potrząsamy. Potrząsanie to ma dostarczyć kuleczkom energii kinetycznej. Nawet jeżeli kuleczki skupimy początkowo w jednym miejscu, to na skutek przypadkowych zderzeń i tak szybko rozproszą się one chaotycznie po powierzchni tacy. Natomiast wielkie masy w astronomicznych skalach odległości zachowują się jak kuleczki na gumowej membranie. Nie rozbiegają się one bezładnie, przeciwnie - w wyniku grawitacji gromadzą się wokół wspólnego "środka ciężkości".

No dobrze, wiemy już, dlaczego obiekty astronomiczne, przeciwnie niż gaz w pudełku, mają tendencję do ewoluowania od równomiernego rozkładu materii w kierunku jej skupiania się w różnego rodzaju "struktury". Ale czy oznacza to, że w skali kosmicznej drugie prawo termodynamiki zostaje "odwrócone" i obowiązuje teraz zasada spadku entropii i wzrostu stopnia uporządkowania? Czy "termodynamiczna strzałka czasu" ulega zwróceniu w przeciwną stronę, kiedy przechodzimy do wielkich odległości i mas, wskazując inny kierunek, niż w mikroskali?

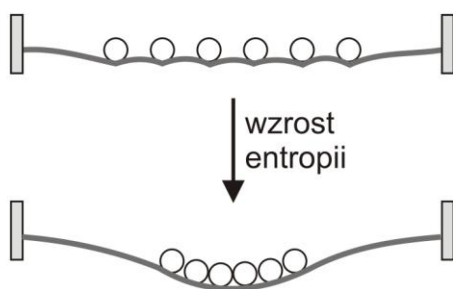
Nic podobnego się nie dzieje. Powstawanie planet, gwiazd i galaktyk z początkowo (prawie) równomiernie rozmieszczonego gazu i pyłu w przestrzeni także stanowi wyraz powszechnej dążności do wzrostu entropii i spadku uporządkowania. "No nie", może ktoś powiedzieć, "do przeknięcia tak jawnego absurdu nikt już mnie nie zmusi. Przecież to, co się dzieje w Kosmosie stanowi dokładne odwrócenie tego, co zachodzi w pudełku z gazem. Gdyby w środku tego pudełka uformować ze

wszystkich cząsteczek gazu kulę, taka "mini-planeta" natychmiast uległaby rozproszeniu po całym pudełku". Otóż sęk w tym, iż sytuacja w pudełku wcale nie jest dokładnym odwróceniem sytuacji w Kosmosie. Za ten brak symetrii ponownie odpowiedzialność ponosi grawitacja.

a. gaz w pudełku = potrząsana taca



b. ciała w polu grawitacyjnym = napięta gumowa membrana



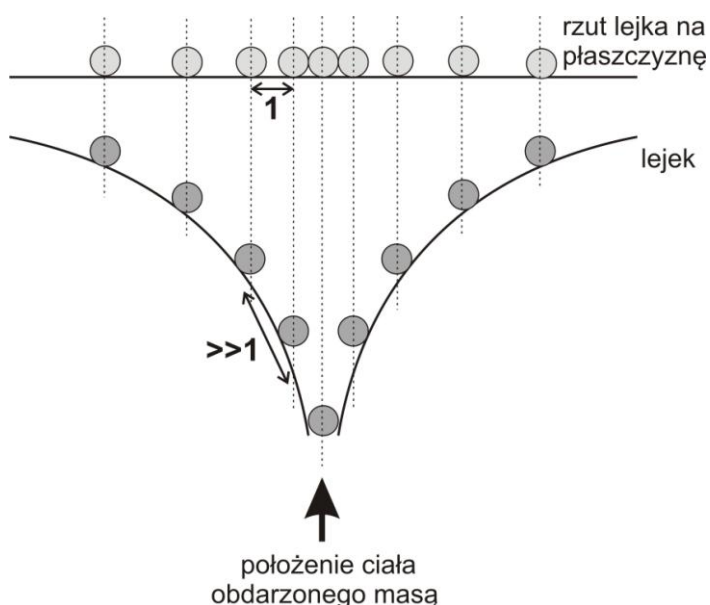
Ryc. 1. 6. Potrząsana taca z kuleczkami jako analogia ewolucji rozkładu materii w pudełku z gazem oraz kuleczki na gumowej membranie, ilustrujące ewolucję rozkładu mas w skali astronomicznej. W pierwszym przypadku kuleczki wykazują tendencję do rozkładu chaotycznego, w drugim - przeciwnie - ulegają skupieniu w jednym miejscu.

Od czasu ogłoszenia przez Einsteina ogólnej teorii względności wiemy, iż siła grawitacji jest identyczna z zakrzywieniem przestrzeni. To, co robi ciało obdarzone masą, kiedy wywiera przyciąganie grawitacyjne, polega na wygięciu "płaskiej"<sup>13</sup> trójwymiarowej przestrzeni w swego rodzaju trójwymiarowy "lejek", w który "wpadają" inne obiekty masywne<sup>14</sup>. Powierzchnia "normalnego" lejka jest tworem dwuwymiarowym, natomiast lejek trójwymiarowy możemy sobie wyobrazić jako

<sup>13</sup>Przynajmniej w skalach wielkości mniejszych niż, powiedzmy, miliard lat świetlnych. Jak pamiętamy, przestrzeń Wszechświata jako całości może być zakrzywiona dodatnio lub ujemnie. Na mniejszą skalę zakrzywienie to jest jednak zaniedbywalne, tak jak zakrzywienie powierzchni kuli ziemskiej w skali boiska piłkarskiego.

<sup>14</sup>Zakrzywienia tego nie dostrzegamy, ponieważ droga promieni widzialnych, poruszających się z ogromną szybkością (szybkością światła!) ulega tylko stosunkowo niewielkiemu ugięciu w lejku grawitacyjnym (choć znany jest efekt "soczewki grawitacyjnej", kiedy to widzimy podwójny lub nawet poczwórny obraz odległej galaktyki spowodowany zakrzywieniem ku sobie dróg promieni świetlnych pochodzących z tej galaktyki przez pole grawitacyjne położonej znacznie bliżej, pomiędzy Ziemią a rozważaną galaktyką, gwiazdy). Efekt zakrzywienia przestrzeni "odczuwany" przez o wiele wolniejsze obiekty obdarzone masą jest znacznie większy.

swego rodzaju "zagęszczenie" przestrzeni wokół ciała obdarzonego masą. Także lejek dwuwymiarowy odpowiada w pewnym sensie "zagęszczeniu" powierzchni. Jeżeli popatrzymy na taki lejek z góry lub, mówiąc językiem bardziej matematycznym, wykonamy rzut tego lejka na płaszczyznę poziomą, to jakiejś arbitralnej jednostce długości (przypiszmy jej umowną wartość 1) na płaszczyźnie tego rzutu będą odpowiadały dłuższe (większe niż 1) odcinki na powierzchni lejka, i to tym dłuższe, im bliżej środka (wylotu) lejka się znajdziemy. Ilustruje to rycina 1.7. Rozmieścimy teraz na płaszczyźnie rzutu kuleczki w taki sposób, aby tworzyły one "skupisko". Okazuje się, iż odpowiada to właśnie równomiernemu rozkładowi kuleczek na powierzchni lejka! Natomiast jednorodny rozkład kuleczek na płaszczyźnie rzutu oznaczałby właśnie rozrzedzenie kuleczek w lejku! Jeżeli spojrzymy zatem na sprawę "z punktu widzenia" lejka, to właśnie skupianie się kuleczek na płaszczyźnie rzutu oznacza ich jednorodne rozmieszczenie. Ponownie, ilustruje to rycina 1.7.



Ryc. 1. 7. Przekrój przez dwuwymiarowy lejek, symbolizujący zakrzywienie przestrzeni wokół ciała obdarzonego masą oraz rzut tego lejka na poziomą płaszczyznę, odzwierciedlający "pozorną" sytuację rejestrowaną przez nasze oczy za pośrednictwem promieni świetlnych. Arbitralnej jednostce długości równej 1 na płaszczyźnie rzutu odpowiada tym większa długość na powierzchni lejka, im bliżej środka ("otworu") lejka się znajdujemy (im bardziej strome są jego ściany). Z punktu widzenia płaszczyzny rzutu blisko centrum lejka jego powierzchnia (dzwuwymiarowa przestrzeń) ulega "zagęszczeniu". Równomierne rozmieszczenie kulek na powierzchni lejka sprawia wrażenie skupienia kulek obok siebie na płaszczyźnie rzutu (a więc dla naszych oczu), a co za tym idzie - ich wysoce niejednorodnego rozkładu w przestrzeni.

W realnej trójwymiarowej przestrzeni sytuacja jest analogiczna. Podczas gdy nasze oczy, za pośrednictwem promieni świetlnych, postrzegają raczej "rzut" trójwymiarowego lejka na tę przestrzeń, to obiekty materialne obdarzone masą "widzą" właśnie sam lejek, a nie jego "rzut" i odpowiednio do tego się zachowują. Jeżeli weźmiemy pod uwagę zagięcie, "zagęszczenie" przestrzeni wokół ciał oddziaływujących grawitacyjnie, to okaże się, że właśnie skupienie się materii w jednym miejscu odpowiada "równomiernemu" rozkładowi materii. Ku takiemu stanowi zmierza zatem ewolucja rozkładu materii we Wszechświecie i druga zasada termodynamiki okazuje się uratowana! Tworzenie



skupisk materii w skali astronomicznej okazuje się być dokładnie tym samym, co osiągnięcie równomiernego rozkładu przez gaz w pudełku.

Przypominam, że takiemu odwróceniu sytuacji "winna" jest grawitacja, równoważna zakrzywieniu przestrzeni w postaci trójwymiarowego "lejka" wokół ciał posiadających masę - przyciąganie grawitacyjne odpowiada właśnie "wpadaniu" innych ciał do takiego "lejka". Przy "spotkaniu się" dwóch mas ich lejki "zlewają się", tworząc jeden większy lejek, tym skuteczniej "zwabiający" do siebie inne ciała - "lejki". Dla promieni elektromagnetycznych natomiast (w tym widzialnych, służących nam do oglądu świata), ze względu na ich ogromną szybkość (szybkość światła) i zerową masę spoczynkową, przestrzeń "wydaje się" o wiele bardziej "płaska", niż dla znacznie wolniejszych ciał obdarzonych masą i przez to mających tendencję do wpadania w "grawitacyjny lejek". Gdybyśmy umieli "patrzeć oczami" ciał grawitujących, dostrzegliśmyby znacznie bardziej jednorodny rozkład materii we Wszechświecie, a co ważniejsze, ewolucja rozkładu materii od stanu jednorodnego do coraz to gęstszych i bardziej masywnych skupisk wyglądałaby dla nas jak przejście ze stanu wysoce niehomogennego (z "dziurami" o rozrzedzonym rozkładzie materii w miejscach odpowiadającym "lejkom") do równomiernego rozkładu materii.

Dodajmy, iż z punktu widzenia "lejka" rozkład "równomierny" odpowiada tym większemu "pozornemu" zagęszczeniu materii, im bliżej środka "lejka". Nie dziwi zatem, że takie obiekty astronomiczne jak Ziemia czy Słońce, w swym środku posiadają jądro o względnie największej gęstości (ciężarze właściwym), podczas gdy "najlżejsze" warstwy, takie jak atmosfera ziemska lub korona słoneczna, lokalizują się na zewnątrz. Do zrozumienia, dlaczego tak się dzieje, wystarczy spojrzeć na rycinę 1.7. Im bliżej centrum lejka, tym jego ściany stają się bardziej strome, a więc tym większemu "zagęszczeniu" ulega tam powierzchnia lejka (w przypadku lejka trójwymiarowego - jego "przestrzeń") w odniesieniu do rzutu lejka na poziomą płaszczyznę. Tym gęściej zatem musi być rozmieszczona materia na płaszczyźnie rzutu, by dać jednorodne rozmieszczenie masy na powierzchni lejka.

Uwzględniając zakrzywienie przestrzeni spowodowane przez wywierające przyciąganie grawitacyjne ciała obdarzone masą stwierdzamy, że rozkład materii we Wszechświecie zmierza ku stanowi mniej uporządkowanemu, o mniejszej ilości informacji i większej entropii. Krótko mówiąc, wynika to z faktu, że mimo "pozornej" tendencji materii do tworzenia rozmaitego rodzaju skupisk, "rzeczywisty" rozkład materii w powyginanej przestrzeni staje się z czasem właśnie bardziej jednorodny.

\* \* \*

Skoro już upewniliśmy się, że ewolucja rozkładu materii w Kosmosie prowadząca do koncentracji materii w rozmaite skupienia, zamiast zaprzeczać drugiej zasadzie termodynamiki, stanowi właśnie wyraz tej zasady, zobaczmy jak tendencja do wzrostu entropii ulegała realizacji w skali astronomicznej podczas historii naszego Wszechświata.

Jak pamiętamy, w początkowych okresach swego istnienia Wszechświat wypełniony był jednorodnie materią i promieniowaniem. Zjawisko inflacji, związane z ogromnym i bardzo szybkim rozszerzeniem się przestrzeni zaraz po Wielkim Wybuchu, doprowadziło do "wygładzenia" wszelkich ewentualnych zaburzeń w równomiernym rozkładzie materii. W panującej wówczas wysokiej temperaturze cząstki elementarne nieustannie zderzały się ze sobą, a także absorbowały (pochłaniały) i emitowały (wysyłały) kwanty promieniowania. Przypadkowe kolizje podtrzymywały homogenne rozmieszczenie materii w przestrzeni (chaotyczny ruch cząstek obdarzonych ogromną energią kinetyczną przeważał nad siłą grawitacji). Wraz z rozszerzaniem się Wszechświata temperatura oraz gęstość materii wciąż jednak malała; również promieniowanie elektromagnetyczne ulegało "rozrzedzeniu" i "ostudzeniu". Protony i elektrony połączyły się w atomy wodoru, a kolizje pomiędzy nimi oraz oddziaływanie z promieniowaniem praktycznie ustały. Na skutek "rozdymania się" się przestrzeni odległości pomiędzy atomami, przeciętnie rzecz biorąc, wzrastały. Nadal utrzymywał się mniej więcej jednorodny rozkład materii, "odziedziczony" po najwcześniejszej fazie ewolucji Wszechświata. I do dzisiaj zapewne Wszechświat pozostałby równomiernie wypełniony atomami wodoru, których zagęszczenie spadłoby w międzyczasie do kilku atomów na metr sześcienny - i spadałoby nadal - gdyby na scenie nie pozostała siła grawitacji.

Na skutek przypadkowych zderzeń pewne atomy znalazły się bliżej pewnych innych, niż pozostałych. Różnice te były początkowo raczej niewielkie i rozkład materii pozostawał prawie jednorodny. To "prawie" zadecydowało jednak o późniejszym powstaniu gwiazd, galaktyk i ich gromad. Jeżeli pewna liczba atomów przypadkiem utworzyła ledwo zarysowane skupisko, w którym poszczególne atomy znajdowały się nieco bliżej siebie, niż wynosiła przeciętna odległość pomiędzy atomami w całej przestrzeni, to mogła zarysować się niewielka przewaga wzajemnego przyciągania grawitacyjnego pomiędzy nimi nad tendencją do oddalania się od siebie wywołaną ekspansją Wszechświata. W rezultacie, drobne początkowo niejednorodności w rozkładzie materii zaczęły się powiększać. Cząstki materii w obrębie "pra-skupienia" oddalały się od siebie coraz wolniej, aż w końcu proces oddalania się uległ odwróceniu i zaczęło dochodzić do zbliżania się poszczególnych atomów. Natomiast przestrzeń pomiędzy skupiskami materii pustoszała - pozostała tam jeszcze materia była "wymiatana" przez przyciąganie grawitacyjne najbliższego skupiska. Proces ten zachodził jednocześnie w bardzo różnej skali. Oznacza to, iż na ogromnych obszarach formowały się skupiska wodoru, które dały potem początek gromadom galaktyk, wewnątrz tych skupisk materia ulegała koncentracji w "pra-galaktyki", w których z kolei różnicowały jeszcze mniejsze skupiska, będące "przodkami" gwiazd. W ciągu miliardów lat doszło do ukształtowania się "definitywnych" gwiazd, galaktyk i ich gromad. W obecnym Wszechświecie, o ile gromady galaktyk oddalają się od siebie, czyli obszar pustej, (prawie) pozbawionej materii przestrzeni pomiędzy nimi ulega zwiększeniu, to odległość pomiędzy galaktykami w gromadach oraz pomiędzy gwiazdami w galaktykach utrzymuje się średnio rzecz biorąc na stałym poziomie.

Drugiej zasadzie termodynamiki, działającej w polu grawitacyjnym, zawdzięczamy także powstanie wszystkich cięższych pierwiastków. W wyniku Wielkiego Wybuchu pojawił się głównie wodór oraz pewne ilości helu (który stanowił wagowo około 25 % pierwotnej materii). Pierwsze

pokolenia gwiazd w galaktykach formowały się wyłącznie z tych dwóch pierwiastków. Jednakże to właśnie pęd do wzrostu entropii, każący materii tworzyć skupiska w polu grawitacyjnym, spowodował ogromną kondensację materii we wnętrzach gwiazd (stanowiących centrum ogromnego leja grawitacyjnego). W rezultacie panujących przy tak wysokiej gęstości materii wielkich ciśnień i temperatur dochodzi do syntezy termojądrowej, kiedy to protony (jądra wodoru) i neutrony łączą się ze sobą w coraz to większe "skupiska" (jądra atomowe cięższych pierwiastków), przy czym wyzwala się ogromna ilość energii<sup>15</sup>. Powyższy proces pełni, z ludzkiego punktu widzenia, przynajmniej trzy ogromnie istotne "funkcje". Po pierwsze, stanowi źródło promieniowania elektromagnetycznego, w tym widzialnego, emitowanego przez gwiazdy (dlatego właśnie gwiazdy świecą). A to właśnie promieniowanie świetlne emitowane przez naszą gwiazdę (Słońce) napędza gros procesów termodynamicznych na powierzchni Ziemi, w tym wszelkie zjawiska związane z życiem. Po drugie, ciśnienie promieniowania powstałe na skutek syntezy termojądrowej, a więc - pośrednio - grawitacji, powstrzymuje gwiazdy przed dalszym zapadaniem się, spowodowanym właśnie siłą grawitacji. W rezultacie pomiędzy grawitacją a ciśnieniem promieniowania ustala się swego rodzaju równowaga, której wyrazem są określone rozmiary gwiazdy. Po trzecie wreszcie, w wyniku syntezy termojądrowej powstają jądra wszystkich pierwiastków we Wszechświecie cięższych niż wodór i hel (np. węgla, tlenu, krzemu i żelaza, ale także dziesiątków innych). Z tych pierwiastków w większości zbudowana jest nasza planeta i my sami.

Żeby posłużyć za budulec dla planet i organizmów żywych, cięższe pierwiastki musiały najpierw jakoś wydostać się z wnętrza gwiazd. Nie jest to możliwe w przypadku małych gwiazd, takich jak Słońce lub mniejszych, które po przekształceniu całego wodoru i helu w swym wnętrzu w cięższe pierwiastki po prostu powoli "wygasają" (przechodząc wcześniej przez stadium czerwonego olbrzyma, białego karła i brązowego karła). Jednakże gwiazdy masywniejsze mają żywot o wiele bardziej burzliwy. W pewnym momencie ich rdzeń gwałtownie zapada się, tworząc gwiazdę neutronową lub czarną dziurę, podczas gdy warstwy zewnętrzne równie gwałtownie eksplodują we wszystkie strony jako Supernowa. To właśnie przy wybuchu Supernowych cięższe pierwiastki "zabierają się" z wyrzucanymi w przestrzeń kosmiczną zewnętrznymi warstwami. Tu wzbogacają obłoki gazu międzygwiazdowego, składającego się pierwotnie głównie z wodoru (z domieszką helu). Z takich obłoków gazowo-pyłowych rodzi się następne pokolenie gwiazd. Formują się także planety o twardej skorupie, takie jak Ziemia. Na niektórych z nich, na bazie pierwiastków zsyntetyzowanych we wnętrzach masywnych gwiazd, rodzi się życie.

Wróćmy jednak do pozornie "porządkującej" roli grawitacji. Grawitacja nie tylko powoduje powstawanie skupisk materii, co było już omawiane, ale także "wymusza" ich wewnętrzną strukturę. Panuje ogólna tendencja do największego zagęszczenia masy w centrum skupienia (o przyczynach tego zjawiska wspominałem wcześniej). Wewnątrz galaktyk więcej gwiazd przypada na jednostkę

---

<sup>15</sup>Energia ta uwalnia się na skutek utworzenia "wiązań" pomiędzy nukleonami (protonami i neutronami) na skutek działania silnych oddziaływań jądrowych. Aby rozdzielić nukleony, trzeba dostarczyć wielkiej ilości energii. Logiczne więc jest, że w procesie odwrotnym (wiązaniu nukleonów) energia ta jest wyzwolana.

objętości, niż na ich obrzeżu. Co więcej, istnieją przesłanki aby sądzić, że centrum przynajmniej niektórych galaktyk okupują czarne dziury o ogromnej masie, reprezentujące możliwie najbardziej "skondensowaną" formę masy. Również w gwiazdach największa gęstość materii (a także ciśnienie i temperatura) panuje w ich środku, gdzie zachodzą reakcje termojądrowe. Co do naszej planety, to kiedy powstawała, w jej centrum uległo "wytopieniu" (tak jak w piecu hutniczym) metaliczne jądro, o największym ciężarze właściwym. Ponad nim, w wyniku "rozwarstwienia grawitacyjnego" wydzieliły się, coraz lżejsze, kolejno: płaszcz, skorupa ziemska, hydrosfera i atmosfera. A zatem widzimy, że grawitacja nie tylko "porządkuje" materię w przestrzeni, koncentrując ją w rozmaitych skupiskach, ale także nadaje tym skupiskom określoną "strukturę". Pamiętajmy jednak, iż wszystko to zachodzi zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, a więc że zarówno to "uporządkowanie", jak i "struktura" są w pewnym sensie "pozorne". Lub - lepiej - "porządek grawitacyjny" odpowiada czemuś zasadniczo innemu, wręcz przeciwnemu, niż "porządek termodynamiczny".

Proces coraz większej koncentracji masy ciągle zachodzi i nadal będzie postępował w czasie. Zmierza on do "zamknięcia" całej materii, a przynajmniej możliwie dużej jej części, w tak zwanych czarnych dziurach. Wspomniałem już, że przynajmniej niektóre z nich stanowią końcowe stadium ewolucji masywnych gwiazd. Pozostaje jednak do wyjaśnienia, czym w ogóle jest czarna dziura.

Jeżeli wystarczająco duża masa zostanie skupiona w wystarczająco małej objętości, to w bezpośrednim sąsiedztwie tej masy pole grawitacyjne staje się tak silne, że nawet światło (szerzej - promieniowanie elektromagnetyczne), które porusza się z największą możliwą w Kosmosie prędkością (prędkością światła właśnie), jest zbyt wolne, aby wydostać się z zasięgu przyciągania tej masy. Nie może zatem oddalić się wystarczająco daleko w przestrzeń, aby zostać odebrane przez oczy jakiegoś obserwatora. A ponieważ nic we Wszechświecie nie może się poruszać szybciej od światła (na założeniu tym oparta jest szczególna teoria względności), nic też, żaden sygnał (jakiegokolwiek nie byłby natury) nie może opuścić wystarczająco "stromej" lejki grawitacyjnego utworzonego przez dostatecznie gęstą materię (pozorny wyjątek stanowi tzw. promieniowanie Hawkinga, o którym za chwilę). Wszystko zaś, co "wpadnie" do tego lejka, czy to będzie materia, czy promieniowanie, nigdy się już z niego nie wydostanie, po prostu "zniknie" jak w dziurze. Z definicji, ciało czarne to takie ciało, które nie wysyła promieniowania widzialnego. Nic więc dziwnego, że masywne obiekty, którym przysługują opisane powyżej właściwości, nazwano "czarnymi dziurami".

Wspomniałem wcześniej, że czarne dziury reprezentują najbardziej skondensowaną formę masy we Wszechświecie. Jak skondensowaną? Wedle aktualnych teorii fizycznych (w szczególności - ogólnej teorii względności) - nieskończenie. W centrum czarnej dziury pojawia się bowiem osobliwość czasoprzestrzeni (podobna do dyskutowanej wcześniej osobliwości początkowej, a w szczególności - ze względu na kierunek strzałki czasu - do osobliwości końcowej w zamkniętym wszechświecie) o zerowych rozmiarach i nieskończonej gęstości.

Czarne dziury są także formą materii/energii o największej (maksymalnej możliwej) entropii. Jak wspomniałem, termodynamicznym "szczytem marzeń" wszystkich obiektów obdarzonych masą jest znalezienie się w jednym punkcie, odpowiadającym środkowi "wspólnego" lejki grawitacyjnego

tych obiektów. A to właśnie "zapewniają" im czarne dziury. Nic więc zatem dziwnego, iż te ostatnie stanowią końcowy etap ewolucji (przemian jednej w drugą) form, jakie przybiera materia.

Ale na tym nie koniec. Entropia czarnej dziury zależy od jej wielkości - im większa czarna dziura, tym wyższa entropia. Dzięki temu dalszy wzrost entropii układu może nastąpić w dwojaki sposób. Albo czarna dziura będzie "wsysać" do swego wnętrza, pochłaniać na skutek przyciągania grawitacyjnego materię z otaczającej ją przestrzeni, zwiększając tym samym swe rozmiary i masę, albo też dwie czarne dziury będą się łączyć w jedną, z podobnym skutkiem. Tego wymaga druga zasada termodynamiki, mówiąca o nieuchronnej tendencji do wzrostu entropii. Daje nam to niesamowicie "obcą" wizję dalekiej przyszłości naszego Wszechświata - (prawie) cała materia istniejąca w formie czarnych dziur, łączących się w coraz to większe i większe czarne dziury. W nieskończonym Wszechświecie ten ostatni proces może także zachodzić w nieskończoność. Przyciąganie grawitacyjne będzie wyhamowywać ekspansję na coraz to większych i większych skalach odległości, tak że materia z coraz to rozleglejszych obszarów Wszechświata ulegnie ostatecznie skupieniu w jednej czarnej dziurze. Będzie to zachodzić bez końca, tym bardziej iż, w związku ze wzrostem rozmiarów Wszechświata, szybkość wzrostu maksymalnej możliwej entropii<sup>16</sup> przewyższy szybkość wzrostu entropii aktualnej, wyrażającej się wielkością czarnych dziur. "Rozdźwięk" pomiędzy entropią już osiągniętą a możliwą do osiągnięcia będzie zatem ulegał ciągłemu zwiększeniu. Nie jest to jednak ten rodzaj gradientów termodynamicznych, który mógłby być odpowiedzialny za np. napędzanie procesów życiowych. Istotnie, trudno wyobrazić sobie życie w świecie przeraźliwie pustej przestrzeni i przeraźliwie rzadko rozmieszczonych, niesłychanie masywnych czarnych dziur. Ale może to tylko kwestia braku wyobraźni.

We Wszechświecie zamkniętym (o skończonych rozmiarach i czasie istnienia) cała materia ulegnie w końcu skupieniu w końcowej osobliwości, o zerowych rozmiarach i nieskończonej gęstości. Obecna ekspansja przestrzeni ulegnie w pewnym momencie zatrzymaniu i materia, której coraz to większa część będzie występowała w formie czarnych dziur, zbiegnie się ostatecznie w jednym punkcie. W pewnym sensie końcowa osobliwość można uznać za coś w rodzaju ułtymatywnej, finalnej "czarnej dziury" o maksymalnej entropii, w której skupia się cała materia i "zwija" do punktu cała przestrzeń.

Pamiętamy, iż podobne właściwości (zerowe rozmiary, nieskończona gęstość i temperatura) przysługiwały początkowej osobliwości, "poprzedzającej" bezpośrednio Wielki Wybuch (a właściwie stanowiącej jego punkt startowy). Czy więc końcowa osobliwość stanowi po prostu "odwrócenie w czasie" osobliwości początkowej? Jeśli tak, oznaczałoby to, iż Wszechświat w końcu wróci do punktu wyjścia. Taki stan rzeczy byłby równoważny także z powrotem entropii do jej początkowej wartości. Jak to się ma do drugiej zasady termodynamiki, mówiącej o tendencji do wzrostu entropii, i jak to jest możliwe skoro, jak widzieliśmy, entropia w trakcie ewolucji Wszechświata rzeczywiście cały czas rośnie?

<sup>16</sup>Rozszerzanie się przestrzeni zwiększa ilość możliwych stanów mikroskopowych (w tym przypadku - dopuszczalnych położeń w przestrzeni), co powoduje wzrost maksymalnej możliwej entropii.

Otóż końcowa osobliwość wcale nie jest "lustrzanym odbiciem" w czasie osobliwości początkowej. Jej "struktura" (rozumiana w takim sensie, w jakim można mówić o strukturze punktu!) jest bowiem całkowicie odmienna. W "najbliższym sąsiedztwie" początkowej osobliwości materia jest rozmieszczona bardzo równomiernie, w postaci jednorodnej "zupy" cząstek elementarnych i promieniowania. Krzywizna przestrzeni jest tu wszędzie praktycznie taka sama. Natomiast "najbliższe sąsiedztwo" osobliwości końcowej jest bardzo niejednorodne, zróżnicowane na masywne czarne dziury i rozdzielającą je pustą przestrzeń. Zakrzywienie przestrzeni także wykazuje istotne odchylenia od jednostajności ze względu na potężne "leje" grawitacyjne czarnych dziur. Przyszłe teorie (np. grawitacja kwantowa), które usuną nieprzyjemne właściwości początkowej i końcowej osobliwości, takie jak zerowe rozmiary i nieskończona gęstość, pozwolą zapewne mówić w sposób bardziej sensowny o strukturze samych "osobliwości".

Pamiętamy iż, biorąc poprawkę na siłę grawitacji, wspomniane przed chwilą różnice pomiędzy początkową i końcową osobliwością oznaczają, że entropia pierwszej była niska, drugiej zaś - wysoka. A zatem w trakcie historii Wszechświata zamkniętego następuje "roztrwonienie" porządku i związanej z nim informacji, równoważne ze wzrostem entropii. Po raz kolejny druga zasada termodynamiki zostaje uratowana.

Już w poprzednim rozdziale, poświęconym dynamicznej ewolucji naszego Universum, doszliśmy do wniosku, iż powstanie Wszechświata było równoważne (przynajmniej w pewnym aspekcie) z pojawieniem się informacji o wzajemnym rozłożeniu materii i przestrzeni w polu grawitacyjnym. Teraz wniosek ten wraca ze wzmożoną siłą w kontekście termodynamicznym. Ciała obdarzone masą mają naturalną tendencję do wzajemnego wpadania do swoich "lejków" grawitacyjnych. Równomierne rozmieszczenie materii w przestrzeni jest więc równie mało prawdopodobne, co takie (powstałe spontanicznie) rozmieszczenie głazów w terenie, iż każdy głaz spoczywa na szczycie bardzo stromego wzniesienia, mającego postać iglicy skalnej. Jest oczywiste, że erozja i wiatr spowodują nieuchronne staczanie się głazów w doliny pomiędzy iglicami. To mniej więcej dzieje się w trakcie ewolucji Wszechświata, z tym że poszczególne głazy są źródłem dolin (lejków grawitacyjnych) dla innych głazów, i że doliny te ulegają z czasem "zlewaniu się" w większe zagłębienia, łącząc swe siły w "przyciąganiu" innych głazów. Niewątpliwie stan makroskopowy "każdy głaz na czubku iglicy" jest wyróżniony w stosunku do wszystkich innych stanów makroskopowych. Niesie on więc ze sobą ogromną ilość informacji - wygląda to tak, "jakby ktoś to wszystko celowo poustawiał". Pamiętamy, iż istotny wkład w "wygładzenie" ewentualnych początkowych niejednorodności w rozkładzie materii miała gwałtowna ekspansja Wszechświata (szczególnie w fazie tzw. inflacji). Ona też zapobiegła (i do dziś zapobiega) zapadnięciu się całej materii w jeden punkt. Rozwiązanie problemu, skąd wzięła się ta ekspansja i związana z nią informacja, pozostaje jednym z największych wyzwań kosmologii.

W powyższych rozważaniach nacisk położony został na siłę grawitacji. Jednakże, za ogólny trend do tworzenia przez materię różnego rodzaju skupisk odpowiadają w historii Wszechświata kolejno trzy rodzaje oddziaływań. Najpierw silne oddziaływania jądrowe spowodowały połączenie się kwarków w protony i neutrony (a potem utworzenie przez nie jąder atomowych rozmaitych

pierwiastków). Następnie przyciąganie elektryczne doprowadziło do utworzenia atomów poprzez przyłączenie ujemnie naładowanych elektronów do jąder atomowych obdarzonych ładunkiem dodatnim. Wreszcie, siła grawitacji spowodowała powstawanie skupisk atomów, a następnie - czarnych dziur. "Przemiana" materii w czarne dziury, a także łączenie się i powiększanie tych ostatnich będzie najprawdopodobniej dalej postępować w czasie.

Czarne dziury mogą co prawda "wyparowywać" w wyniku tak zwanego "promieniowania Hawkinga". Na granicy horyzontu zdarzeń czarnej dziury (czyli obszaru, spoza którego nie mogą już docierać żadne sygnały, łącznie ze światłem) ulegają czasem spontanicznej kreacji (dopuszcza to mechanika kwantowa) pary cząstka - antycząstka, np. dwa fotony (czyli kwanty promieniowania elektromagnetycznego). W silnym polu grawitacyjnym czarnej dziury jeden z nich może mieć energię dodatnią, drugi zaś - ujemną (jak pamiętamy, odsunięcie od siebie mas w przestrzeni równoważne jest z ujemną energią grawitacji - fotony nie mają co prawda masy spoczynkowej, ale posiadają określoną energię równoważną z masą). Cząstka o energii dodatniej zostaje wyemitowana w przestrzeń kosmiczną (stąd promieniowanie Hawkinga), natomiast cząstka o ujemnej energii wpada do czarnej dziury, pomniejszając jej dodatnią energię, a zatem masę (einsteinowska równoważność energii i masy). W ten sposób czarnej dziury ubywa w czasie - jej masę (energię) unosi w przestrzeń foton o dodatniej energii (suma jego energii oraz ujemnej energii jego "partnera" wpadającego do czarnej dziury jest oczywiście zerowa).

Jednakże, opisany wyżej proces jest niesłychanie mało wydajny. Duże czarne dziury pozbywają się swojej masy bardzo powoli, a im większa dziura, tym wolniej "wyparowuje". Wzrost czarnych dziur na skutek wchłaniania materii i łączenia się dwóch dziur w jedną z nawiązką zatem kompensuje ubytki masy spowodowane promieniowaniem Hawkinga. To ostatnie zdaje się więc nie wywierać istotnego wpływu na przytoczony wyżej scenariusz ewolucji Wszechświata.

Wspomniałem już, iż trudno sobie wyobrazić istnienie życia w późnych etapach ewolucji Wszechświata, nawet jeżeli jest on nieskończony i będzie istniał wiecznie. O ile, z formalnego punktu widzenia, nie nastąpi "termiczna śmierć Wszechświata" w tym sensie, że na skutek rozszerzania się przestrzeni nastąpi wzrost gradientów termodynamicznych (rozpiętości pomiędzy entropią maksymalną i aktualną), to prawie pusta przestrzeń z rzadka usiana czarnymi dziurami nie stanowi obiecującej scenarii dla procesów biologicznych. Życie możliwe zatem jest jedynie w pewnym "oknie" w historii Wszechświata, kiedy to materia znajduje się dopiero "na drodze" do kondensacji w czarnych dziurach, przechodząc we wnętrzach gwiazd, w procesie syntezy termojądrowej, "ewolucję" od stadium wodoru (i helu) do etapu cięższych pierwiastków. Powyższy proces jest kluczowy dla istnienia życia z dwóch względów. Po pierwsze, dostarcza budulca, w postaci tychże cięższych pierwiastków wyrzucanych w przestrzeń w wybuchach Supernowych, dla planet, na których może rozwijać się życie, a także dla samego życia. Po drugie, prowadzi do emisji promieniowania elektromagnetycznego, przede wszystkim w widzialnej części widma (jest to właśnie "świecenie" Słońca i gwiazd), będącego pierwotną siłą napędową wszelkich procesów życiowych. Musimy zatem pogodzić się z faktem, że fenomen życia stanowi tylko "chwilową" efemerydę w historii Wszechświata, bez względu na to, jaka ostateczna przyszłość go czeka. Jak się przekonamy, życie

jest (z fizycznego punktu widzenia) tylko jednym ze sposobów rozpraszania energii, czyli wzrostu entropii. W momencie, kiedy pewien określony rodzaj wzrostu entropii, polegający na syntezie termojądrowej we wnętrzach gwiazd, ulegnie zakończeniu, na procesy życiowe nie będzie po prostu miejsca we Wszechświecie.

### 1.3.3. Termodynamiczna ewolucja życia

Wielokrotnie została już na kartach tej książki wspomniana druga zasada termodynamiki, mówiąca o nieuchronnym wzroście entropii w czasie. Czego jednak w takim razie dotyczy, dotychczas przemilczana, pierwsza zasada termodynamiki (nasuwa się logiczny wniosek, że skoro istnieje druga, to musi istnieć i pierwsza)? Otóż stwierdza ona po prostu, że w układzie izolowanym (nie wymieniającym materii i energii z otoczeniem) ogólna ilość energii pozostaje stała. Oznacza to, że energia nie może powstać "z niczego", ani też zniknąć bez śladu. Może natomiast, i to jest bardzo istotne, ulegać przekształceniu z jednej formy z inną. Jak wiemy, energia może występować w wielu postaciach: energii kinetycznej, potencjalnej, promienistej, grawitacyjnej, cieplnej itd.. Należy pamiętać, iż jedną z "form" energii stanowi materia, zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina na równoważność energii i masy. Pierwsza zasada termodynamiki dopuszcza zatem przejście energii z jednej postaci w inną, pod warunkiem, że ogólna ilość energii pozostanie niezmienną.

Pierwsza zasada nie mówi natomiast nic o kierunku tych przemian, tzn. o tym, które postaci energii "chętniej" ulegają transformacji w inne oraz jaki rodzaj energii jest preferowany jako końcowy etap całego ciągu przekształceń ("ewolucji form") energii. Tu właśnie wchodzi na scenę druga zasada termodynamiki. Po niewielkim przeformułowaniu głosi ona, iż energia ma tendencję do przekształcania się z formy bardziej uporządkowanej (użytecznej) do postaci mniej uporządkowanej (posiadającej mniejszą zdolność do wykonania użytecznej pracy). W skalach wielkości w których zachodzą procesy życiowe (a więc na tyle mniejszych od skal astronomicznych, że siła grawitacji traci swą kluczową rolę) najbardziej nieuporządkowanym rodzajem energii jest energia cieplna. Wedle drugiej zasady termodynamiki energia zostaje zatem ostatecznie rozpraszana w postaci ciepła.

Z obu zasad termodynamiki płyną ważne implikacje co do fizycznych aspektów funkcjonowania organizmów żywych. Pierwsza zasada uczy, iż życie w żaden sposób nie produkuje energii, jak to się często w uproszczeniu podaje, np. w odniesieniu do "produkcji" energii w postaci ATP. Przeciwnie, życie jedynie przekształca energię z jednej formy w inną. Energia zgromadzona w postaci ATP pochodzi z energii uwolnionej podczas utleniania substancji pokarmowych, a jej zaletą jest powszechna dostępność dla różnych procesów w komórce potrzebujących energii do swego zajęcia. Mówiąc bardziej ogólnie, życie stanowi tylko jeden z procesów uczestniczących w rozpraszaniu energii (przemianie jej formy o niskiej entropii w formę o wysokiej entropii) przez powierzchnię kuli ziemskiej. Ten ostatni proces z kolei to zaledwie mikroskopijny "przyczynek" do całokształtu przemian energii w Kosmosie.

Powierzchnia Ziemi otrzymuje znaczące ilości jednego tylko rodzaju energii z jednego tylko źródła (jeżeli pominiemy niewielkie ilości energii ciągle jeszcze uwalniane z wnętrza naszej planety).



Chodzi tu oczywiście o promieniowanie elektromagnetyczne, a w szczególności promieniowanie widzialne (światło) emitowane przez Słońce. Otrzymując energię, Ziemia musi się także w jakiś sposób jej pozbywać, tak aby ilość energii "nagromadzona" w danej chwili na powierzchni Ziemi pozostawała mniej więcej niezmienną - gdyby istniał tylko dopływ energii do powierzchni Ziemi, jej temperatura rosnęłaby do nieskończoności. Praktycznie jedynym sposobem pozbywania się energii przez naszą planetę jest emisja promieniowania podczerwonego (ciepłego) w przestrzeń kosmiczną. Jak wspomniałem, bilans energetyczny powierzchni Ziemi jest dokładnie zerowy - tyle samo energii ulega absorpcji, ile jest emitowane. Kluczowe znaczenie ma jednak to, iż pochłanianiu ulega promieniowanie widzialne, wysyłaniu natomiast - promieniowanie podczerwone. Taki stan rzeczy możliwy jest dzięki temu, że niebo nad naszymi charakteryzuje się wysokim stopniem niejednorodności: mały obszar zajmuje na nim gorąca plama Słońca, natomiast na resztę przypada zimna pustka Kosmosu. Gdyby całe niebo posiadało temperaturę Słońca, również powierzchnia Ziemi szybko nabrałaby tej samej temperatury, osiągając stan równowagi termicznej z niebem, stan o maksymalnej możliwej entropii, w którym wszelkie spontaniczne procesy, takie jak życie, stałyby się niemożliwe. Tak się jednak na szczęście nie dzieje. Przestrzeń kosmiczna jest o wiele zimniejsza od powierzchni gwiazd, a Ziemia stanowi jedynie "przystanek" dla promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez naszą gwiazdę w przestrzeń, przystanek o tyle szczególny, że zmienia jeden rodzaj promieniowania w inny.

Promieniowanie widzialne, które dociera do nas od Słońca, powstaje z przekształcenia innej formy energii, mianowicie energii kinetycznej cząsteczek gazu we wnętrzu Słońca. Źródłem tej ostatniej jest z kolei energia uwolniona w trakcie wiązania dwóch protonów i dwóch neutronów (ściślej rzecz biorąc – czterech protonów i dwóch elektronów; dwa protony i dwa elektrony przekształcają się w dwa neutrony) w jądro helu w syntezie termojądrowej. Nukleony (protony i neutrony) w jądrze wiążą silne oddziaływanie jądrowe. Nukleony odsunięte od siebie w przestrzeni (podobnie jak masy wywierające siłę grawitacji) posiadają energię potencjalną obdarzoną znakiem ujemnym. Natomiast energia potencjalna nukleonów zgromadzonych w jednym miejscu wynosi zero. Połączenie nukleonów w jądro oznacza zatem przejście od energii ujemnej do zerowej, czyli po prostu wzrost energii układu. Ta właśnie energia ulega uwolnieniu w syntezie termojądrowej i przekształceniu w energię kinetyczną cząstek i atomów. Reakcje termojądrowe możliwe są zaś dzięki grawitacji, która tak "ściska" protony i neutrony we wnętrzu gwiazd, że do głosu dojść mogą działające na bardzo krótką odległość silne oddziaływania jądrowe. Pierwotnym "zapalnikiem" całego opisanego wyżej szeregu przemian jednych form energii w inne okazuje się właśnie grawitacja.

Przypomnijmy, że łańcuch ten obejmuje przekształcenie energii uwolnionej w procesie wiązania nukleonów w jądrze helu (a potem także cięższych pierwiastków) w energię kinetyczną atomów, a następnie w promieniowanie świetlne (widzialne), co zachodzi we wnętrzu i na powierzchni gwiazd, oraz przemianę promieniowania widzialnego w podczerwone (ciepłe), dokonującą się na powierzchni Ziemi (promieniowanie ciepłe ulega następnie rozproszeniu w Kosmosie). Jako "siła napędowa" procesów życiowych będzie nas interesował oczywiście przede wszystkim ten ostatni proces. Przemiana promieniowania widzialnego w podczerwone oznacza

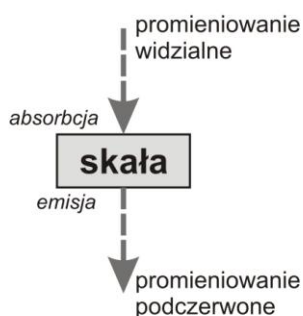
(wraca tu jak bumerang druga zasada termodynamiki), że to ostatnie posiada wyższą entropię. Zgodnie z mechaniką kwantową fale promieniowania elektromagnetycznego rozchodzą się w "pakietach" zwanych kwantami. Długość fali promieniowania widzialnego jest mniejsza, niż promieniowania ciepłego, a zatem (znowu zgodnie z mechaniką kwantową) energia jego kwantów jest większa. Zgodnie z pierwszym prawem termodynamiki (czyli zasadą zachowania energii) ogólna energia promieniowania pochłanianego i wysyłanego przez powierzchnię Ziemi musi być taka sama. A zatem liczba wysokoenergetycznych kwantów promieniowania widzialnego absorbowanych przez naszą planetę jest mniejsza, niż liczba niskoenergetycznych kwantów, które potem ulegają emisji w postaci promieniowania podczerwonego. Energia promieniowania podczerwonego charakteryzuje się wobec tego większym stopniem rozproszenia w przestrzeni (jest rozrzucona po większej ilości miejsc, mniej "uporządkowana"), co oznacza oczywiście większą entropię.

Biorąc pod uwagę wszystko powiedziane powyżej, z punktu widzenia termodynamiki Kosmosu główną "rolę" powierzchni Ziemi stanowi rozpraszanie energii promieniowania widzialnego w postaci energii promieniowania podczerwonego, a więc produkcja entropii. Za realizację tego "zadania" odpowiada wiele różnych procesów. Najprostszym z nich jest absorpcja i emisja promieniowania przez nagą skałę (ewentualnie np. przez piasek pustyni). Powierzchnia skały nagrzewa się w ciągu dnia poprzez pochłanianie (także) promieniowania elektromagnetycznego w widzialnym zakresie widma. Następnie, zarówno w ciągu dnia, jak i (przede wszystkim) nocy skała oddaje ciepło (i ulega ochłodzeniu) poprzez wysyłanie promieniowania podczerwonego. Przedstawia to górny schemat na rycinie 1.8. Przekształcenie promieniowania widzialnego w ciepłe odbywa się tu w zasadzie dwuetapowo. Najpierw energia promieniowania widzialnego przemienia się w energię kinetyczną cząsteczek budujących skałę, a ta z kolei przemienia się w energię promieniowania podczerwonego.

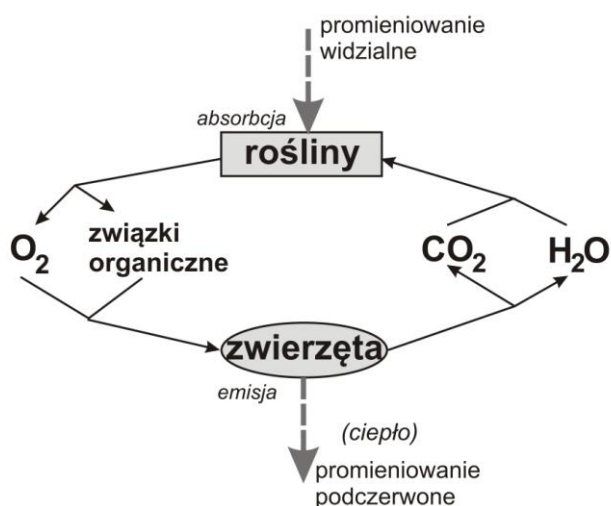
Nieco bardziej skomplikowana sytuacja wygląda w przypadku nagrzewania przez Słońce powierzchni oceanów. Przekształcanie jednego rodzaju promieniowania w drugie uruchamia tu szereg procesów hydrologicznych i atmosferycznych, związanych z cyklicznym obiegiem wody. Powierzchnie oceanów (dotyczy to oczywiście także mniejszych zbiorników wodnych, np. mórz i jezior) oddają ciepło otrzymane od Słońca w wyniku absorpcji promieniowania widzialnego wyparowując do atmosfery pewną ilość cząsteczek wody w postaci pary wodnej. Promienie świetlne przekazują swą energię cząsteczkom wody w oceanie, zwiększając szybkość ich ruchu (czyli energię kinetyczną), co umożliwia transport pary wodnej w wyższe warstwy atmosfery wbrew sile grawitacji, a zatem uzyskanie energii potencjalnej. Tam para wodna ulega ochłodzeniu, pozbywając się części energii w postaci promieniowania podczerwonego, emitowanego w Kosmos. W rezultacie para wodna formuje chmury, w obrębie których ulega skropleniu i opada na powierzchnię Ziemi w postaci deszczu, przekształcając swą energię potencjalną w energię kinetyczną kropli deszczu. Ta część opadów, która spadnie na ląd, tworzy strumienie i rzeki, spływające z powrotem do oceanów. Energia kinetyczna płynącej w nich wody, służąca na przykład do napędzania turbin produkujących prąd w elektrowniach wodnych, to nic innego, jak przekształcona energia promieniowania Słońca. Kiedy woda trafia ostatecznie do oceanu, może ponownie ulec wyparowaniu i cykl się zamyka. Przemiana

promieniowania widzialnego w podczerwone napędza więc tutaj pewien cykliczny proces, tworzy pewną dynamiczną strukturę. Nagrzewanie i oziębianie mas powietrza powoduje dodatkowo takie zjawiska atmosferyczne, jak fronty baryczne, wiatry (w tym huragany) i trąby powietrzne. Przetwarzanie (rozpraszanie) energii w atmosferze i hydrosferze nie powoduje zatem całkowicie bezładnego zachowania się cząsteczek wody i powietrza (choć zjawiska atmosferyczne i hydrologiczne w pewnym istotnym sensie należy uznać za chaotyczne - porównaj dyskutowany wcześniej efekt motyla) - przeciwnie, w zachowaniu się prądów atmosferycznych dadzą się dostrzec pewne regularności, a zatem uporządkowanie. Nie ma ono nic wspólnego ze strukturami tworzonymi przez grawitację - oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy różnymi częściami atmosfery jest niewielkie. Znowu więc pozornie dzieje się coś sprzecznego z duchem drugiej zasady termodynamiki - stopień uporządkowania, zamiast maleć - rośnie. Zakonotujmy sobie na razie ten problem bez rozwiązywania go i przejdźmy dalej.

*a. rozpraszanie energii przez nagą powierzchnię Ziemi*



*b. życie jako system rozpraszający energię*

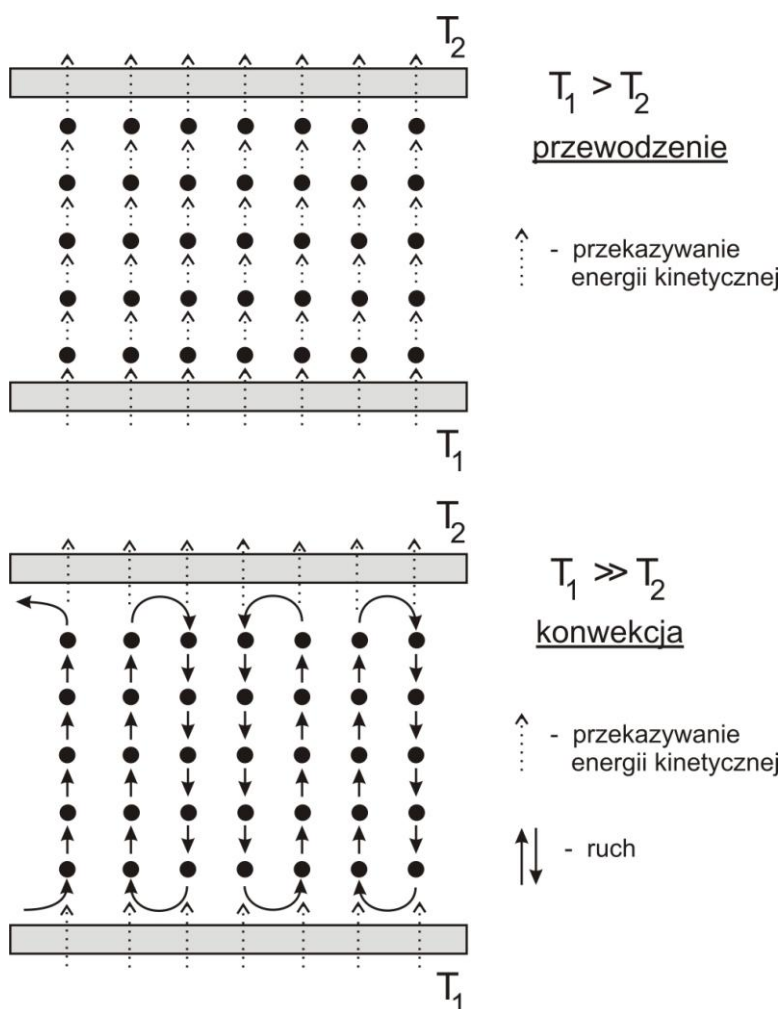


Ryc. 1. 8. Życie jako jedna z dróg rozpraszania energii przez powierzchnię Ziemi. Ogólnie rzecz biorąc, dyssypacja energii polega tu na absorpcji małej ilości wysokoenergetycznych kwantów promieniowania widzialnego i emisji dużej ilości niskoenergetycznych kwantów promieniowania podczerwonego (cieplnego). Zachodzi tu szereg procesów, na przykład prosta absorpcja i emisja promieniowania przez skałę (a), cyrkulacja gazów i cieczy w zjawiskach atmosferycznych i hydrosferycznych (nie pokazane) oraz właśnie cyrkulacja materii w systemach żywych (b).

Jeszcze inny układ rozpraszający energię na powierzchni Ziemi stanowi biosfera, czyli zespół wszystkich organizmów żywych. Zjawisko przemian jednych form energii w inne jest tutaj, podobnie jak w przypadku atmosfery i hydrosfery, procesem wieloetapowym i ulega zamknięciu w cykliczny ciąg przemian. Staje się to powoli znamienne dla układów partycypujących w produkcji entropii (rozpraszaniu energii) - wspomniałem już także i za chwilę będę jeszcze mówił o strukturach tworzonych przez prądy konwekcyjne. Ale po kolei. Promieniowanie widzialne absorbowane jest przez rośliny i w procesie fotosyntezy jego energia ulega przekształceniu w chemiczną energię wiązań pomiędzy atomami w związkach organicznych. Pierwotny produkt fotosyntezy stanowi glukoza powstająca z dwutlenku węgla i wody, przy czym wydzieleniu ulega tlen. Związki organiczne zsyntetyzowane przez rośliny służą z kolei za budulec i źródło energii zwierzętom. Te ostatnie spalają substancje pokarmowe przy udziale tlenu, przy czym powstaje dwutlenek węgla i woda i cykl się zamyka. Uzyskaną energię (gromadzoną w postaci ATP) zwierzęta wykorzystują do wykonania rozmaitego rodzaju pracy: chemicznej (synteza rozmaitych związków), mechaniczną (ruch), elektryczną (tworzenie potencjału w poprzek błony komórkowej) itp.. Każdy z tych procesów (dotyczy to zresztą także przemian metabolicznych u roślin) powiązany jest z pewnymi stratami energetycznymi. W ich wyniku część energii rozprasza się w otoczeniu w postaci ciepła i ostatecznie ulega wypromieniowaniu w przestrzeń kosmiczną w postaci promieniowania podczerwonego. Przedstawia to dolny schemat na rycinie 1.8. Dodatkowo, destruenci rozkładają martwe ciała organizmów żywych, co także prowadzi do produkcji ciepła. Życie robi zatem dokładnie to samo, co naga skała oraz atmo- i hydrosfera - przekształca docierające do powierzchni Ziemi promieniowanie widzialne w promieniowanie cieplne rozpraszane w otchłani Wszechświata. Podobnie jak w przypadku zjawisk atmosferycznych powiązane jest to także z powstawaniem uporządkowanych struktur - nikogo chyba nie trzeba przekonywać, że organizmy żywe charakteryzują się wysoce uorganizowaną budową. Zresztą cała biosfera to skomplikowana struktura dynamiczna (zorganizowana nie tylko w przestrzeni, ale przede wszystkim w czasie). Powstawanie takich struktur niewątpliwie wiąże się ze spadkiem entropii. Czas wobec tego zadać sobie wreszcie pytanie, jak zjawisko życia (a także zjawiska atmosferyczne) ma się do drugiej zasady termodynamiki, mówiącej o nieuchronnej tendencji do wzrostu entropii w układzie.

Powróćmy na chwilę do wspomnianych już wcześniej struktur dynamicznych związanych z rozpraszaniem energii, jakimi są prądy konwekcyjne w cieczy. Jeżeli umieścimy ciecz, na przykład wodę, w podgrzewanym od spodu naczyniu, to pomiędzy dolną granicą warstwy cieczy (dnem naczynia) i jej górną granicą (w otwartym naczyniu będzie to powietrze) wytworzy się pewien gradient temperatur. Dolna granica fazy wodnej będzie po prostu cieplejsza od górnej, a różnica temperatur osiągnie tym większą wartość, im intensywniej będziemy podgrzewać naczynie. Warstwa cieczy będzie się oczywiście "starać" przekazywać ciepło od swej dolnej (cieplejszej) do górnej (zimniejszej) granicy. Jednakże sposób w jaki będzie to czynić zależy od gradientu (różnicy) temperatur pomiędzy obiema granicami warstwy.

Przy małym gradiencie temperatury ciepło ulega przekazywaniu na drodze przewodzenia. Znajdujące się na dole warstwy cząsteczki ciecży przejmują energię kinetyczną od dna naczynia, zwiększając prędkość swego ruchu. Na skutek zderzeń energia ta przekazywana jest cząsteczkom znajdującym się wyżej, one z kolei przekazują ją jeszcze dalej, aż do górnej granicy warstwy ciecży, gdzie ciepło jest oddawane, na przykład przez parowanie. Ilustruje to górny schemat na rycinie 1.9. Ruch cząsteczek w warstwie ciecży jest całkowicie chaotyczny (ruch danej cząsteczki nie jest w żaden sposób skorelowany z ruchami innych cząsteczek), z tym że im niżej, tym cząsteczki poruszają się szybciej (ciecz ma tam tym większą temperaturę).



Ryc. 1. 9. Przepływ ciepła przez warstwę ciecży na drodze przewodzenia i konwekcji. Ciepło przepływa od cieplejszej dolnej granicy warstwy o temperaturze  $T_1$  do zimniejszej górnej granicy warstwy o temperaturze  $T_2$ . Jeżeli różnica temperatur pomiędzy dolną i górną granicą warstwy jest niewielka, zachodzi przewodzenie ciepła polegające na przekazywaniu energii kinetycznej przez szybciej poruszające się cząsteczki ciecży (czarne kulki) leżące niżej – wolniejszym cząsteczkom znajdującym się wyżej. W przypadku, gdy gradient temperatury przekroczy pewną wartość krytyczną, pojawiają się prądy konwekcyjne polegające na tym, że grupa cząsteczek ciecży, przejąwszy energię kinetyczną od dolnej granicy warstwy, porusza się razem, jako ciepły prąd wstępujący, by po oddaniu tej energii górnej granicy warstwy opaść w postaci zimnego prądu zstępującego.

Jednakże, z chwilą kiedy różnica temperatur pomiędzy dolną i górną granicą warstwy przekroczy pewną wartość krytyczną, przewodzenie staje się zbyt mało wydajnym mechanizmem niwelującym gradient temperatur i pojawia się zupełnie nowy typ zachowania. Ruch cząsteczek przestaje być chaotyczny, ulega zaś organizacji w makroskopowe struktury dynamiczne zwane prądami konwekcyjnymi (cały mechanizm nazywamy konwekcją). Cząsteczki cieczy, które "ogrzały się", przejmując ciepło od dolnej granicy warstwy, zamiast przekazywać energię kinetyczną wyżej położonym cząsteczkom, same wędrują zorganizowanym strumieniem do góry tworząc prąd wstępujący. Ruch poszczególnych cząsteczek ulega zatem wzajemnemu skorelowaniu. Dotarłwszy do górnej granicy warstwy, cząsteczki pozbywają się uzyskanej "nadwyżki" energii kinetycznej, przekazując ją górnej granicy warstwy cieczy (np. powietrzu), po czym gromadnie podążają w dół jako prąd zstępujący. Tam, w wyniku kontaktu z cieplejszą dolną granicą warstwy, ich energia kinetyczna ponownie wzrasta i cykl się zamyka. Mechanizm konwekcji ilustruje dolny schemat na rycinie 1.9. Konwekcja powoduje znacznie szybsze przenoszenie ciepła, niż przewodzenie i dlatego pojawia się przy większych gradientach termodynamicznych, kiedy znaczące odsunięcie układu od stanu równowagi wymusza tendencję do szybkiego powrotu do tego stanu (czyli do intensywnej produkcji entropii).

Dążność do wyrównania gradientu termodynamicznego (w tym wypadku gradientu temperatury), czyli do wzrostu entropii (entropia jest maksymalna, kiedy cały układ ma jednakową temperaturę), lub jeszcze inaczej - do rozpraszania energii (stworzenie gradientu temperatur wymaga dostarczenia energii, a zatem zanik gradientu równoważny jest z jej rozpraszaniem) wymusza powstawanie zorganizowanych struktur makroskopowych, kiedy wartość tego gradientu przekroczy pewną wartość krytyczną. Struktury te nazywamy strukturami dyssypatywnymi, ponieważ są one związane bezpośrednio z rozpraszaniem (dyssypacją) energii. Oczywiście w momencie wyrównania temperatur, kiedy entropia osiągnie maksimum, struktury dyssypatywne (w tym przypadku - prądy konwekcyjne) zanikną. Są one bowiem zjawiskami dynamicznymi, napędzanymi wzrostem entropii, czyli rozpraszaniem energii. Widzimy zatem, choć może brzmi to paradoksalnie, iż powszechny trend ku zanikowi uporządkowania może rodzić tymczasowy i lokalny porządek. Innymi słowy, zanik porządku odbywa się w sposób uporządkowany. Zasadnicze zasługi w teoretycznym wyjaśnieniu genezy struktur dyssypatywnych położył Prigogine.

Podobne struktury dyssypatywne, tyle że na większą skalę, powstają także na powierzchni naszej planety. Należy do nich na przykład wspomniane wcześniej cykliczne krążenie wody w atmosferze i hydrosferze. Analogia jest bardzo bliska: promieniowanie widzialne, absorbowane przez powierzchnię naszej planety, odpowiada wyższej temperaturze (emitowane jest przez gorętsze ciała), niż promieniowanie podczerwone, wysyłane dalej w Kosmos. Pamięamy, iż nieliczne wysokoenergetyczne "widzialne" kwanty promieniowania elektromagnetycznego Ziemia rozprasza w postaci wielu niskoenergetycznych kwantów "ciepłych". To właśnie związany z tym rozpraszaniem wzrost entropii powołuje do życia wszelkie "zorganizowane" zjawiska atmosferyczne i hydrologiczne.

To on także napędza wszelkie procesy życiowe, umożliwiając egzystencję biosfery. Z punktu widzenia termodynamiki życie to tylko jeszcze jedna (choć niewątpliwie niebywale skomplikowna)

struktura dyssypatywna na powierzchni naszej planety. Życie w swej naturze jest procesem kołowym związanym z cyklicznym przetwarzaniem materii i energii<sup>17</sup>, podtrzymywanym przez gradient termodynamiczny pomiędzy gorącą powierzchnią Słońca (ok. 6000 stopni Kelvina), a zimną przestrzenią Kosmosu (jej "temperatura" odpowiada temperaturze promieniowania tła, czyli ok. 2.7 stopniom Kelvina). Gdyby z jakichś przyczyn Słońce zgasło i różnice temperatur zanikły, życie nie byłoby możliwe.

Wszystko to nie tłumaczy jednak, dlaczego w ogóle powstawanie uporządkowanych struktur dyssypatywnych, takich jak prądy konwekcyjne i organizmy żywe, da się pogodzić z drugą zasadą termodynamiki mówiącą o nieuchronnym spadku porządku w czasie. Skoro zasada ta obowiązuje powszechnie, to dlaczego nie podlega jej fenomen życia? Odpowiedź okazuje się trywialnie prosta. Organizmy żywe także podlegają prawu wzrostu entropii w czasie. Prawo to odnosi się jednakże jedynie do układów izolowanych, które nie wymieniają materii, energii i informacji (a zatem entropii) z otoczeniem (do takich układów należy niewątpliwie cały Wszechświat). Natomiast istoty żywe to układy otwarte, przez które przepływa ciągły strumień materii i energii. Organizm żywy opuszcza dokładnie tyle samo materii i energii, ile zostało przezeń pobrane (niewielka część pobieranej materii może zostać zużyta jako budulec rosnącego organizmu). Jednakże, na skutek przemian metabolicznych (przemiana materii i energii), zarówno materia, jak i energia opuszcza ustrój żywy w zupełnie innej formie, niż została pobrana. To, co organizm wydziela do środowiska, posiada znacznie wyższą entropię niż to, co zostało zeń zaczerpnięte. Atomy węgla w cząsteczce służącej za pokarm glukozy ułożone są, jak już to dyskutowałem, w sposób o wiele bardziej uporządkowany, niż atomy węgla w powstałym w wyniku jej utleniania dwutlenku węgla. Struktura glukozy (związana z nią informacja), która "znika" podczas spalania tego cukru, zostaje w pewnym sensie (ilościowym, a nie jakościowym) "przeniesiona" lub "przekształcona" w informację związaną ze strukturą budowy organizmu. O ile zatem entropia organizmu rzeczywiście spada podczas jego wzrostu i rozwoju, to entropia otoczenia zwiększa się jeszcze bardziej. A zatem entropia całego układu "organizm + jego otoczenie" także ulega zwiększeniu w czasie! Istoty żywe można wobec tego uznać za wyspy uporządkowania w morzu nieporządku, które same się do szybszego wzrostu ogólnego nieporządku aktywnie przyczyniają.

"Struktury termodynamiczne" (dyssypatywne), takie jak organizmy żywe, posiadają całkiem odmienną naturę, niż "struktury grawitacyjne", czyli omawiane wcześniej ciała niebieskie. O ile te

---

<sup>17</sup>Wiele procesów cyklicznych napędzanych przepływem i rozpraszaniem energii zachodzi także na mniejszą skalę, np. w komórkach organizmów. W części drugiej dyskutuję krążenie protonów w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej, a mianowicie ich pompowanie na zewnątrz napędzane energią zaczerpniętą z elektronów odebranych substratom oddechowym oraz ich powrót do wewnątrz, sprzężony z gromadzeniem energii w postaci ATP. Innym przykładem może być właśnie ciągła synteza ATP z ADP i przemiana odwrotna - hydroliza ATP (powstaje ADP) w reakcjach potrzebujących energii do swego zajścia. Tego rodzaju procesów cyklicznych zachodzi w komórce bardzo wiele: należy do nich krążenie jonów (np.  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ ) w poprzek błony komórkowej, a także cykliczne przemiany wielu metabolitów (np. cykl Krebsa lub Calvina). Życie do pewnego stopnia przypomina szereg zawirowań (turbulencji) w cieczy, której przepływ przekroczył pewną krytyczną szybkość, lub też właśnie prądy konwekcyjne pojawiające się przy wystarczająco dużym gradiencie temperatur.

ostatnie stanowią prosty wyraz ogólnej tendencji do wzrostu entropii, to organizmy żywe stanowią lokalne odchylenie od tej tendencji. "Żywiąc się" niską entropią otoczenia powodują jej efektywny wzrost, co pozwala im, miejscowo jedynie i tymczasowo, zmniejszyć entropię swoich własnych ciał.

Podsumowując, termodynamika nie wyklucza zjawiska życia. Wprost przeciwnie - ewolucja termodynamiczna układów odległych od równowagi wręcz wymusza powstawanie struktur dyssypatywnych, w tym organizmów żywych, aktywnie uczestniczących w wydajnej produkcji entropii. Zjawisko życia stanowi po prostu pewien istotny etap w ewolucji termodynamicznej Wszechświata. Czymkolwiek innym by życie nie było, jest ono także strukturą ukształtowaną "w celu" efektywnego rozpraszania energii. Na tym zakończę pierwszą część książki. W drugiej części zajmę się problemem, czym życie jest ponadto, gdzie leży sedno jego istoty i co stanowi o specyfice ewolucji biologicznej.



## 2. EWOLUCJA BIOLOGICZNA

### 2.1. KLASYCZNE UJĘCIE EWOLUCJI BIOLOGICZNEJ.

Życie na Ziemi istnieje od około 3.8 miliarda lat. Ów niewyobrażalnie długi okres stanowi z grubsza jedną czwartą wieku Wszechświata, szacowanego na mniej więcej 15 miliardów lat. W ciągu tego czasu wytworzone zostało całe obserwowane obecnie, niezmierne bogactwo form żywych. Wszystkie te formy powstały w procesie ewolucji biologicznej z form prostszych. Cofając się w czasie wstecz dojdziemy wreszcie do momentu, kiedy pierwociny życia zrodziły się spontanicznie z materii nieożywionej. Skoro powstawanie i rozwój życia były ciągłym procesem przyrodniczym, aby prześledzić zjawisko samoistnych narodzin życia i jego ewolucji, trzeba najpierw ściśle zdefiniować, na czym polega fenomen życia oraz co istotnego wyróżnia go spośród "martwych" procesów fizykochemicznych.

Znanym obecnie formom żywym przysługuje wiele charakterystycznych atrybutów. Ich zespół pozwala z reguły na dosyć jednoznaczne wyodrębnienie tego zjawiska spośród szeregu fenomenów przyrody nieożywionej. Wynika to głównie z dwóch powodów. Po pierwsze, pomimo ogromnej różnorodności form, wszystkie istniejące obecnie organizmy żywe posiadają zdumiewająco podobne (właściwie: identyczne) najbardziej podstawowe zasady budowy i funkcji. Po drugie, nawet najprostsze współczesne formy żywe wykazują najprawdopodobniej ciągle znacznie wyższy stopień złożoności, niż pierwsze organizmy. Już sama złożoność wydaje się zatem dobrym wyznacznikiem życia. Proste wyliczanie cech przysługujących znanych nam na Ziemi organizmom żywych niesie jednak za sobą pewne niebezpieczeństwa. Z jednej strony, łatwo możemy za nieodłączne atrybuty życia uznać jego przypadłości akcydentalne, charakterystyczne dla życia ziemskiego, lecz niekoniecznie dla tego, co chcielibyśmy uważać za życie w ogóle. Z drugiej zaś, należy być ostrożnym, by nie pomylić cech reprezentatywnych dla wszystkich organizmów żywych z właściwościami przysługującymi jedynie złożonym układom biologicznym. Innymi słowy, chcemy żeby nasze kryteria podziału zjawisk (obiektów) na żywe i nieożywione były na tyle głębokie oraz uniwersalne, by dało się je sensownie zastosować zarówno do form życia istniejących na innych planetach, do pierwszych organizmów żywych na Ziemi, jak i do niektórych znanych obecnie fenomenów rodzących uzasadnione wątpliwości, czy należałoby je zaklasyfikować do układów żywych, czy też nie. Mówiąc jeszcze prościej, chodzi o dotarcie do samego sedna istoty życia, do jego najbardziej immanentnej charakterystyki.

Mając na względzie ten dalekosiężny cel, spróbuję najpierw wyliczyć podstawowe cechy, które kojarzą się z ogromną większością znanych nam na Ziemi, relatywnie bardzo skomplikowanych systemów żywych. Następnie dokonam selekcji, oddzielając właściwości, które można uznać za nieodłączne komponenty istoty życia od właściwości drugorzędnych, mniej istotnych dla zrozumienia sedna tego fenomenu. Wreszcie, w rozdziale 2.2 poświęconym cybernetycznemu ujęciu definicji

życia, postaram się podać abstrakcyjną, formalną charakterystykę układów żywych, sprowadzoną do absolutnie minimalnej ilości koniecznych elementów.

Oto, podane w największym skrócie, główne cechy przysługujące organizmom żywym istniejącym obecnie na Ziemi:

- zbudowane są one ze związków organicznych,
- posiadają złożoną, hierarchiczną strukturę,
- wykazują, również złożony i hierarchiczny, zespół funkcji,
- zachodzi w nich przemiana materii i energii, czyli metabolizm,
- charakteryzują się zdolnością do wzrostu i ruchu,
- rozmnażają się, czyli produkują organizmy (układy) potomne,
- zachodzi u nich dziedziczenie informacji genetycznej, czyli przekazywanie swoich cech potomstwu,
- ulegają ewolucji, czyli przemianie jednych form w inne.

Poniżej omówię te właściwości nieco bardziej szczegółowo, analizując, na ile każda z nich jest rzeczywiście specyficzna wyłącznie dla organizmów żywych.

Wszystkie znane nam formy żywe zbudowane są ze związków organicznych, przede wszystkim kwasów nukleinowych i białek, ale także ogromnej ilości innych, w ich liczbie cukrów, lipidów itd. (związki organiczne mogą być prosto zdefiniowane jako w dużej mierze zredukowane, czyli zawierające wodór, związki węgla; w ich skład mogą dodatkowo wchodzić inne pierwiastki, z których najważniejsze to tlen, azot i fosfor). Związki organiczne w głównej mierze odpowiadają za specyfikę struktury i funkcji istot żywych. Wśród nich, kwasy nukleinowe służą do zapisu informacji genetycznej, określającej wszystkie (w zasadzie) cechy organizmów, a także uczestniczą w procesie odczytywania tej informacji, czyli w syntezie - w odpowiednim miejscu i czasie - odpowiednich białek. Białka stanowią jeden z najważniejszych strukturalnych i funkcjonalnych składników komórki, zaś część z nich, zwanych enzymami, odpowiada za przeprowadzanie ogromnej ilości reakcji biochemicznych zachodzących w tej komórce. Lipidy (tłuszcze) służą jako podstawowy budulec błon komórkowych. Cukry wreszcie mogą pełnić zarówno rolę budulca (np. celuloza lub cukry proste związane z białkami), jak i substancji zapasowych (cukry proste, dwucukry, skrobia), utlenianych w razie potrzeby w celu produkcji energii (ATP). Ogromna ilość innych związków organicznych pełni najrozmaitsze funkcje. Fakt, iż pewne określone rodzaje związków organicznych (spośród wszystkich możliwych) odgrywają podstawową rolę w tworzeniu struktury i funkcji, stanowi z pewnością nieodłączny atrybut istniejących współcześnie na Ziemi form życia. Chociaż takie twory jak wiroidy, stojące na pograniczu życia i "materii nieożywionej", stanowią po prostu nić kwasu rybonukleinowego (RNA), ich namnażanie się, czy w ogóle jakiegokolwiek "funkcje życiowe", nie mogą zachodzić poza komórką gospodarza, zawierającą pełny zestaw "koniecznych do życia" związków organicznych. Współcześnie ziemskie życie jako pewna samowystarczalna całość jest nierozdzielnie związane z budulcem organicznym, w szczególności białkowo-nukleinowym.

Nie musi to jednak dotyczyć życia w ogóle, którego rozmaite formy zapewne istnieją w różnych miejscach w Kosmosie. Rozsądne wydaje się założenie, iż istota życia zasadza się raczej na

określonym rodzaju struktury i funkcji, niż na konkretnym rodzaju budulca. Innymi słowy, podstawowe znaczenie ma nie to, jakie są elementy składowe organizmów żywych, ale rodzaj zachodzących pomiędzy tymi elementami interakcji (co nie znaczy, że pewne rodzaje związków chemicznych nie są szczególnie predestynowane jako budulec skomplikowanych strukturalno-funkcjonalnie systemów). Istoty żywe to niewątpliwie układy złożone. Podstawowa kwestia związana z istotą życia dotyczy jednak raczej pytania, o jaki typ złożoności tu chodzi, niż stwierdzenia, z czego układy te są złożone. Związki organiczne mogą powstawać poza organizmami żywymi, zarówno w wyniku naturalnych procesów fizykochemicznych, jak i w laboratoriach. Znalezione je nawet na niektórych meteorytach (szczególnie tzw. chondrytach węglistych). Związki te nie są zatem nierozzerwalnie związane z procesami żywymi. Z drugiej strony, nie istnieje żadna zasadnicza przyczyna, aby każdy rodzaj życia musiał być koniecznie oparty na dokładnie tych samych typach związków organicznych, co życie na Ziemi.

Istnieje jednak druga strona medalu, która powstrzymuje nas przed pochopnym stwierdzeniem, że układy żywe mogą być w zasadzie zbudowane z czegokolwiek, byleby były zdolne do realizowania określonego zespołu funkcji. Albowiem, ze znanych nam pierwiastków chemicznych jedynie węgiel tworzy na tyle skomplikowane związki chemiczne (mianowicie związki organiczne), aby mogły one stanowić cegiełki wysoce złożonych struktur życia. Tylko związki organiczne charakteryzuje wystarczająca różnorodność, pozwalająca na "zaadaptowanie" poszczególnych z nich do pełnienia tak wyspecjalizowanych funkcji, jak zapis informacji genetycznej, aktywność katalityczna, izolacja od środowiska itp.. Złożony układ charakteryzujący się dużym bogactwem wzajemnych relacji pomiędzy różnymi elementami nie może składać się tylko z jednego lub kilku rodzajów tych elementów. Na przykład, nikt nie zbuduje telewizora z samych tylko diod i oporników.

Prawdą jest, że w ostatecznej instancji zarówno organizm żywy, jak i telewizor składają się z kilkunastu rodzajów atomów. Sugerowałoby to, że skomplikowane systemy (jakim jest niewątpliwie telewizor) niekoniecznie muszą składać się z molekuł związków organicznych. W telewizorze jednak, tworze zbudowanym rękami ludzi, to nie pojedyncze molekuły stanowią podstawową jednostkę funkcjonalną, lecz znacznie większe obiekty w rodzaju metalowych drutów lub diod, opartych na kryształach półprzewodników. Obiekty takie nie mogą powstać spontanicznie, tak jak molekuły organiczne, a ich kształt i funkcja wcale nie wynika jednoznacznie z rodzaju budulca. Miedziany drut łączący dwa odległe podzespoły reprezentuje jedną z nieskończonej ilości możliwości przestrzennego ukształtowania składających się na niego  $x$  atomów miedzi i szansa przypadkowego powstania takiego kształtu (nie mówiąc już o odpowiednim "podłączeniu" drutu w obrębie danego układu) jest praktycznie rzecz biorąc zerowa.

Aby więc życie mogło powstać samoistnie, musi ono składać się z cząsteczek reprezentujących jedną z niewielu koniecznych, bo zdeterminowanych przez naturę wiązań chemicznych, konfiguracji składających się na nie atomów. Ich struktura i funkcja także musi wynikać z praw fizykochemicznych, np. przestrzennego rozkładu ładunku jąder i powłok elektronowych. A tylko właśnie w związkach organicznych atomy te są w stanie tworzyć wystarczająco różnorodne

konfiguracje połączeń. Wygląda więc na to, iż życie jest "skazane" na organiczne związki węgla, jakkolwiek niekoniecznie dokładnie takie, które znamy jako składniki życia na naszej planecie.

Koncepcje dotyczące np. życia opartego na krzemie są wysoce spekulatywne. Z tego pierwiastka (a także z wielu innych) można co prawda tworzyć skomplikowane urządzenia, ale wydają się one mieć niewiele wspólnego z życiem. Funkcjonowanie telewizora, żeby jeszcze raz powrócić do tego przykładu, opiera się na zaprojektowanym przez człowieka kształcie jego poszczególnych elementów (kineskopu, oporników, kondensatorów itp.) oraz systemie wzajemnych połączeń między nimi. Zarówno budowa poszczególnych elementów, jak i plan ich połączeń zostały rozmyślnie "narzucone" w technologicznym procesie ich produkcji. Pod nieobecność ludzkiego intelektu telewizor nie mógłby powstać spontanicznie, jako że nic w przyrodzie nie jest w stanie "zaplanować" jego funkcjonalnych części składowych - nie są one w żaden sposób konieczne, jako że nie stanowią prostej konsekwencji praw fizykochemicznych.

Natomiast budowa i właściwości rozmaitych związków organicznych są zdeterminowane przez prawa fizykochemiczne (np. mechanikę kwantową określającą kształt orbitali atomowych i cząsteczkowych), warunkujące specyficzne własności ich molekuł. Związki te mogą zatem powstać (i powstają) bez udziału rozumu. Organizmy żywe, będące złożonymi aglomeratami związków organicznych, niejako "same" zaprojektowały swoją złożoną strukturę i funkcję w procesie ewolucji biologicznej. Było to możliwe, ponieważ ewolucja biologiczna była w stanie "wystartować" od stosunkowo prostych zespołów tych związków wytworzonych spontanicznie przez siły fizyczne i chemiczne (powstanie życia zostanie bliżej omówione w rozdziale 2.3). "Samoistna ewolucja" telewizora lub dowolnego innego systemu opartego (między innymi) na krzemie nie miałaby się od czego rozpocząć, jako że procesy fizykochemiczne "same" nie prowadzą do wytworzenia wystarczająco skomplikowanych i różnorodnych związków krzemu, mogących pełnić funkcję protoplastów diod czy kondensatorów, a tym bardziej do "sensownego" połączenia tych elementów w spójną całość. To samo dotyczy wszystkich innych znanych nam układów fizycznych poza związkami organicznymi.

Należy jednakże jeszcze raz podkreślić, że jeżeli nawet rzeczywiście okaże się prawdą, iż życie może powstawać (o ile ma to być proces spontaniczny) wyłącznie na bazie związków organicznych, to niekoniecznie muszą to być dokładnie te same rodzaje tych związków, które wchodzi w skład ziemskich organizmów. Powyższe restrykcje odnoszą się zresztą jedynie do życia powstałego w sposób samoistny - do pomyślenia są organizmy żywe zaplanowane i wytworzone w sposób sztuczny przez istoty rozumne. Organizmy takie mogłyby się składać z najrozmaitszych materiałów, takich jak krzem, metale czy tworzywa sztuczne (do tematu "sztucznego" życia jeszcze powrócę).

Drugą cechą nieodłącznie związaną z fenomenem życia wydaje się być skomplikowana struktura, uorganizowana w sposób hierarchiczny, czyli składająca się z wielu poziomów, przy czym układy z niższego poziomu stanowią elementy składowe układów na wyższym poziomie. To zatem, co na poziomie wyższym uznajemy za prostą jednostkę budulcową, element jakiegoś nadrzędnego układu, na niższym poziomie samo stanowi złożony układ, zawierający elementy niższego rzędu

(poszczególne elementy obdarzone są pewnym stopniem autonomii). Komórki, na przykład, z jednej strony tworzą tkanki i narządy wyższych organizmów, z drugiej zaś same składają się z jądra, lizosomów, mitochondriów, aparatu Golgiego i innych organelli. Hierarchiczna struktura organizmów żywych zawiera wiele poziomów. Wśród najniższych możemy wyróżnić poziom atomów rozmaitych pierwiastków, poziom prostych związków i grup chemicznych, a dalej poziom makrocząsteczek organicznych, takich jak białka, kwasy nukleinowe, cukry i tłuszcze. Z nich zbudowane są kompleksy makrocząsteczek, na przykład błony białkowo-lipidowe, rybosomy lub chromosomy, które z kolei wchodzi w skład rozmaitych organelli (mitochondriów, chloroplastów, jądra komórkowego itd.). Następnym poziomem jest poziom całych komórek, których elementy budulcowe stanowią powyższe organelle. Po nim następuje poziom tkanek, utworzonych z jednego lub kilku rodzajów komórek (np. nabłonkowych, mięśniowych, nerwowych), poziom narządów składających się z zespołów odpowiednio uorganizowanych przestrzennie tkanek, poziom układów narządów (np. układ pokarmowy podzielony na poszczególne odcinki, wyposażony w gruczoły produkujące enzymy trawienne itd.), wreszcie - poziom całych organizmów. Najbardziej złożone organizmy, do których możemy między innymi zaliczyć kręgowce łącznie z człowiekiem, zawierają wszystkie z wymienionych wyżej poziomów. Natomiast najprostsze formy żywe, na przykład bakterie, zatrzymały się na poziomie pojedynczej komórki, dodatkowo "gubiąc" jeszcze po drodze poziom organelli komórkowych (brak organelli takich jak jądro, mitochondria i lizosomy stanowi jedną z podstawowych cech odróżniających organizmy bezjądrowe, Prokaryota, do których należą bakterie i sinice, od organizmów jądrowych, Eukaryota, obejmujących pierwotniaki, glony, grzyby, rośliny i zwierzęta).

Wyróżnienie poszczególnych poziomów struktury stanowi niewątpliwie wygodny sposób opisu budowy organizmów żywych. Należy wszakże podkreślić, że poziomy te zostały wyodrębnione w sposób do pewnego stopnia umowny i że nie da się przeprowadzić absolutnie ostrej granicy pomiędzy nimi. Za przykład może posłużyć komórczak (plazmodium), czyli komórka zawierająca wiele jąder. W przypadku glonu pełzaki cała roślina o długości kilkudziesięciu centymetrów, podzielona na rozmaite "organy", w tym "liście" i "łodygę", jest właśnie jednym wielkim komórczakiem. Wydaje się, iż napotykamy tutaj na coś, co reprezentuje poziom pośredni pomiędzy poziomem komórki z jednej strony, a poziomem tkanki, czy nawet narządu - z drugiej. Podobna względność podziału na poziomy daje się czasem wyśledzić także w odniesieniu do innych poziomów.

Oczywiście, posiadanie jakiejś struktury w ogóle z pewnością nie stanowi cechy przysługującej wyłącznie organizmom żywym. Strukturę (rozumianą jako pewne zróżnicowanie budowy, obecność rozmaitych części składowych) posiada ogromna większość układów fizycznych, zarówno statycznych (np. kryształy), jak i dynamicznych (np. prądy konwekcyjne). Złożoną strukturą charakteryzuje się cała nasza planeta, a także gwiazdy i galaktyki. Ziemia stanowi równocześnie doskonały przykład nieożywionego tworu o silnie zaznaczonej hierarchiczności struktury. Cała kula ziemską składa się z atmosfery, hydrosfery (oceany oraz wody słodkie), skorupy planetarnej, występującego pod nią płynnego płaszcza oraz położonego centralnie, metalicznego jądra. Spośród tych warstw, na przykład skorupa ziemską składa się z wielu rodzajów skał ułożonych w stosunku do siebie w często bardzo skomplikowany sposób (wynikający z bogatej dynamiki skorupy naszej

planety, która powoduje np. fałdowanie skał, tworzenie skał osadowych, wylewy magmy połączone z formowaniem bazaltów itd.). Poszczególne skały także posiadają skomplikowaną strukturę, zawierając wiele różnych minerałów, które mogą występować w postaci większych lub mniejszych kryształów. Oczywiście, w ostatecznej instancji wszystkie one składają się ze związków chemicznych i atomów. W strukturze naszej planety można zatem wyróżnić wiele poziomów, przez co struktura ta jest, podobnie jak w przypadku organizmów żywych, hierarchiczna. Można dowodzić, że budowa organizmów żywych wykazuje mimo wszystko większy stopień złożoności i regularności powtarzalnych struktur (np. komórek), niż budowa obiektów fizycznych. Z braku jednakże jakiejś obiektywnej miary skomplikowania, pozwalającej porównać układy tak różne jak planeta i bakteria, ocena złożoności może być co najwyżej bardzo arbitralna - przypuszczam, że wielu ludzi byłoby raczej skłonnych przyznać planecie wyższy stopień złożoności. Poza tym, pierwsze organizmy żywe były najprawdopodobniej znacznie prostsze niż formy obecne. W końcu, złożoną i hierarchiczną strukturą charakteryzują się także takie wytwory człowieka, jak komputer, robot czy telewizor, których zaliczenie do istot żywych obudziłoby nasz zdecydowany sprzeciw. Z pewnością więc to nie samo posiadanie (hierarchicznej) struktury stanowi zasadniczy wyznacznik fenomenu życia.

Inną cechą organizmów żywych jest to, iż pełnią one rozmaite funkcje, podobnie jak elementy struktury zorganizowane w sposób hierarchiczny. Z kilku dających się wyróżnić poziomów można tu przytoczyć poziom biochemiczny, poziom komórkowy oraz poziom fizjologiczny, obejmujący funkcjonowanie tkanek, narządów oraz ich układów. Zespoły funkcji na niższym poziomie hierarchii tworzą częściowo autonomiczne bloki, służące razem wykonywaniu jakiejś funkcji na wyższym poziomie. Na przykład, skomplikowany zespół reakcji biochemicznych składający się na proces syntezy białka należy do jednego z wielu bloków umożliwiających funkcjonowanie komórek, do czego niezbędny jest cały szereg białek, między innymi enzymów. Do takich białek należą aktyna i miozyna w komórkach mięśniowych, odpowiedzialne za skurcz włókien mięśniowych i stanowiące ich główny składnik. Innym zespołem reakcji biochemicznych niezbędnym do skurczu włókien mięśniowych jest blok energetyczny odpowiedzialny za produkcję energii w postaci ATP (rozmaite bloki są też oczywiście wzajemnie powiązane "poziomo" - blok energetyczny dostarcza energii (ATP) blokowi syntezy białka, zaś blok syntezy białka produkuje enzymy wchodzące w skład bloku energetycznego). Skurcz mięśni może pełnić rozmaite zadania na poziomie fizjologicznym: utrzymywać stały obieg krwi w układzie krwionośnym i tym samym zaopatrywać wszystkie komórki ciała w tlen i substancje odżywcze, jak to ma miejsce w przypadku serca, służyć lokomocji (mięśnie szkieletowe) lub wywoływać ruchy perystaltyczne jelit, powodujące stopniowy przepływ substancji odżywczych, a następnie niestrawionych resztek pokarmowych, przez rozmaite odcinki przewodu pokarmowego (mięśnie gładkie). Podobnie, działanie na poziomie biochemicznym, jakim jest synteza danego hormonu, a następnie na poziomie komórkowym (wydzielanie tego hormonu) służy utrzymaniu homeostazy na poziomie fizjologicznym (np. kontrola poziomu cukru we krwi przez glukagon i insulinę). Wszystkie te działania mają swój nadrzędny cel, którym jest przeżycie całego organizmu i pozostawienie przezeń potomstwa (reprodukcja).

Istotnym rysem charakteryzującym funkcjonowanie organizmów żywych wydaje się być właśnie pewnego rodzaju celowość. Celowość ta wyraża się między innymi w dążeniu do zachowania organizmu jako nienaruszonej całości, bez względu na zmieniające się warunki otoczenia. Dążenie tego typu czasem określane jest mianem homeostazy. Za przykład służyć może chociażby zdobywanie i przyswajanie pożywienia w celu zapewnienia sobie źródła energii i substancji budulcowych lub wspomniane powyżej utrzymywanie stałego poziomu glukozy we krwi. Inny przejaw działań istot żywych, będących wyrazem dążenia do zdecydowanie określonego celu, stanowi wytwarzanie układów potomnych, posiadających cechy układów rodzicielskich. Tym nadrzędnym funkcjom (przeżyciu i reprodukcji) podporządkowany jest cały system - także nacechowanych celowością - funkcji podrzędnych na wszystkich poziomach hierarchii. Ogromna większość procesów przebiegających w organizmach żywych do czegoś "służy" (z punktu widzenia nadrzędnego celu - zachowania homeostazy, przeżycia i produkcji potomstwa), a nie po prostu zachodzi.

A co z "funkcjami" układów niebiologicznych? Zjawiska fizykochemiczne leżące u podłoża funkcjonowanie układów żywych to zasadniczo te same (kategorialnie) procesy, które występują w przyrodzie nieożywionej. W obu przypadkach zachowaniem się atomów i ich zespołów rządzą te same prawa - o istocie życia nie decyduje żaden jakościowo nowy czynnik w rodzaju *vis vitalis*. Można by się też dopatrzeć w układach nieożywionych, szczególnie urządzeniach stworzonych przez człowieka, hierarchicznego uporządkowania rozmaitych funkcji (które z kolei u pierwszych organizmów żywych występowało w postaci szczątkowej). Jediną cechą specyficzną wyróżniającą zespół funkcji związanych ze zjawiskiem życia mogłaby być dyskusyjna przed chwilą celowość. Pojęcie to jest jednak w dużej mierze subiektywne (podobnie zresztą jak wiele pojęć, takich jak złożoność, odnoszących się do układów makroskopowych). Równie dobrze bowiem można stwierdzić, że celem odżywiania jest utrzymanie się przy życiu, jak i że celem grawitacji jest aby kamienie spadały na Ziemię, a planety krążyły wokół Słońca. Stawia to pod znakiem zapytania przydatność celowości funkcji jako dobrego wyróżnika specyfiki życia. Co jednak istotniejsze, celowość bardzo zbliżoną rodzajowo do tej, która jest obecna u organizmów żywych, spotykamy we wspomnianych już wytworach człowieka, takich jak robot czy komputer, przeznaczonych do spełniania ściśle określonych zadań. Funkcjonowanie tych urządzeń ma dodatkowo strukturę hierarchiczną, co jeszcze zwiększa ich podobieństwo do układów żywych. Działanie (często skomplikowane) poszczególnych podzespołów, takich jak mikroprocesor czy dioda, składa się na pracę całości, ukierunkowaną na realizację wyznaczonego przez konstruktorów urządzenia celu. Podsumowując, nie w funkcji jako takiej należy szukać istoty fenomenu życia.

Funkcjonowanie układu żywego na poziomie biochemicznym przejawia się w postaci metabolizmu, czyli przemiany przepływającej przez ten układ materii i energii. Organizmy pobierają ze swego otoczenia rozmaite substancje, z których, po ich przekształceniu, budują swoje ciała. Czerpią także energię pochodzącą z rozmaitych źródeł, a następnie przekształcają ją w jakąś użyteczną formę (np. energia wiązań chemicznych w ATP), w której może być ona użyta do wykonania różnego rodzaju pracy, np. chemicznej (synteza rozmaitych związków organicznych), mechanicznej (skurcz mięśnia, ruch witki), elektrycznej (przewodzenie impulsów nerwowych) itd..

Część energii jest także rozpraszana w postaci ciepła. Organizmy samożywne (autotroficzne), głównie rośliny oraz niektóre drobnoustroje, syntetyzują składniki swego ciała z dwutlenku węgla, wody i innych związków nieorganicznych, natomiast jako źródło energii wykorzystują promieniowanie słoneczne lub rozmaite związki nieorganiczne. Natomiast organizmom cudzożywym (heterotroficznym) jako zarówno budulec, jak i źródło energii służą związki organiczne wytworzone przez inne organizmy. Ogólnie rzecz biorąc, przemiana materii i energii polega na tym, że materia i energia opuszczają organizm żywy w zupełnie innej formie, niż zostały pobrane. Duża część dostępnej energii zostaje ostatecznie rozproszona w postaci ciepła. Co do materii, to heterotrofy generalnie rzecz biorąc przekształcają substancje organiczne (np. cukry, białka, tłuszcze) i tlen w dwutlenek węgla i wodę (część pokarmu służy po przekształceniu jako budulec, natomiast niestrawione resztki ulegają wydaleniu), podczas gdy u autotrofów zachodzi przemiana odwrotna - woda i dwutlenek węgla służą do syntezy cukrów i innych związków organicznych, przy czym uwalniany jest tlen.

Przemiana materii i energii występuje powszechnie także w układach fizycznych. Jako przykład tej pierwszej może służyć krystalizacja skał pod wpływem wysokich ciśnień i temperatur lub uwalnianie do atmosfery rozmaitych gazów w czasie wybuchów wulkanów. Ten ostatni proces stanowi zarazem pośredni etap drogi, na której zachodzi przemiana energii wyzwolonej w procesie rozpadu izotopów radioaktywnych we wnętrzu Ziemi w energię cieplną, a następnie przetransportowanie tej ostatniej na powierzchnię naszej planety, gdzie ostatecznie energia cieplna ulega wypromieniowaniu w Kosmos w formie fal podczerwonych. Podobny los spotyka wyemitowane przez Słońce promieniowanie widzialne padające na powierzchnię Ziemi. Stosunkowo niewielka liczba wysokoenergetycznych kwantów promieniowania elektromagnetycznego w widzialnym zakresie widma zostaje pochłonięta przez powierzchnię planety, by następnie ulec wypromieniowaniu w postaci wielu niskoenergetycznych kwantów radiacji cieplnej (podczerwonej). Z punktu widzenia termodynamiki życie jest niczym więcej, niż jeszcze jednym procesem uczestniczącym w tej przemianie - bezpośrednim (autotrofy) lub pośrednim (heterotrofy) źródłem energii dla całości życia na Ziemi jest Słońce (emitowane przez nie promieniowanie widzialne); energia ta zostaje w końcu uwolniona (wypromieniowana) w postaci ciepła (związanego z promieniowaniem podczerwonym). Proces życia jako pewna forma przemiany materii i energii może być zatem doskonale scharakteryzowany w terminach fizycznych (termodynamicznych). Nawiasem mówiąc, najbardziej chyba drastycznym przykładem "przemiany materii i energii" w układach fizycznych jest synteza termojądrowa we wnętrzu gwiazd oraz rozpad izotopów radioaktywnych. Nie dosyć, że lżejsze pierwiastki służą tu jako substrat do syntezy cięższych pierwiastków albo też cięższe atomy rozpadają się na lżejsze, ale dodatkowo drobna część materii ulega przemianie w ogromne ilości energii (kinetycznej oraz promienistej) lub odwrotnie.

Generalnie rzecz biorąc, formy żywe wykazują także zdolność do wzrostu oraz aktywnego ruchu. Rosną zarówno komórki bakterii, zanim ulegną podziałowi na dwie komórki potomne, jak i człowiek w czasie swego rozwoju osobniczego. Co do ruchu, to może on oznaczać przemieszczanie się całego organizmu (bieg antylopy, pełzanie dżdżownicy, pływanie napędzanej wtką komórki



eugleny) lub zmianę położenia jego poszczególnych części w stosunku do siebie (np. bicie serca, ruchy cytoplazmy w komórce). Dany układ porusza się aktywnie, jeżeli przyczyna ruchu leży wewnątrz układu, a nie jest wynikiem biernej reakcji na wpływy otoczenia (jak na przykład staczanie się potrąconego kamienia w dół zbocza).

Świat obiektów nieożywionych oferuje nam szeroką gamę przykładów zarówno wzrostu, jak i ruchu. Zwiększają swe rozmiary kryształy w nasyconym roztworze soli, narastają stalaktyty i stalagmity, na skutek wzrostu polegającego na łączeniu się okruchów skalnych powstała kula ziemską. Planety krążą wokół Słońca, a rzeki spływają do morza. Nie jest to co prawda ruch aktywny, skoro powoduje go zewnętrzna w stosunku do rozpatrywanych obiektów siła grawitacji. Jednakże ruch powierzchni kuli ziemskiej, czyli dryf płyt kontynentalnych, wywołany prądami konwekcyjnymi w płaszcu naszej planety, napędzany z kolei ciepłem wydzielonym w procesie rozpadu izotopów radioaktywnych, z pewnością należy uznać za aktywny (jeżeli za rozważany system przyjmujemy całą planetę). Zresztą, żeby nie sięgać daleko, doskonałym przykładem nieożywionego obiektu poruszającego się w sposób aktywny jest zwykły samochód.

Czasem jako atrybut życia podaje się zdolność organizmów do odbierania bodźców z otoczenia i adekwatnego reagowania na nie. Percepcja bodźca może mieć postać tak odmienną, jak obraz myszy na siatkówce oka myszołowa z jednej strony i pobudzenie produkcji enzymów rozkładających laktozę u bakterii poprzez obecność tego cukru w środowisku - z drugiej. Adekwatną reakcją byłoby upolowanie myszy lub przemiana laktozy i wykorzystanie jej jako dodatkowego źródła energii. Wystarczy jednak spojrzeć na układ termostat - chłodziarka w lodówce, rejestrujący wzrost temperatury, co powoduje odpowiedź w postaci jej obniżenia, aby porzucić hipotezę o wyjątkowości układów żywych pod względem percepcji bodźców i reagowania na nie. Inny przykład to komputer, "reagujący" skomplikowanym systemem operacji na rozmaite kombinacje sygnałów wprowadzanych do niego przez klawiaturę. Jeżeli ta analogia do percepcji wyda się komuś zbyt odległa, to skonstruowano już czytniki będące w stanie rozpoznawać litery pisma. Ponadto pojęcie percepcji i reakcji nie jest dostatecznie ostre - w pewnym sensie staczanie się kamienia w dół zbocza stanowi reakcję na "percepcję" bodźca, jakim jest potrącenie tego kamienia.

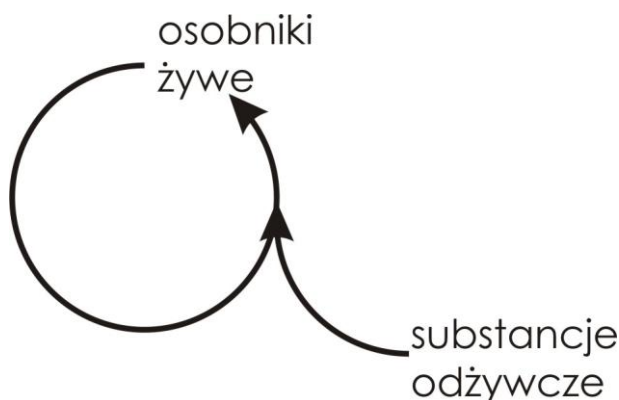
Życie zdaje się wykazywać trzy cechy, zresztą silnie ze sobą powiązane i stanowiące do pewnego stopnia różne oblicza tej samej rzeczy, całkowicie nieobecne wśród układów nieożywionych. Życie składa się bowiem z osobników, które namnażają się oraz ewoluują. Jak będę dowodził dalej, te trzy pojęcia (osobnik żywy, rozmnażanie, ewolucja biologiczna) nie mogą istnieć w oderwaniu od pozostałych i wzajemnie się współdefiniują. Równie dobrze można bowiem powiedzieć, że ewolucja biologiczna to zmiana cech w kolejnych pokoleniach rozmnażających się osobników żywych, jak że osobnik żywy to twór zdolny do rozmnażania (produkcji osobników potomnych i przekazywania im swoich cech, czyli dziedziczenia) oraz do ewolucji (stopniowej zmiany tych cech u kolejnych pokoleń). Teraz postaram się uściślić, jak należy rozumieć terminy rozmnażania (połączonego z dziedziczeniem), ewolucji biologicznej oraz osobnika żywego.

Pierwszą nieodłączną cechą układów żywych jest samopowielanie się (rozmnażanie), czyli produkcja układów potomnych. Ten pęd do przyrostu ilościowego wyraża się w wytwarzaniu nowych

układów podobnych do rodzicielskiego, nie zaś w rozprzestrzenianiu się jakiejś jednej, stanowiącej całość masy organicznej. Życie składa się zatem z poszczególnych osobników, indywiduów. W procesie rozmnażania wytwarzają one osobniki do siebie podobne, potrzebne do tego substancje (i energię) czerpiąc z otoczenia. "Reakcję" produkcji nowych osobników przy udziale osobników już istniejących można zapisać w następujący sposób:

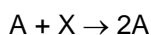
$X$  osobników rodzicielskich + substancje budulcowe  $\rightarrow$   $Y$  osobników potomnych,

przy czym zostaje spełniony (przynajmniej potencjalnie) następujący warunek:  $Y > X$ . Ponieważ w odpowiednio długim przekroju czasowym zawsze wytwarzanych jest więcej organizmów potomnych, niż istnieje organizmów rodzicielskich, ilość organizmów żywych wykazuje naturalną tendencję do wzrostu, ograniczonego jedynie zasobami środowiska. "Cykl" produkcji osobników potomnych przez osobniki rodzicielskie prezentuje Rycina 2.1.

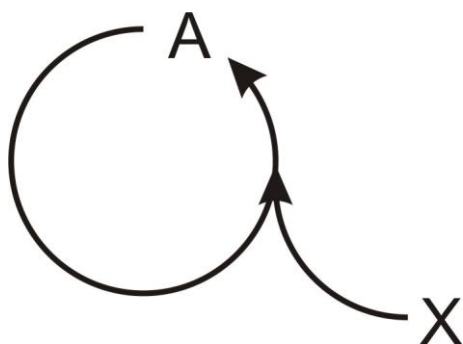


Ryc. 2.1. Cykl rozmnażania organizmów żywych. Osobniki już istniejące produkują osobniki potomne z substancji budulcowych pobieranych ze środowiska.

Przedstawiony w sposób powyższy proces namnażania nie jest jednakże unikalny dla zjawiska życia. Znane są w chemii tak zwane reakcje autokatalityczne, w których cząsteczki pewnego związku (nazwijmy go A) katalizują powstawanie dalszych cząsteczek tego związku z molekuł jakiegoś innego związku (X). Reakcja tego rodzaju, mająca postać:



jest z formalnego punktu widzenia ściśle analogiczna do przytoczonej przed chwilą "reakcji syntezy" nowych organizmów przez organizmy już istniejące z substancji czerpanych z otoczenia. Rycina 2.2, przedstawiająca cykl autokatalityczny prostych molekuł chemicznych, jest analogiczna do ryciny 2.1. Rozmnażanie zatem, rozumiane jako produkcja przez pewien typ układów - układów do nich podobnych (samopowielanie), nie stanowi właściwości przysługującej jedynie żywym organizmom. Innym przykładem martwych obiektów zdolnych do "rozmnażania" (a także do pobierania substancji z otoczenia oraz wzrostu) są koacerваты, które omawiam bliżej w rozdziale 2.3. Autopowielaniu ulegają także neutrony w reakcji łańcuchowej, w której jeden neutron "rodzicielski" uderzający w jądro radioaktywnego izotopu jakiegoś pierwiastka (np. uranu), przy okazji rozszczepienia tego jądra na dwa lżejsze, prowadzi do produkcji trzech neutronów "potomnych".



Ryc. 2. 2. Cykl autokatalityczny związku A. Związek A katalizuje powstawanie nowych cząsteczek związku A ze związku X.

Jednakże rozmnażanie osobników żywych różni się jedną bardzo istotną cechą od "rozmnażania" dyskutowanych wyżej "obiektów" fizykochemicznych. U organizmów żywych zachodzi bowiem dziedziczenie cech, czyli przekazywanie swojej tożsamości układom potomnym. Dany konkretny neutron lub molekula określonego związku chemicznego nie mogą przekazywać swojej tożsamości neutronom czy molekułom "potomnym", bo takowej tożsamości po prostu nie posiadają. Neutrony i cząsteczki chemiczne jednego konkretnego, prostego związku są, jakie muszą być, ze względu na elementarne prawa fizyczne i fizykochemiczne. Ich "struktura" nie niesie ze sobą żadnej informacji, ponieważ jest jedyną możliwą. Mając do dyspozycji prawa fizyki (niekoniecznie te poznane do tej pory) możemy (w zasadzie przynajmniej) określić cechy dowolnego neutronu lub dowolnej molekuli związku A, gdyż są one konieczne i nie potrzeba tu żadnej dodatkowej informacji. Dodatkowo, ze względu na idealną identyczność, pomiędzy poszczególnymi neutronami lub molekułami prostego związku chemicznego nie zachodzi konkurencja. Żadne z nich nie są bowiem ani "lepsze", ani "gorsze" od innych w efektywności samopowielania się. Jak zobaczymy dalej, właśnie konkurencja pomiędzy w różnym stopniu przystosowanymi do przeżycia i produkcji potomstwa układami (osobnikami) stanowi o istocie ewolucji biologicznej i życia.

Całkowicie odmiennie rzeczy się mają w przypadku żywych osobników lub chociażby takich podstawowych dla życia związków organicznych, jak białka lub kwasy nukleinowe. Poszczególne cząsteczki białek i kwasy nukleinowe mogą bowiem różnić się pomiędzy sobą sekwencją, odpowiednio, aminokwasów i nukleotydów, zaś odmiennosc poszczególnych osobników żywych może przybierać niezliczone formy, warunkowane różnymi kombinacjami posiadanych przez nie cech. Ilość możliwych kombinacji sekwencji aminokwasów w łańcuchu białkowym zawierającym 100 aminokwasów jest isticie astronomiczna ( $100^{20}$ , ponieważ istnieje 20 rodzajów aminokwasów), a i tak nieporównywalnie mniejsza, niż ilość rozmaitych organizmów, które potencjalnie mogłyby funkcjonować na Ziemi. Notabene, wszystkie dziedziczne cechy organizmów żywych są pochodną właśnie sekwencji monomerów we wspomnianych makromolekułach, w szczególności kwasach nukleinowych. Poszczególne osobniki żywe posiadają bardzo silnie wyrażoną tożsamość - jest wobec tego co dziedziczyć. Struktura konia nie wynika w żaden konieczny sposób z praw fizycznych lub

chemicznych zastosowanych do składających się nań atomów. Aby ją całkowicie opisać, trzeba dostarczyć jeszcze ogromnej ilości informacji, między innymi właśnie o strukturze zapisu genetycznego konia manifestującego się sekwencją nukleotydów w DNA. Ale to jeszcze nie wystarczy. Samo izolowane DNA konia nigdy się w konia nie rozwinię: potrzebne mu są jeszcze białka, "dbające" o jego ochronę i namnażanie oraz pamiętające (syntetaza aminoacylo-tRNA) kod genetyczny, cała zapłodniona komórka jajowa (zygota), zapewniająca odpowiednie warunki dla działania białek, wreszcie klacz nosząca płód do momentu urodzin, a następnie odżywiająca i chroniąca źrebaka. Biologiczna, ulegająca dziedziczeniu i ewolucji tożsamość danego osobnika konia to zatem cały skomplikowany sytem, którego zaledwie jednym z elementów jest informacja genetyczna zapisana w DNA. Tożsamość ewolucyjna (zespół dziedziczonych cech osobniczych) dwóch różnych koni zawsze jest nieco odmienna. Tożsamości konia i zająca różnią się w sposób o wiele bardziej drastyczny. Różne tożsamości mogą być, w danych warunkach środowiskowych, w różnym stopniu skuteczne w zapewnieniu przetrwania osobnika i pozostawienia potomstwa, a zatem w przekazaniu i ewentualnym rozprzestrzeleniu samej siebie. Oczywiście, u organizmów rozmnażających się płciowo jedynie połowa tożsamości każdego z rodziców przekazywana jest na danego potomka. Nie ma jednak żadnego powodu aby tożsamość, rozumiana jako zespół cech, miała być niepodzielna.

Podsumowując, osobnik to nie tylko system produkujący systemy sobie podobne, ale także system posiadający tożsamość (dziedziczne cechy osobnicze) i przekazujący tę tożsamość potomstwu. Tożsamość to informacja o niekoniecznej, a zatem w pewnym sensie umownej strukturze danego układu. Im więcej istnieje możliwości do wyboru, tym więcej informacji niesie wybór jednej z nich. Prosta cząsteczka chemiczna katalizująca powstawanie dalszych takich samych cząstek ma "do wyboru" tylko jedną możliwość dotyczącą swojej własnej struktury, a zatem posiada zerową ilość informacji. Cząsteczka taka nie może posiadać indywidualności, czyli tożsamości. Już jednak makromolekuły organiczne, takie jak kwasy nukleinowe i białka, które (jak potem zobaczymy) dały początek życiu, a obecnie są tego życia podstawowym budulcem, posiadają zdecydowaną tożsamość określoną sekwencją monomerów (nukleotydów i białek). Osobniki żywe, jako skomplikowane systemy, posiadają jeszcze znacznie silniej wyrażoną tożsamość.

Przekazywana z pokolenia na pokolenie tożsamość rozmnażających się osobników żywych podlega ewolucji. Jeżeli prześledzimy historię życia aż od momentu jego powstania, to pierwszym, co rzuci się nam w oczy, będzie stopniowe przekształcanie się jednych form w inne i rozbieżna ewolucja rozmaitych form pochodzących od wspólnego przodka, aż do osiągnięcia całej ogromnej różnorodności gatunków biologicznych obserwowanej obecnie. Zmiany te mogą (choć nie zawsze się tak dzieje) prowadzić do wzrostu złożoności form żywych, a więc do coraz silniejszego wyrażenia ich indywidualności (tożsamości). Ostatecznie, pierwsze formy żywe miały postać jakichś pierwotnych pra-komórek, natomiast jeden z żyjących obecnie organizmów powstałych na drodze ewolucji z tych pra-komórek, człowiek, posiada najbardziej złożony ze znanych nam układów we Wszechświecie, a mianowicie ludzki mózg. Oprócz złożoności organizmy żywe wykazują doskonałe dostosowanie do środowisk, w których żyją. Należy jednak wyraźnie podkreślić, iż ów pęd ku złożoności i

dostosowaniu nie jest skutkiem żadnych z góry narzuconych dyrektyw, lecz stanowi wynik "oddolnych" mechanizmów leżących u podstawy procesu ewolucji.

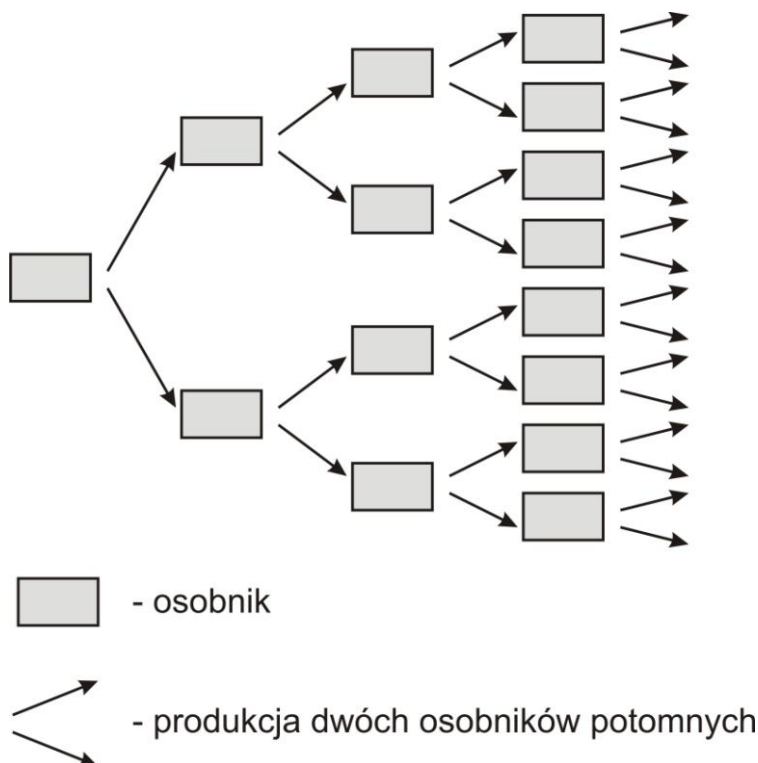
Głównym z takich mechanizmów, leżących u podstaw ewolucji biologicznej, jest dobór naturalny. Proces ten wynika bezpośrednio z faktu rozmnażania się osobników żywych oraz dziedziczenia, czyli przekazywania swojej tożsamości (zespołu cech osobniczych) potomstwu, a także z fizycznej natury organizmów biologicznych i ich środowiska. Jeżeli wyjdziemy z powyższych "przesłanek", dobór naturalny, a więc i ewolucja stają się nieuniknione. Jak to dyskutowałem powyżej, rozmnażanie się i dziedziczenie cech stanowią nieodłączny atrybut życia. Życie zatem, skoro już raz powstanie, musi ewoluować. Dobór naturalny stanowi logiczną konsekwencję samej istoty organizmów żywych - zdolność do ewolucji można uznać za nieodłączny składnik definicji tych ostatnich. Prześledźmy zatem, skąd bierze się ów nierozdzielny związek pomiędzy życiem a ewolucją, wyciągając nieuchronne wnioski z posiadanych do dyspozycji przesłanek.

Pierwszą z nich, jak pamiętamy, jest to, iż organizmy rozmnażają się, a więc produkują organizmy potomne, które dziedziczą cechy (tożsamość) rodziców. W najprostszym przypadku, na przykład u bakterii, komórka bakterii ulega podziałowi na dwie komórki. Te dzielą się dalej, dając kolejno 4, 8, 16, 32... komórek. W optymalnych warunkach, a więc przy zapewnionej odpowiedniej ilości pożywienia, miejsca, braku zanieczyszczenia środowiska produktami przemiany materii itp. ilość bakterii wzrastałaby w czasie w postępie geometrycznym, dążąc do nieskończoności. Już po stosunkowo krótkim czasie potomstwo jednej, dzielącej się co 20 minut bakterii, stanowiłoby ogromną kulę rozszerzającą się z prędkością światła. Podobne rozumowanie stosuje się do wszystkich innych organizmów - za przykład może służyć słynny ciąg Fibonacciego, opisujący ilość potomstwa wyprodukowanego w kolejnych latach przez parę królików (oraz następnie także przez to potomstwo). Wszystkie tego rodzaju ciągi rosną wykładniczo, zmierzając do nieskończoności.

Sytuację tę w przypadku rozmnażającej się bezpłciowo (przez podział) komórki bakterii ilustruje Rycina 2.3. Każdy osobnik bakterii dzieli się na dwa osobniki potomne, które przeżywają i dzielą się dalej. W kolejnych pokoleniach mamy 1, 2, 4, 8 ... osobników (komórek). Ich ilość rośnie nieograniczenie aż do nieskończoności. W przypadku osobników rozmnażających się płciowo podobny schemat byłby nieco bardziej skomplikowany, jakkolwiek nie ma to istotnego znaczenia dla toku rozumowania. Dlatego w kolejnych schematach także ograniczymy się do organizmów rozmnażających się bezpłciowo.

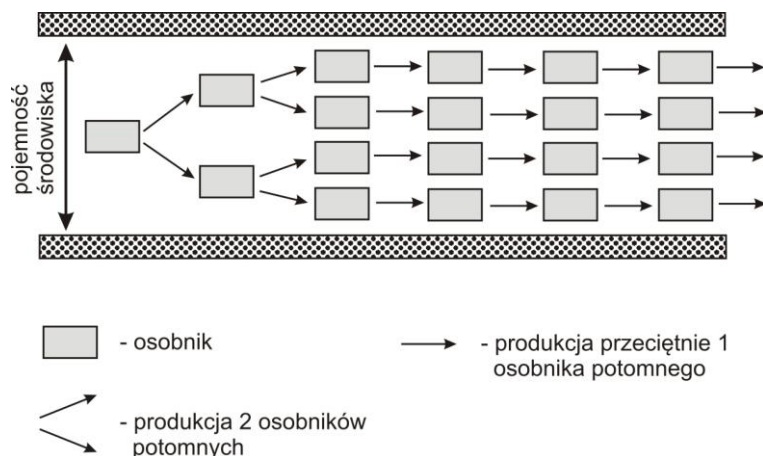
Fakt rozmnażania się organizmów żywych prowadzi więc nieuchronnie do wniosku, że w odpowiednich (idealnych) warunkach liczebność populacji jakiegokolwiek organizmu rosłaby w nieskończoność. Jednakże, do takiego niczym nieskrępowanego rozmnażania się organizmów nigdy oczywiście w realnym świecie nie dochodzi - powodem jest ograniczona pojemność środowiska. Każdy organizm zajmuje jakieś miejsce w przestrzeni oraz pobiera z otoczenia materię i energię w odpowiedniej postaci, niezbędne mu do życia. Ilość zarówno miejsca, jak i zasobów budulcowo-energetycznych na powierzchni naszej planety jest oczywiście ograniczona. Dodatkowo, wszystkie organizmy żyją w jakichś konkretnych, właściwych dla nich środowiskach, których pojemność bywa czasem jeszcze daleko mniejsza w porównaniu z pojemnością całej powierzchni kuli ziemskiej.

Każde środowisko daje możliwość egzystencji tylko ograniczonej liczbie organizmów żywych. W momencie, kiedy liczba ta zostaje osiągnięta, a zatem pojemność środowiska wyczerpana, część wytwarzanego potomstwa musi zginąć. Przeżywa i dalej rozmnaża się tylko taka część, na jaką pozwalają zasoby środowiska. Wynika to z przesłanki uwzględniającej fizyczne realia świata.



Ryc. 2. 3. Rozmnażanie się organizmów przy braku ograniczeń środowiskowych. Każdy osobnik (oznaczony prostokątem) wytwarza dwa osobniki potomne. Ilość osobników rośnie w postępie geometrycznym, dążąc do nieskończoności.

Rycina 2.4 odpowiada takiej właśnie sytuacji. Pojemność środowiska ogranicza tu liczebność populacji do czterech osobników (jest to oczywiście liczba sztucznie mała, tak aby nadawała się do przejrzystej prezentacji na schemacie - w rzeczywistych populacjach może ona wynosić tysiące i miliony). Jeżeli startujemy od jednego osobnika, to już po trzecim pokoleniu następuje wysycenie pojemności środowiska. Ponieważ liczba osobników nie może przekroczyć 4, za każdym razem przeżywa (przeciętnie) tylko jeden z dwóch osobników potomnych, drugi zaś musi zginąć bezpotomnie. Dlatego też w efekcie każdy z osobników produkuje teraz (statystycznie rzecz biorąc) jednego przeżywającego osobnika potomnego, co obrazują pojedyncze strzałki (w przypadku rozmnażania płciowego, dwoje rodziców produkuje przeciętnie rzecz biorąc dwoje potomstwa, które jest w stanie przeżyć i dalej się rozmnożyć). Ogólnie, połowa powstałych w każdym pokoleniu osobników musi wymrzeć. Jeśli, inaczej niż u bakterii, jakiś organizm produkowałby więcej, niż dwoje potomstwa, to odpowiednio większa część tego potomstwa musiałaby wyginąć. Zasadniczym dla ewolucji biologicznej pytaniem jest to, które osobniki przeżyją i rozmnożą się, a które bezpotomnie zginą.



Ryc. 2. 4. Rozmnażanie się osobników przy ograniczonej pojemności środowiska. Po wyczerpaniu tej pojemności (na schemacie sztucznie niskiej, wynoszącej 4 osobniki) tylko tyle potomstwa może przeżyć, ile trzeba na zastąpienie rodziców. W przypadku komórek bakteryjnych dzielących się na dwie komórki potomne, statystycznie tylko jedna z tych ostatnich przeżyje i ulegnie podziałowi. Druga zginie przed rozmnożeniem się. Oczywiście przypadek może spowodować, że przeżyją i podzielą się dwie komórki potomne jednej bakterii, zaś obie komórki potomne innej bakterii zginą. W zasadzie jednak wszystkie komórki bakterii mają jednakowe szanse na pozostawienie przeciętnie jednej komórki potomnej.

I tu na scenę wchodzi omawiana wcześniej, uwarunkowana genetycznie indywidualność (tożsamość) poszczególnych osobników. Na Rycinie 2.4 założono, że wszystkie osobniki są takie same (a więc, że nie posiadają one tożsamości) i wobec tego że każdy ma równą szansę pozostawić taką samą liczbę potomków, a mianowicie jednego. O tym, że czasem przeżyją obaj potomkowie jednego osobnika, a żaden - drugiego, decyduje czysty przypadek. Poszczególne osobniki w populacji jakiegoś realnego gatunku nigdy nie są jednak identyczne pod względem genetycznym - panuje wśród nich zmienność genetyczna. Osobniki potomne mogą różnić się od osobników rodzicielskich, a osobniki tego samego pokolenia - pomiędzy sobą. To więc, które osobniki przeżyją i rozmnożą się, a które wymrą bezpotomnie, będzie w dużej mierze zależało od samych osobników, chociaż niewątpliwie tu także jakąś rolę odegra przypadek.

Zmienność genetyczna (a więc posiadanie tożsamości przez poszczególne osobniki) jest nieunikniona i wynika z fizycznej natury nośnika informacji genetycznej, jakim jest DNA. Aby zbudować swoją własną strukturę, organizm żywy potrzebuje jakiegoś planu, opisującego tę strukturę oraz pewnego algorytmu, czyli zespołu dyrektyw, jak taki plan (zapis) należy zinterpretować (odczytać). Uniwersalnym sposobem zapisu tego planu jest dla całości życia na Ziemi sekwencja nukleotydów w DNA (ewentualnie, dla niektórych wirusów - RNA), zaś tego planu "interpretatorem" - skomplikowany system odczytu informacji genetycznej, "tłumaczący" (poprzez "język" kodu genetycznego, regulacji ekspresji genów itp.) zapis genetyczny na strukturę oraz funkcję całego organizmu. Aby wytworzyć organizm potomny, możliwie identyczny z samym sobą (o możliwie zbliżonej tożsamości), organizm rodzicielski musi przekazać temu pierwszemu ów plan budowy i funkcji, stworzywszy w tym celu dokładną kopię swojego własnego planu. Konieczne jest więc

przepisanie sekwencji nukleotydów we własnym DNA na taką sekwencję w jego bliźniaczych kopiach potomnych. Kopiowanie informacji genetycznej polega na rozdzieleniu podwójnej helisy DNA na dwie pojedyncze nici oraz na dobudowaniu do każdej z tych nici - nici do niej komplementarnej. Komplementarność ta opiera się na przestrzennym dopasowaniu leżących na przeciw siebie w obu niciach zasad azotowych (wchodzących w skład nukleotydów) w parach: A-T i C-G (A, T, C i G to skróty nazw zasad czterech zasad azotowych wchodzących w skład DNA). Żeby osobnik potomny stanowił (przynajmniej potencjalnie, to znaczy przy pominięciu wpływów środowiska i procesów losowych) idealnie wierną kopię swego rodzica, zapis genetyczny należałoby kopiować z nieskończoną dokładnością<sup>18</sup>. Taka dokładność jest jednak niemożliwa z zasady dla przyczyn czysto fizycznych. Kopiowanie zapisu genetycznego nie może być idealnie dokładne ze względu na chaotyczne ruchy termiczne cząsteczek, zawsze występujące w temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Zakłócają one proces kopiowania DNA (replikacji) i mogą doprowadzić do wstawienia do nowo syntetyzowanej nici niewłaściwego nukleotydu (zawierającego inną zasadę azotową, niż wynikałoby to z zasady przestrzennej komplementarności do zasady leżącej naprzeciw niej w macierzystej nici DNA). Możliwe są także uszkodzenia już istniejącej nici DNA. W ten sposób sekwencja nukleotydów w potomnej nici DNA, a więc informacja genetyczna współwarunkująca tożsamość organizmu, zostanie zmieniona. Zmiana ta będzie oczywiście przekazywana wszystkim niciom DNA zsyntetyzowanym na tej zmodyfikowanej nici. Tego rodzaju zmianę nazywamy mutacją. Jeżeli mutacja zajdzie w genomie organizmu jednokomórkowego, albo w genomie komórki linii płciowej organizmu wielokomórkowego, to będzie ona dziedziczona, tak jak pozostała niezmienną część informacji genetycznej. Mutacja w jakimś genie oznacza powstanie nowego allelu tego genu. Osobnik obdarzony mutacją będzie różnił się genetycznie od osobników niezmutowanych. Wiele mutacji wywiera także istotny wpływ na fenotyp osobnika, czyli na jego końcową postać (o ile genotyp to przepis na organizm, to fenotyp stanowi gotowy wyrób, oprócz genotypu warunkowany jeszcze wpływami środowiska). Takie mutacje spowodują, iż będzie się on różnił od innych osobników także pod względem fenotypowym. Należy podkreślić, iż mutacje są przypadkowe i bezkierunkowe, to znaczy powstają losowo i nie zmiierają do zmiany informacji genetycznej w żadnym określonym kierunku.

Opisane wyżej mutacje (zwane mutacjami punktowymi), polegające na zmianie jednego nukleotydu na inny (ewentualnie na usunięciu lub wstawieniu nukleotydu) prowadzą do powstawania nowych alleli danego genu, czyli jego nieco zmienionych wersji, położonych w tym samym miejscu (locus) w genomie, co gen oryginalny. Możliwe jest jednakże powstawanie zupełnie nowych genów. Zachodzi to na drodze duplikacji (podwojenia) pierwotnego genu - w wyniku tej mutacji powstają dwie identyczne kopie, leżące obok siebie lub też zajmujące całkowicie odmienne miejsca (loci) w genomie. Jedna z tych kopii, tak jak poprzednio, koduje pewne białko pełniące jakąś funkcję w

---

<sup>18</sup>Dotyczy to oczywiście tylko organizmów rozmnażających się bezpłciowo. W przypadku rozmnażania płciowego, każdy z dwojga rodziców musi iść na "genetyczny kompromis" z tym drugim, skoro oboje wnoszą mniej więcej po połowie do zapisu genetycznego swojego potomka. Jego plan budowy (jego tożsamość) jest więc, w pewnym sensie, wypadkową planu budowy (tożsamości) osobników rodzicielskich.



organizmie. Druga natomiast może ulegać różnym mutacjom punktowym i tym samym kumulować w sobie zmiany genetyczne. Nie grozi to utratą funkcjonalności produkowanego białka, ponieważ jest ono nadal syntetyzowane przez pierwszą, niezmienną kopię genu. W ten sposób druga kopia stałaby się nowym genem kodującym nowe białko. Takie nowe białko mogłoby się przypadkiem okazać zdolne do pełnienia jakiejś użytecznej funkcji w organizmie, innej niż funkcja oryginalna, zwiększając tym samym sprawność i stopień złożoności organizmu. Nowe geny mogą także powstawać na skutek "tasowania" (układania w rozmaite kombinacje) rozmaitych egzonów (kodujących fragmentów genów eukariotycznych, poprzedzielanych fragmentami niekodującymi - intronami), odpowiedzialnych za kodowanie poszczególnych domen białkowych (fragmentów cząsteczki białka pełniących określone funkcje, np. katalizy enzymatycznej, zakotwiczenia w błonie, wiązania jonów metali itp.). Możliwy jest także, szczególnie u drobnoustrojów, "horyzontalny transfer genów", czyli przenoszenie genów pomiędzy genomami dwóch, często niespokrewnionych ze sobą organizmów.

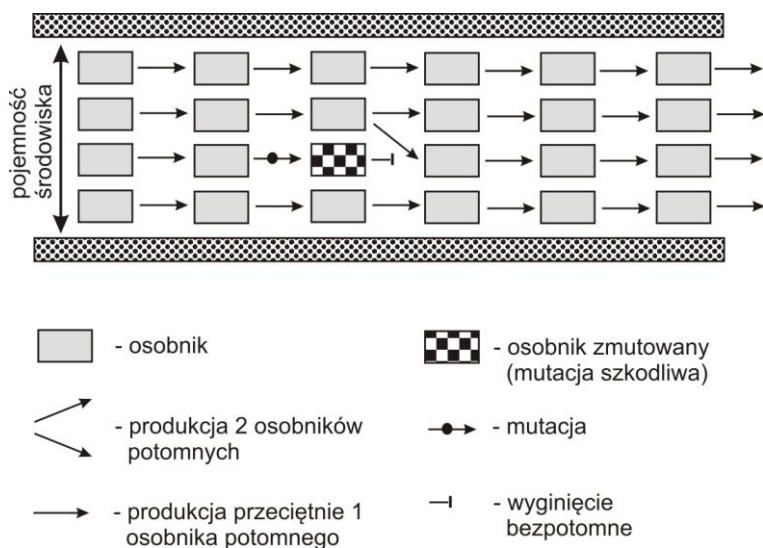
Dodatkowym, wtórnym w stosunku do mutacji źródłem zmienności genetycznej osobników w populacji jest rekombinacja. Polegać ona może na "mieszaniu" informacji genetycznej przy rozmnażaniu płciowym przez to, że potomek otrzymuje po połowie chromosomów od każdego z rodziców, podczas gdy wcześniej chromosomy te, przy ich "rozdziale" do jaja i plemnika, podlegają przypadkowej segregacji. Wydatnie zwiększa to ilość kombinacji, w jakich mogą występować rozmaite allele poszczególnych genów występujących w różnych chromosomach, powstałe wcześniej u różnych osobników w populacji. Natomiast u organizmów o bezpłciowym sposobie rozmnażania, aby dwie mutacje się spotkały, musiałyby one powstać w obrębie tego samego klonu - jest to znacznie mniej prawdopodobne.

Oprócz tego, informacja genetyczna może być "tasowana" także poprzez zamianę części chromosomów pomiędzy dwoma chromosomami homologicznymi u organizmów diploidalnych - zjawisko to nazywa się crossing-over. Daje to możliwość układania w różnych kombinacjach alleli genów występujących w tym samym chromosomie. Zarówno rozród płciowy, jak i crossing-over są wydajnym źródłem zmienności rekombinacyjnej. Ze względu jednak na to, że rekombinacja tylko miesza, tasuje różnorodność genetyczną wytworzoną wcześniej przez mutacje, nazywamy ją wtórnym generatorem zmienności.

Łączny efekt mutacji i rekombinacji powoduje zatem genetyczne zróżnicowanie osobników w obrębie populacji. Wróćmy do ryciny 2.4 i zobaczmy, co się stanie, kiedy w genomie któregoś z osobników nastąpi mutacja. Wyróżniamy trzy typy mutacji ze względu na rodzaj efektu wywieranego przez nie na osobnika będącego nosicielem tych mutacji: neutralne, szkodliwe i korzystne. Mutacje neutralne nie przynoszą ani szkody, ani pożytku. Może to mieć miejsce w przypadku, kiedy ze względu na cechę degeneracji kodu genetycznego (niektóre aminokwasy kodowane są przez kilka różnych trójek nukleotydów) zmiana danego nukleotydu w kodonie na inny nie zmienia kodowanego aminokwasu. Kiedy indziej, nawet jeżeli w wyniku mutacji kodowany jest inny aminokwas, może to nie wpłynąć na strukturę i funkcję całego białka, szczególnie jeżeli chodzi o aminokwas leżący w łańcuchu białkowym poza ważnymi rejonami tego białka, np. centrum aktywnym enzymu. W końcu,

mutacja może spowodować jakiś dostrzegalny efekt fenotypowy, nie mający jednak wpływu na funkcjonowanie organizmu - na przykład zmianę w rozkładzie plamek na muszlo ślimaka.

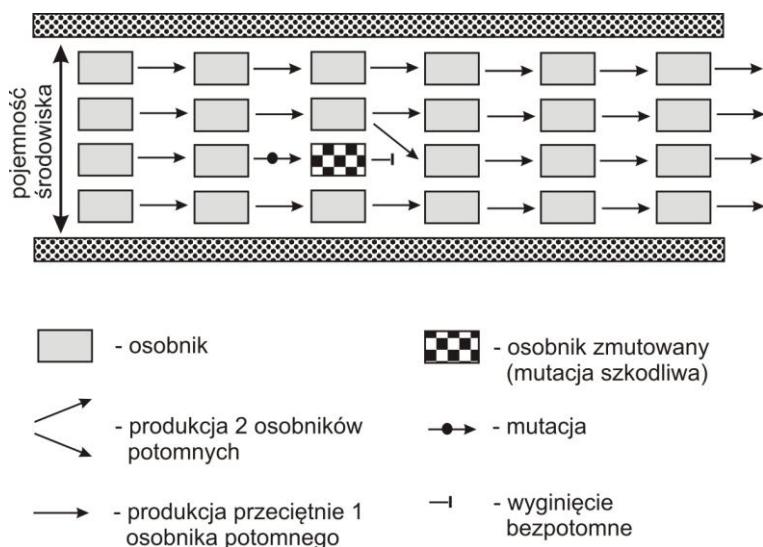
Ogólnie rzecz biorąc, mutacje neutralne nie wpływają na szanse przeżycia (w określonym środowisku) noszących je osobników oraz pozostawienia przez nie potomstwa. Osobniki te rozmnażają się równie efektywnie, jak osobniki bez mutacji i wobec tego ich potomstwo będzie egzystowało w populacji obok potomstwa tych ostatnich. Ilustruje to rycina 2.5. Widać z niej, że mutacja neutralna nic nie zmienia - zmutowany osobnik produkuje osobniki potomne z równą wydajnością, jak przed zejściem mutacji, a więc statystycznie rzecz biorąc ma takie same szanse na przekazanie zmutowanego genu następnemu pokoleniu, jak inne osobniki - na przekazanie genów niezmutowanych. Gromadzenie się mutacji neutralnych może prowadzić do zmiany składu genetycznego populacji, który w nowych warunkach może (choć nie musi) okazać się korzystny. Same przez się mutacje neutralne nie prowadzą jednakże do wzrostu przystosowania lub złożoności organizmów.



Ryc. 2. 5. Efekt mutacji neutralnej. Mutacja neutralna (kropka) powoduje pojawienie się osobnika zmutowanego, który ma statystycznie takie same szanse przeżycia i pozostawienia potomstwa, jak osobniki niezmutowane. Mutacja neutralna nie będzie ani eliminowana, ani rozprzestrzeniać się w populacji.

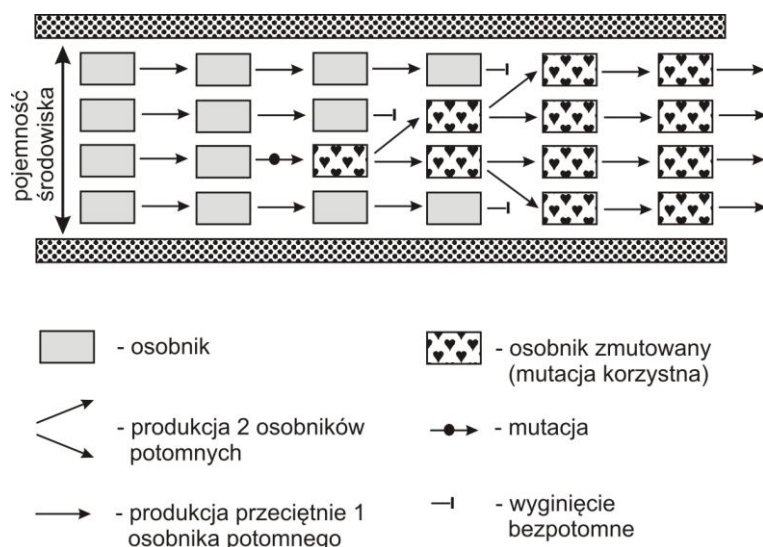
Wiele mutacji jest szkodliwych, a więc wpływa ujemnie na szanse przeżycia i pozostawienia potomstwa. W skrajnym przypadku mutacji letalnych (śmiertelnych) następuje nieuchronna śmierć obdarzonego nimi organizmu przed osiągnięciem zdolności do rozmnażania. Jako przykład może posłużyć mutacja w genie kodującym jakiś enzym niezbędny dla metabolizmu, powodująca utratę zdolności katalitycznych przez ten enzym. Często efekt mutacji szkodliwej jest mniej drastyczny, obniżając tylko nieznacznie sprawność w przeżyciu i produkcji potomstwa. W obu jednak przypadkach, wcześniej czy później (w przypadku mutacji letalnej - natychmiast) osobniki zmutowane zostaną wyparte z populacji przez efektywniejsze w przeżyciu i rozmnażaniu osobniki niezmutowane. Sytuację tę przedstawia rycina 2.6. Widzimy, że na miejsce potencjalnego potomka osobnika z

mutacją letalną "wskoczył" potomek innego, niezmutowanego osobnika, wypełniając "lukę" (w całkowitym wypełnieniu pojemności środowiska) powstałą na skutek śmierci osobnika obdarzonego tą mutacją.



Ryc. 2. 6. Efekt mutacji szkodliwej. Mutacja szkodliwa (kropka) zmniejsza szanse przeżycia lub/i pozostawienia potomstwa, dlatego potomstwo osobników zmutowanych, także obdarzone tą mutacją, zostanie wcześniej lub później wyparte przez potomstwo osobników niezmutowanych. Mutacja szkodliwa zostanie wyeliminowana z populacji.

Nieliczne mutacje mogą okazać się korzystne, to znaczy dać zmutowanemu osobnikowi przewagę nad osobnikami niezmutowanymi pod względem sprawności w przeżyciu i/lub produkcji potomstwa. Jeżeli w wyniku mutacji pojawi się nowy enzym pozwalający na rozkład nieprzyswajalnej dotąd substancji odżywczej obecnej w środowisku, to zmutowany osobnik zyska oczywistą przewagę nad osobnikami nie posiadającymi tego enzymu. Będzie on w stanie łatwiej uniknąć głodu, szybciej rosnąć i wyprodukować więcej potomstwa. Jego potomstwo będzie stopniowo wypierać potomstwo innych osobników, aż w końcu cała populacja będzie się składać z osobników posiadających enzym. Ten przypadek ilustruje rycina 2.7. Tutaj, po dwóch pokoleniach od momentu pojawienia się osobnika obdarzonego korzystną mutacją, cała pojemność środowiska zostaje wypełniona osobnikami będącymi nosicielami tej mutacji (korzystna mutacja może dodatkowo doprowadzić do zwiększenia pojemności środowiska - dostępność nowej substancji odżywczej spowoduje, że więcej osobników będzie się w stanie wyżywić). Korzystna mutacja sprawia, że organizm staje się lepiej przystosowany do swego środowiska. Opisana wyżej sytuacja może się powtórzyć i kolejna korzystna mutacja może zostać utrwalona w populacji. Zmiany genetyczne osobników w kolejnych pokoleniach będą więc miały charakter kumulatywny. Po wystarczająco długim okresie czasu osobniki potomne będą się już znacznie różniły od swoich przodków. W końcu różnice te mogą być tak znaczne, że powstanie już nowy gatunek. Powyższy proces nazywamy właśnie ewolucją.



Ryc. 2. 7. Efekt mutacji korzystnej. Mutacja korzystna (kropka) zwiększy szanse przeżycia lub/i pozostawienia potomstwa przez osobniki obdarzone tą mutacją w porównaniu z osobnikami bez mutacji. Potomstwo osobników zmutowanych zastąpi stopniowo osobniki niezmutowane i w końcu wszystkie osobniki w populacji będą nosicielami korzystnej mutacji.

Opisanym mechanizmem ewolucji jest dobór naturalny. Wyraża się on przeżywaniami osobników najlepiej przystosowanych, na skutek akumulacji korzystnych mutacji, do aktualnych warunków środowiska. Rywalizacja o zasoby środowiska może się toczyć pomiędzy osobnikami tego samego gatunku lub też różnych, często nawet bardzo mało spokrewnionych gatunków (np. wypieranie roślinożernych torbaczy australijskich przez sprowadzone z Europy króliki i owce). Mutacje korzystne w jednym środowisku mogą być niekorzystne w innym - zatem to środowisko stanowi wyznacznik przystosowania organizmów. Dinozaury były doskonale przystosowane do życia w tropikach ery mezozoicznej, natomiast niezdolne, w przeciwieństwie do pierwotnych ssaków, do przetrwania upadku meteorytu (oraz związanego z tym ochłodzenia klimatu i odcięcia światła słonecznego przez chmury pyłu) na przełomie kredy i trzeciorzędu. Z drugiej strony niektóre mutacje, podnosząc ogólną sprawność organizmu, mogą zwiększyć szanse jego przeżycia w wielu różnych środowiskach. Za przykład mogą służyć właśnie ssaki, które opanowały ogromną ilość środowisk na Ziemi (lądy, morza, powietrze, tropiki, strefę polarną, pustynie itp.).

Reasumując, ogólny schemat doboru naturalnego opiera się na czterech zasadniczych przesłankach:

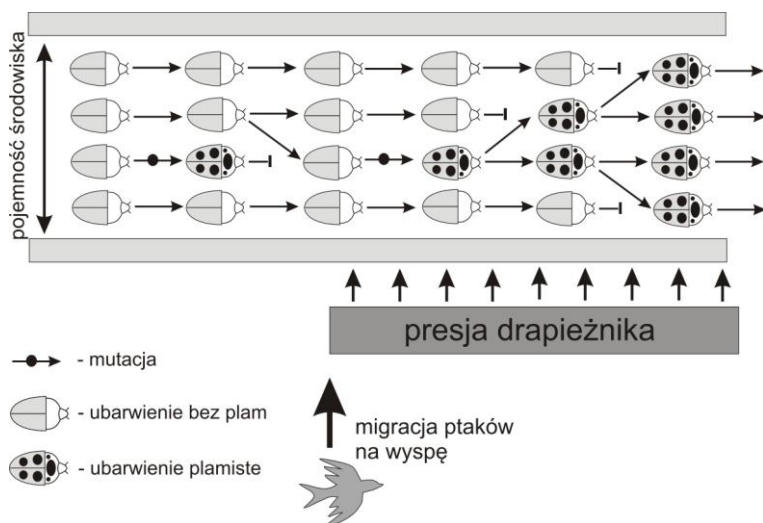
- osobniki żywe rozmnażają się, przy czym wyprodukowanych zostaje więcej osobników potomnych, niż jest w stanie przeżyć;
- osobniki potomne dziedziczą cechy osobników rodzicielskich (czyli ich tożsamość);
- wśród osobników panuje przypadkowa zmienność, spowodowana przez bezkierunkowe mutacje (oraz rekombinacje);
- przeżywają osobniki najlepiej dostosowane do egzystencji i rozmnażania się w danym środowisku.

Dobór naturalny stanowi nieunikniony skutek istnienia organizmów żywych (rozmnażanie i dziedziczenie tożsamości) oraz realiów świata fizycznego, w którym one żyją (ograniczona pojemność środowiska, nieuchronność błędów w kopiowaniu informacji genetycznej (mutacje), cechy środowiska, do których organizmy muszą się dostosować). Potwierdza to tezę, że ewolucja stanowi nieodłączną cechę zjawiska życia ("złożonego" z rozmnażających się osobników), a zatem że organizmy żywe muszą ewoluować. Ponieważ mutacje w DNA nigdy nie ustaną, życie będzie miało zawsze szeroką gamę ofert dotyczących dalszych dróg rozwoju. Wymogi funkcjonalności oraz warunki środowiskowe za pośrednictwem doboru naturalnego zadecydują, które (bardzo nieliczne) z tych przypadkowych ofert zostaną przyjęte. Z kolei, bieżąca struktura organizmu będzie miała decydujący wpływ na zestaw ofert proponowanych w przyszłości (np. kwiaty jakiejś rośliny mogą zmienić barwę z żółtej na czerwoną tylko dlatego, że kiedyś w ogóle powstało w procesie ewolucji coś takiego jak kwiaty).

Należy podkreślić, że dobór naturalny nie realizuje żadnego z góry nakreślonego planu. Pojawia się on w układach posiadających pewne, omówione wyżej właściwości i jest zjawiskiem tak samo bezcelowym, jak narastanie kryształów w przesyconym roztworze soli lub siła grawitacji powodująca spadanie kamieni oraz krążenie planet wokół Słońca. Jest rzeczą niewątpliwie zdumiewającą, że tak prosty mechanizm może doprowadzić do takiej złożoności i bogactwa form żywych. To właśnie stanowi o wielkiej doniosłości i płodności intelektualnej teorii ewolucji Darwina. Jednakże już proste procesy fizyczne mogą wytwarzać na swój sposób złożone obiekty - wystarczy przypomnieć sobie "kwiaty" "malowane" przez mróz na szybach. Zarówno zjawisko ewolucji, jak i pojawiania się lodowych kwiatów nie mają żadnego celu ani sensu - oba te zjawiska po prostu zachodzą. Należy jeszcze raz powtórzyć, iż dobór naturalny (i ewolucja) stanowi nieunikniony skutek istnienia organizmów żywych.

Przeanalizujmy na prostym przykładzie ów "logiczny dowód na ewolucję". Wyobraźmy sobie małą wysepkę, na której żyje populacja jakiegoś chrząszcza. Większość chrząszczy ma panczyk ubarwiony na zielono, ale czasem zdarza się mutacja powodująca występowanie czerwonych plamek na zielonym tle. Mutacja ta nie jest korzystna, na przykład ze względu na koszty energetyczne produkcji czerwonego barwnika i dlatego frekwencja (częstotliwość występowania) allelu powodującego plamistość utrzymuje się w puli genowej populacji na niskim poziomie. Załóżmy teraz, że na wyspę migrują z lądu stałego ptaki owadożerne, polujące między innymi na nasze chrząszcze. Jeżeli czerwone plamy będą odstraszać ptaki lub też sprawią, że plamiaste osobniki chrząszczy upodobnią się do czegoś niejadalnego, to cecha wytwarzania plam stanie się bardzo korzystna (zyska wysoką dodatnią wartość selekcyjną). Częstotliwość w puli genowej populacji allelu warunkującego tę cechę znacznie wzrośnie, aż w końcu całkowicie wyprze on allel alternatywny, odpowiedzialny za jednolicie zielone ubarwienie. Co więc się stało? Skład genetyczny populacji (oraz cechy fenotypowe jej osobników) uległ zmianie, a zatem właśnie zaszła ewolucja. Opisany ciąg wypadków został przedstawiony na rycinie 2.8. O ile pod nieobecność ptaków mutacja plamistości była niekorzystna, a zatem eliminowana z populacji, to po ich pojawieniu się dobór naturalny zaczął ją

premiować, przez co mutacja ta (powstała w jaj wyniku allel) uległa rozpowszechnieniu w puli genowej.



Ryc. 2. 8. Ewolucja chrząszczy na wyspie. Pod nieobecność drapieżników mutacja plamistości jest eliminowana jako szkodliwa (niepotrzebne wydatki energetyczne na produkcję barwnika) i następuje jej eliminacja. Po migracji na wyspę ptaków odżywiających się chrząszczami ubarwienie plamiste staje się korzystne (odstraszanie ptaków) i zostaje utrwalone w populacji.

Powyższy przykład pokazuje, że w głównym mechanizmie odpowiedzialnym za ewolucję biologiczną, a mianowicie doborze naturalnym, nie ma nic tajemniczego czy niezrozumiałego. Co więcej, przykład ten dowodzi, że fakt zachodzenia ewolucji biologicznej w ogóle nie stanowi problemu do rozważenia - ona zachodzić musi. Stanowi logiczną konsekwencję istnienia organizmów żywych.

Rzeczywistym przykładem "złapania ewolucji na gorącym uczynku", podobnym do opisanego powyżej, jest tzw. melanizm przemysłowy<sup>19</sup>.

\* \* \*

Innym aspektem zjawiska życia, równie nieodłącznym jak powielanie swej tożsamości (rozmnażanie) i ewolucja jest fakt, że nie stanowi ono jakiejś jednej ciągłej masy materii (jak rozumny ocean w powieści "Solaris" Stanisława Lema), lecz jest "podzielone" na poszczególne, wchodzące w jego skład osobniki (indywidua). Cecha ta wydaje się być w ziemskiej biosferze bezwzględnie uniwersalna. I chociaż, w pewnych szczególnych przypadkach (o których za chwilę) możemy mieć istotne problemy, co właściwie należy uznać za osobnika, to postaram się wykazać w następnym rozdziale, że pojęcie "osobnik" (w sensie ewolucyjnym) da się w miarę obiektywnie zdefiniować w ramach terminologii cybernetycznej. Co więcej, będę dowodził, że osobnik jest absolutnie

<sup>19</sup>Jego najbardziej znanym przykładem jest zjawisko, które polegało na tym, że przed okresem rozwoju przemysłu w Anglii dominowała jasna forma pewnego gatunku motyla, której barwa czyniła go trudno dostrzegalnym dla drapieżników na tle pokrytych porostami pni drzew, natomiast formy ciemne, jako o wiele lepiej widoczne, należały do rzadkości. Później, zanieczyszczenie powietrza przez przemysł spowodowało wyginięcie porostów i forma ciemna bardzo się upowszechniła, a z kolei występowanie jasnej stało się sporadyczne.

niezbędnym elementem składowym logicznej konstrukcji opisującej zjawisko życia i ewolucji właśnie w kategoriach cybernetycznych.

Na razie chciałbym omówić pobieżnie pewne aspekty tradycyjnego, intuicyjnego znaczenia pojęcia "osobnik". Najbardziej chyba rzuca się w oczy aspekt strukturalny. Ponieważ życia składa się z osobników, aspekt ten to nic innego, jak dyskutowana wyżej struktura organizmów żywych. Każdy osobnik jest nie tylko jakoś wyodrębniony przestrzennie ze swego otoczenia, ale także różni się od tego otoczenia swoją wewnętrzną strukturą. Gdyby nie to drugie kryterium, cechy osobnicze należałoby przypisać kamieniowi, który jest przecież obiektem wyodrębnionym przestrzennie, posiada natomiast budowę wewnętrzną identyczną z budową macierzystej skały. Wewnętrzna struktura osobnika wiąże się między innymi z posiadaniem jakiejś bariery, oddzielającej go od otoczenia. Strukturalnemu wyodrębnieniu osobnika ze środowiska towarzyszy także odmienny skład chemiczny i posiadanie charakterystycznych struktur wyższego rzędu. Jeżeli za wzorcowy przykład osobnika wziąć, na przykład, amebę, to spełnia ona w sposób zadawalający powyższe kryteria. Ameba stanowi wyodrębnioną przestrzennie (choć zmiennych kształtów) grudkę cytoplazmy, otoczoną błoną komórkową. Jej skład (bio)chemiczny drastycznie różni się od składu otoczenia, czy jest to woda, gleba, czy inny rodzaj środowiska. Nawet ameby pasożytnicze posiadają nieco inny zestaw białek i innych związków organicznych, niż organizm gospodarza - stanowi to między innymi o odrębności danej ameby jako gatunku. Wreszcie, ameba posiada wielorakie struktury wyższego rzędu, jak makromolekuły białek i kwasów nukleinowych, ich kompleksy (rybosomy, chromosomy) organelle komórkowe (jądro, mitochondria) itd.. Oczywiście u organizmów wielokomórkowych dochodzi do tego jeszcze poziom tkanek, narządów oraz ich układów. Struktura wewnętrzna osobnika (organizmu żywego) ma zatem, jak wcześniej wspomniałem, charakter hierarchiczny.

Osobnik jest także wyodrębniony ze swego otoczenia funkcjonalnie. Oznacza to między innymi, iż ilość relacji (oddziaływań) pomiędzy elementami wchodzącymi w skład osobnika względnie przewyższa ilość oddziaływań pomiędzy osobnikiem a jego otoczeniem. Jeżeli wyodrębnimy arbitralnie jakiś obszar w obrębie skały, to liczba wewnętrznych relacji pomiędzy jego (także arbitralnie wyróżnionymi) "elementami" jest dokładnie taka sama, jak ilość "oddziaływań" pomiędzy takimi "elementami" znajdującymi się wewnątrz i na zewnątrz wyodrębnionego obszaru skały. W przypadku ameby, przeciwnie, względna liczba jej relacji wewnętrznych znacznie przewyższa ilość relacji zewnętrznych (pomiędzy amebą a otoczeniem). Wynika to z dwóch przyczyn. Pierwszą stanowi ogromne zróżnicowanie (skomplikowanie) funkcjonalne wnętrza ameby (a zatem nie tylko ilość, lecz także jakość funkcji odróżnia amebę od otoczenia), drugą - odcięcie przez barierę strukturalno-funkcjonalną (jej istotny element stanowi błona komórkowa) większości oddziaływań (zaburzeń) ze strony środowiska. Do wnętrza systemu dopuszczone zostają jedynie te, które, jako sygnały biochemiczne lub zmysłowe (na poziomie ameby trudno je odróżnić) mają istotną wartość informacyjną, przydatną dla przeżycia i pozostawienia potomstwa. Zgodnie z tym, co wspomniałem wcześniej, "struktura" funkcjonalna osobnika ma, tak jak jego struktura przestrzenna, charakter hierarchiczny. Cechuje ją również, także dyskutowana wcześniej, swego rodzaju "celowość", wyrażająca się w dążeniu do zachowania stałości warunków wewnętrznych, bez względu na

zmieniające się warunki zewnętrzne (nazywamy to homeostazą). Jej realizacji służy skomplikowany system mechanizmów regulacyjnych.

Dyskutowane aspekty osobnika (strukturalny i funkcjonalny), tak jak wyróżnione w ich obrębie podaspekty, są ze sobą ściśle powiązane i wzajemnie się uzupełniają. Można by je więc połączyć w jedną całość i określić razem jako podejście strukturalno-funkcjonalne.

Zarysowany powyżej klasyczny paradygmat traktowania osobnika biologicznego jako pewnej strukturalnej i funkcjonalnej całości stwarza jednakże pewne problemy. Pierwszym z nich jest to, iż klasyczna definicja odnosi się także do systemów z pewnością nie będących organizmami żywymi. Robot i komputer spełniają w zasadzie wszystkie dyskutowane powyżej kryteria czy aspekty. Także w najprostszych strukturach dyssypatywnych, jakimi są prądy konwekcyjne (np. komórki Benarda), można dostrzec pewne uporządkowanie struktury i funkcji, choć niewątpliwie występuje tu ono w szcążkowej postaci. Nie jest jednak jasne, czy pierwsze organizmy (osobniki) żywe były wiele bardziej skomplikowane. Strukturalno-funkcjonalna definicja osobnika wcale nie pokrywa się zatem z zasięgiem znaczenia terminu "osobnik" w odniesieniu biologiczno-ewolucyjnym, i nie stanowi zatem wystarczająco dobrego kryterium na odróżnienie żywych osobników od układów martwych.

Nawet jeżeli użycie paradygmatu strukturalno-funkcjonalnego ograniczymy tylko do układów, które tradycyjnie uważamy za organizmy żywe, to i tak pozostanie on niezbyt jasny i klarowny w kwestii, co właściwie należy uznać za osobnika.

Pierwszy przykład stanowią kolonijne jamochłony. U gatunków niekolonijnych (np. stułbi lub ukwiała) osobnik stanowi dobrze określoną i wyodrębnioną całość, składającą się z wydłużonego, dwuwarstwowego worka otaczającego jamę chłono-trawiającą, uchodzącą na zewnątrz jednym tylko otworem - otworem gębowym, otoczonym wieńcem czułków. Jednakże, u wielu jamochłonów kolonijnych osobniki są wyodrębnione z ciała kolonii tylko częściowo: mają wspólną jamę chłono-trawiającą, natomiast dysponują indywidualnymi otworami gębowymi otoczonymi wieńcem czułków, oraz gonadami. Paradygmat strukturalno-funkcjonalny nie jest w stanie odpowiedzieć jednoznacznie na pytanie, czy w tym przypadku osobnikiem jest cała kolonia, czy też jej tylko częściowo wyodrębnione i samodzielne "quasi-osobniki".

Inny wątpliwy przypadek reprezentują śluzowce, prymitywne organizmy wykazujące pewne cechy pośrednie pomiędzy pierwotniakami i grzybami. Przez większość swego cyklu życiowego egzystują one jako pojedyncze pełzaki (ameby). W przypadku braku pokarmu jednakże, pełzaki grupują się w wielokomórkowy twór zwany plazmodium, służący do utworzenia zarodni (na którą składa się nóżka, ścianki zarodni oraz wypełniające ją zarodniki) oraz do rozsiania tych zarodników. Niektóre pełzaki budują nóżkę i ściankę zarodni, inne zaś dają początek zarodnikom. Oczywiście jest przy tym, że tylko te pełzaki będą miały możliwość przekazania swego materiału genetycznego następnym pokoleniom, które przekształcą się w zarodniki, nie zaś te, które tworzą podstawkę i nóżkę (na których opiera się zarodnia) oraz ściany zarodni. Co jest więc tu osobnikiem? Czy pełzaki, które przez większość cyklu życiowego stanowią wyodrębnione strukturalnie i samodzielne funkcjonalnie jednostki? Czy plazmodium, realizujące przez krótki stosunkowo czas wspólne cele rozrodcze? A może pełzaki w pewnym momencie cedują swoją osobniczość na plazmodium?



U owadów społecznych jako osobniki powszechnie traktuje się zarówno formy płciowe, jak i będące na ich usługach kasty sterylne: robotników, żołnierzy itd.. Spełniają one doskonale zarówno kryteria strukturalne, jak i funkcjonalne. Jednakże, pewną całością w sensie funkcjonalnym oraz, może w mniejszym stopniu, strukturalnym, stanowi cała kolonia, szczególnie jeśli rozpatrywać ją razem z wytworzonym przez nią gniazdem. Występuje tu odgraniczenie od świata zewnętrznego, hierarchiczna struktura oraz bogata sieć różnorodnych oddziaływań, bogatych w wielorakie mechanizmy regulacyjne. Rodzi się zatem pytanie, czy kolonii także nie powinno się uważać za osobnika. A co wtedy z poszczególnymi owadami? Czy osobnik może składać się z osobników?. To już zakrawa na absurd - wtedy należałoby uznać za osobniki nerki, wątrobę oraz wszystkie wchodzące w skład ciała komórki. Z drugiej zaś strony, co wzbrania nam traktować jako osobnika całą biosferę? - przecież to jest także wyodrębniona strukturalnie i funkcjonalnie całość. Klasyczna definicja osobnika wydaje się tu całkowicie bezbronna.

Wirusy, składające się z nici kwasu nukleinowego otoczonej osłonką białkową, oraz wiroidy, których budowa ogranicza się do nagiej nici kwasu nukleinowego, spełniają strukturalno-funkcjonalne kryteria osobnika tylko częściowo. Niewątpliwie są one strukturalnie wyodrębnione z otoczenia, a w ich budowie (przynajmniej u wirusów) można dopatrzeć się aspektu hierarchicznego. Natomiast, poza komórką swego żywiciela nie mogą one w zasadzie funkcjonować. Wszystkie ich funkcje "życiowe", cała realizowana przez nie sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych opiera się bez reszty na metabolizmie gospodarza. Wirusy i wiroidy nie są zatem w najmniejszym stopniu autonomiczne pod względem funkcjonalnym. Wiroidy nie dysponują dodatkowo żadną barierą izolującą je od środowiska, za jaką można uznać białkową osłonkę wirusów. Ponownie więc, klasyczne podejście nie oferuje rozstrzygających kryteriów przyznania (lub nie) rozważanym obiektom statusu (żywego) osobnika.

Większość pasożytów to twory znacznie bardziej skomplikowane, niż wiroidy lub wirusy. Realizują one także szereg funkcji, z których przynajmniej część można uznać za autonomiczne, tzn. niezależne od organizmu żywiciela. Z reguły nie ma zatem problemów z zaliczeniem ich do osobników (choć, z drugiej strony, dlaczego by nie uznać za osobnika cały układ pasożyt-żywiciel?). Istnieje jednak szereg tworów, posiadających pewne cechy pasożytów, których status nie jest już tak jasny. Należą do nich nowotwory, priony i pasożytnicze DNA.

Nowotwory można w pewnym sensie uważać za "niedoszłe" pasożyty, których istnienie kończy się wraz ze śmiercią organizmu, w którym powstają. Szybkość wzrostu i częstotliwość podziałów poszczególnych (typów) komórek podlega z reguły u organizmów wielokomórkowych ścisłej kontroli. Nowotwór powstaje w momencie, gdy jakaś komórka (lub grupa komórek) wyłamie się, z jakichkolwiek przyczyn, spod tej kontroli i zacznie namnażać się z maksymalną prędkością, na jaką pozwala jej dostępność substancji odżywczych, tlenu itp.. Skutkiem jest przyrost masy komórek rakowych w postaci guza nowotworowego, który rozpycha sąsiadujące tkanki i może prowadzić do ich uszkodzenia. Jeżeli nowotwór jest złośliwy, komórki nowotworowe posiadają zdolność do przenoszenia się za pośrednictwem krwioobiegu z miejsca powstania nowotworu do dowolnego innego miejsca w organizmie, aby tam formować następne guzy nowotworowe. Prowadzi to do

szybkiej śmierci organizmu, która pociąga za sobą oczywiście także zagładę komórek nowotworowych.

Komórki nowotworowej nie uważa się z reguły za osobnika. Ale właściwie dlaczego? Pod względem skomplikowania struktury i funkcji jest ona z pewnością bardziej złożona od wszystkich bakterii, których "osobniczość" trudno negować. Akt transformacji nowotworowej wyrwa taką komórkę spod "supremacji" organizmu macierzystego, powodując iż żyje ona odtąd "swoim własnym życiem", jak każdy osobnik. Organizm "żywicielski" może być traktowany po prostu jako "środowisko" komórki nowotworowej. Od "normalnego" pasożyta różni tę ostatnią niemożność zarażenia innych organizmów. Ale przecież nie jest to cecha, która wchodzi w skład strukturalno-funkcjonalnej definicji osobnika!. Nie jest wykluczone, że człowiek także doprowadzi do zagłady całego swego środowiska, czyli ziemskiej biosfery i, o ile nie znajdzie sobie innego środowiska (innej planety) - wyginie. Nikomu jednak nie przyszłoby do głowy negować "osobniczości" poszczególnych ludzi. Wydaje się, że klasyczny paradygmat osobnika nie bardzo może sobie z tym problemem poradzić.

Priony to czynniki chorobotwórcze posiadające naturę białkową. Powodują one, kończące się śmiercią, choroby mózgu u zwierząt i człowieka. Ich efekt na zmiany w zachowaniu obrazują nazwy tych chorób, takie jak "choroba szalonych krów" trapiąca bydło lub kuru zwana "śmiejącą się śmiercią", rozpowszechniona wśród kanibali na Nowej Gwinei. Długoletnie próby określenia charakteru adekwatnego czynnika zakaźnego doprowadziły do zaskakującego wniosku, iż są nim pojedyncze molekuly białek produkowanych normalnie przez organizm zwierząt (zarówno chorych, jak i zdrowych), które nazwano prionami. Okazało się, iż cząsteczki białka prionu mogą występować w dwóch konformacjach (ułożeniach przestrzennych): "normalnej" oraz "infekcyjnej". Chorobę powoduje tylko ta ostatnia. Co więcej, dowiedziono, że forma "infekcyjna" jest w stanie stymulować, "katalizować" przemianę molekuł formy normalnej w dalsze cząsteczki formy infekcyjnej. Jedną zatem cząsteczką "infekcyjnej" formy prionu, która dostanie się do organizmu (mózgu) zdrowego osobnika zwierzęcia lub człowieka, może doprowadzić do jego śmierci, przekształcając wszystkie jego "normalne" molekuly prionu w molekuly "infekcyjne". Podsumowując, priony stanowią najprostszy znany nam czynnik chorobotwórczy, stanowiący po prostu zmienioną formę białka normalnie syntetyzowanego przez organizm.

Prionom, pod względem strukturalno-funkcyjnym, na pewno znacznie dalej do osobników, niż np. wiroidom. Ich struktura jest skrajnie prosta, trudno też, mimo iż priony cały czas mają styczność z metabolizmem "żywiciela", dopatrzeć się u nich jakiegokolwiek autonomicznej (realizującej "własne" cele prionów) funkcji, chyba że za jej szczytkową postać uznamy przemianę cząstek "normalnych" w "infekcyjne". Priony wykazują jednak cechę, której, jak pokazałem przed chwilą, brakuje nowotworom do uzyskania rangi "pełnoprawnego" pasożyta, a więc i osobnika - potrafią się one przenosić z organizmu na organizm, a zatem zdolne są do infekcji. Trzeba to uznać z kolejnym sygnałem, że paradygmat strukturalno-funkcyjny nie oferuje żadnego użytecznego kryterium identyfikacji systemów będących osobnikami.

"Pasożytnicze" DNA, takie jak niektóre sekwencje repetytywne (powtarzalne) oraz chromosomy B, stanowią ciekawy przypadek pasożytów genomu. Najprawdopodobniej pochodzą

one od fragmentów informacji genetycznej organizmu żywicielskiego, które usamodzielniały się w przeszłości i odtąd żyją i ewoluują "na własny rachunek", mając na celu swój sukces ewolucyjny (powielanie i rozprzestrzenianie swoich kopii) raczej niż dobro gospodarza. Pod tym względem przypominają nowotwory. Samolubne DNA nigdy nie opuszcza genomu gospodarza, przenosząc się wraz z jego komórkami rozrodczymi. Więcej o jego "zwyczajach" powiem poniżej, przy okazji omawiania cybernetycznej koncepcji osobnika. Tutaj wystarczy stwierdzić, że w przypadku samolubnego DNA klasyczne podejście ponownie ma niewiele do powiedzenia w kwestii "być albo nie być" osobnikiem. Można argumentować, że na to, aby przyznać samolubnemu DNA status osobnika, jest ono zbyt związane poprzez swoją genezę i funkcję z organizmem, na którym pasożytuje, a także posiada zbyt uproszczoną strukturę (szczególnie pojedyncze nici "pasożytniczego DNA"). Argument ten jednak w najlepszym razie odwołuje się do naszej intuicji i smaku.

Na koniec - casus symbiozy. Czy plecha porostu, składająca się z dwu współżyjących ze sobą komponent: grzyba i glona, stanowi jednego osobnika, czy też za osobniki należy uznać raczej te komponenty? W zjawisku symbiozy koegzystujące ze sobą (z wzajemną korzyścią) organizmy zawsze są w jakiś sposób powiązane strukturalnie i funkcjonalnie. Powiązanie to może być stopniowane od bardzo luźnych i przelotnych związków do bezwzględnego uzależnienia od siebie "na śmierć i życie", w zależności od konkretnego przypadku symbiozy. Nie jest jasne, czy wobec tego mamy także stopniować fakt bycia osobnikiem, czy też za osobnika uznać układ dwóch partnerów, pomiędzy którymi zachodzi jakakolwiek, najmniejsza choćby współpraca. Nie wydaje się, aby paradygmat strukturalno-funkcjonalny był zdolny rzucić nowe światło na ten problem.

Powyższe przykłady pokazują, że strukturalno-funkcjonalna definicja osobnika nie potrafi podać jasnych i niedwuznacznych atrybutów bycia osobnikiem. Co gorsze, nie jest ona w stanie powiązać jasno i bezpośrednio fenomenowi "osobniczości" z fenomenami życia i ewolucji, chociaż te trzy rzeczy wydają się być od siebie nierozdzielne. Wreszcie, co się z tym wiąże, paradygmat klasyczny nie wydaje się być specjalnie płodny heurystycznie. Jego przydatność dla wyjaśnienia takich kwestii, jak specyfika życia czy podmiot ewolucji jest praktycznie zerowa. Klasyczne ujęcie nie rzuca nowego światła na stare problemy i nie pozwala na formułowanie nowych, działając zasadniczo *ex post*, to znaczy dookreślając i kodyfikując już istniejące intuicyjne rozumienie osobnika. *De facto*, paradygmat strukturalno-funkcjonalny, odnosząc się do systemów biologicznych, pozostaje w dużej mierze w obrębie terminologii fizycznej. Już zatem na wejściu, niejako w warstwie założeń, mija się z istotą życia, odróżniając ją od przyrody nieożywionej. Wszystko to nie oznacza, że klasyczne podejście należy uznać za bezwartościowe. Wprost przeciwnie, może ono być bardzo użyteczne, ale tylko jako uzupełnienie jakiego głębszego i bardziej podstawowego ujęcia. W następnym rozdziale przedstawię, jak takie głębsze ujęcie mogłoby wyglądać.

Powyżej wymieniłem wiele wybranych aspektów, kojarzących się bezpośrednio z fenomenem życia. Ich listę z pewnością można by jeszcze długo kontynuować. Następnie dokonałem selekcji tylko tych aspektów, które stanowią niezawodne kryterium pozwalające na odróżnienie istot żywych od obiektów nieożywionych. W rezultacie pozostały trzy współdefiniujące się pojęcia, nieodłącznie

związane z życiem: osobnik, rozmnażanie (połączone z dziedziczeniem tożsamości) i ewolucja. Osobniki żywe, to układy produkujące układy potomne i przekazujące tym ostatnim zespół swoich cech, swoją tożsamość, która ulega ewolucji w czasie, z pokolenia na pokolenie.

Mówiąc jeszcze innymi słowy, istota życia zasadza się w nakierowanej na samą siebie tożsamości osobników żywych. Na tożsamość ową składa się całość struktury i mechanizmów regulacyjnych nakierowanych na przeżycie i rozród osobników będących jej nośnikami, a więc na kontynuację istnienia tejże tożsamości w czasie. Tożsamość osobników żywych istnieje tylko po to, aby utrzymywać przy istnieniu, chronić, powielać i rozprzestrzeniać nic innego, jak właśnie tę tożsamość. Tożsamość ewoluuje przy tym w czasie, z pokolenia na pokolenie, a więc nawet nie o ściśle zachowanie identyczności tożsamości tu chodzi, lecz o zachowanie ciągłości jej zmian w czasie. Ta ciągła kontynuacja, w której na etapach późniejszych zachowana jest przecież pamięć (w postaci bieżącej struktury i funkcji) o etapach wcześniejszych, czyni następujące po sobie i płynnie w siebie przechodzące kolejne tożsamości jakąś jednością. Jeśli to ostatnie stwierdzenie wyda się komuś niezrozumiałe, to proszę sobie przypomnieć człowieka, który przecież jest zupełnie kimś innym na starość, niż był w dzieciństwie, jego ciało i przede wszystkim psyche ulega ewolucji w przeciągu trwania życia. A przecież przez cały ten czas w jakimś, bardzo istotnym sensie, jest on ciągle tym samym człowiekiem. Można by powiedzieć, że tym, co wiąże kolejne "stadia" danego człowieka z różnych okresów jego życia, jest pamięć obecna u stadiów późniejszych - o stadiach wcześniejszych (u człowieka zasadniczą rolę, obok "pamięci o strukturze", odgrywa oczywiście pamięć psychiczna).

Podsumowując, życie można definiować z różnych (komplementarnych) punktów widzenia, posługując się takimi terminami, jak osobnik, rozmnażanie, ewolucja, czy wreszcie - tożsamość. Zachodzi jednakże podstawowe pytanie, czy wspomniane aspekty nadal nie stanowią pewnego "nadmiarowego" i makroskopowego sposobu opisu fenomenu życia, którego istota w rzeczywistości leży gdzieś głębiej. Lub, innymi słowy, czy da się wyodrębnić, wyłuskać jakieś prostsze jądro, sedno zjawiska życia, w odniesieniu do którego wspomniane aspekty są już to wtórnymi przejawami, już to makroskopowymi kategoriami, będącymi pochodną tyleż fenomenów rzeczywistego świata, ile naszych umysłów. Problemem tym zajmę się bliżej w następnym rozdziale, poświęconym cybernetycznemu paradygmatowi opisu życia i ewolucji.

## 2.2. CYBERNETYCZNE UJĘCIE EWOLUCJI BIOLOGICZNEJ.

Z opisanych powyżej na kartach tej książki paradygmatów charakteryzacji zjawiska życia, ani paradygmat "klasyczo - biologiczny" (oparty na kryterium budowy i funkcji, rozmnażania i ewolucji), ani tym bardziej paradygmat termodynamiczny (traktujący życie jako wielce skomplikowaną strukturę dyssypatywną, rozpraszającą energię) nie dotarł, moim zdaniem, do samego sedna istoty fenomenu życia (a w szczególności: żywego osobnika). Oznacza to, iż żaden z tych paradygmatów nie pozwala na jednoznaczne zdecydowanie zawsze i w każdych warunkach, czy rozpatrywany układ należy zaklasyfikować jako ożywiony (a przynajmniej na stworzenie jednoznacznego kryterium mogącego posłużyć do odgródnienia żywego od nieożywionego), a jeśli już, to czy stanowi on żywego osobnika równoważnego podmiotowi ewolucji. Oba paradygmaty zostały opracowane dla jednego konkretnego przypadku życia, a mianowicie dla obecnego życia na Ziemi, które, generalnie rzecz biorąc, bardzo dobrze odróżnia się od przyrody nieożywionej. Jednakże, nawet niektóre obiekty na naszej planecie stwarzają poważne problemy co do zaklasyfikowania ich jako żywe osobniki, jak to już było i jeszcze będzie dyskutowane. Znacznie poważniejsze problemy tego typu mogą się zrodzić podczas eksploracji obcych planet. Pewien przedsmak możliwej rozbieżności interpretacji daje ostatnie [pisałem to w roku 1998] odkrycie rzekomych śladów życia na Marsie, a przecież mamy tu doczynienia nie z samym "życiem", lecz jedynie możliwymi jego pozostałościami, znalezionymi w pochodzącym z Marsa meteorycie, w postaci związków organicznych i pewnych skamieniałych struktur kształtem przypominających bakterie. Możemy więc w tym przypadku zastaniać się niewiedzą i nią tłumaczyć nasze wahania co do statusu odnalezionych śladów. Wyobraźmy sobie jednak sytuację, kiedy dostajemy do ręki jakiś dziwny, całkowicie nam obcy i niezrozumiały twór lub obiekt i mamy zaklasyfikować go jako istotę żywą lub martwy twór, i nagle okazuje się, że brakuje nam rozstrzygających kategorii lub punktów odniesienia, które moglibyśmy zapożyczyć od ziemskiego życia, a które pozwoliłyby nam podjąć jednoznaczną decyzję (problem ten doskonale zilustrował Stanisław Lem w takich powieściach jak "Solaris" lub "Niezwyciężony"). Kryterium odróżniające życie od przyrody nieożywionej byłoby także bardzo przydatne przy rozważaniu powstania życia na naszej planecie. Miałoby ono kluczowe znaczenie dla odpowiedzi na pytanie, w którym momencie nastąpiło wyłonienie się życia z zawiesiny "martwych" związków organicznych oraz na czym polegało tego życia zaistnienie.

W niniejszym rozdziale chciałbym zaproponować cybernetyczny paradygmat charakteryzacji istoty życia (żywego osobnika), który moim zdaniem pozwala na istotny postęp w rozwiązaniu przedstawionego powyżej problemu, choć zapewne nie stanowi całkowicie idealnego i absolutnego kryterium "ożywienia" układu, bo kryterium takie jest przypuszczalnie niemożliwe. Po pierwsze, choć życia z pewnością nie da się wyczerpująco zdefiniować jako np. struktury dyssypatywnej związanej z produkcją entropii, to niewątpliwie życie musi być także, czymkolwiek innym by nie było, strukturą dyssypatywną. Termodynamika mówi nam zatem, że życia nie ma co szukać w układach bliskich równowagi termodynamicznej (np. w zimnym pyłe międzygwiazdowym lub Kosmosie o ujemnej

krzywiźnie przestrzeni za paręset miliardów lat) i faktu tego nie wolno nam w żadnym razie zaniedbać w pełnej charakterystyce zjawiska życia. Oprócz "jądra" istoty życia istotne są zatem warunki niezbędne dla zaistnienia tego jądra: odsunięcie układu od stanu równowagi termodynamicznej, obecność odpowiedniego typu związków chemicznych (nie do pomyślenia jest na przykład, poza powieściami science-fiction, życie w gazie, ze względu na brak substancji gazowych o wystarczającym bogactwie struktury cząsteczek) itd..

Po drugie, zjawisko życia jest pewną makroskopową kategorią, leżącą po stronie naszego umysłu, lecz niekoniecznie istniejącą "realnie" (cokolwiek by to miało znaczyć) w rzeczywistym świecie. Wobec tego także próba odkrycia jednoznacznego i absolutnego kryterium odróżniającego życie od materii nieożywionej może być w pewnej mierze niczym więcej, niż skłonnością ludzkiego umysłu do szufladkowania na dyskretne kategorie świata, będącego w swej istocie ciągłym spektrum fenomenów. Świadom tych zagrożeń i ograniczeń, postaram się jednakże podać cybernetyczną charakterystykę "minimalnego rdzenia semantycznego" odpowiadającego fenomenowi życia (żywego osobnika), która, moim zdaniem, najlepiej odzwierciedla to, co bylibyśmy skłonni z życiem utożsamić.

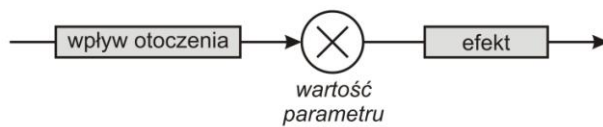
Cybernetyka jest nauką o regulacji, przede wszystkim o mechanizmach regulacyjnych w złożonych układach realizujących jakiś cel (układach "dążnościowych", takich jak organizmy żywe i wiele urządzeń budowanych przez człowieka), cokolwiek byśmy przez taki cel nie rozumieli. Podstawowe terminy, jakimi operuje cybernetyka, to sprzężenie zwrotne ujemne i sprzężenie zwrotne dodatnie. Sprzężenie zwrotne ujemne stanowi fundamentalny mechanizm regulacyjny. Ma ono za zadanie utrzymanie wartości jakiegoś parametru (może być nim temperatura, szybkość reakcji, stężenie związku lub cokolwiek innego) na zadanym poziomie - jakiegokolwiek zaburzenia powodujące odchylenie wartości parametru od tej zadanej wartości w którąś stronę indukują działania prowadzące do zmiany wartości parametru w stronę przeciwną (stąd nazwa "ujemne"), a więc do niwelacji (kompensacji) efektu tego odchylenia. Sprzężenie zwrotne dodatnie, przeciwnie, dąży do zmiany wartości parametru w kierunku zgodnym (stąd - "dodatnie") z kierunkiem, w którym nastąpiło odchylenie od "zadanej" wartości (którą często jest po prostu zero). Sprzężenie to powoduje zatem coraz większy i większy wzrost (ewentualnie spadek) wartości danego parametru. O ile więc w sprzężeniu zwrotnym ujemnym wartość parametru dąży do wartości zadanej, oscylując wokół niej, to w sprzężeniu zwrotnym dodatnim wartość parametru tym szybciej ucieka od wartości "zadanej", im dalej już się od niej znajduje. Rycina 2.9 przedstawia schematycznie układ bez sprzężenia zwrotnego porównany z układem zawierającym sprzężenie zwrotne ujemne oraz sprzężenie zwrotne dodatnie. Poniżej dokładniej omówię oba rodzaje sprzężenia oraz podam ich rozmaite przykłady.

Sprzężenie zwrotne ujemne stanowi centralne pojęcie całej cybernetyki. W języku potocznym można by je po prostu z grubsza wyrazić jako "mechanizm regulujący". Ponieważ jednak cybernetyka definiuje to, co rozumiemy przez regulację w sposób o wiele bardziej precyzyjny i sformalizowany, niż czyni to język potoczny, będziemy trzymali się terminu "sprzężenie zwrotne ujemne".

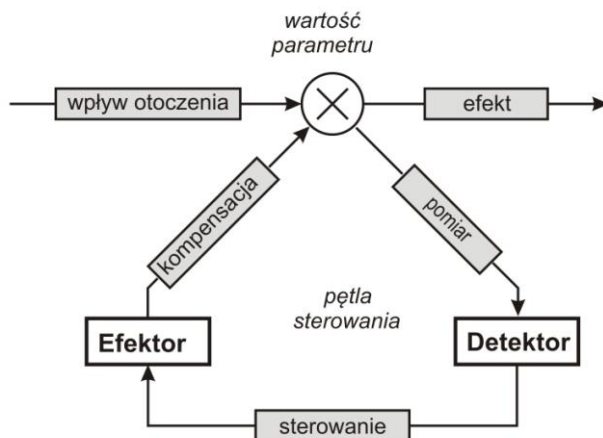
Rycina 2.9a przedstawia system bez jakiegokolwiek regulacji. Wartość jakiegoś rozpatrywanego parametru (niech będzie to, powiedzmy, temperatura) stanowi tutaj skutek biernej reakcji rozpatrywanego układu na wpływ otoczenia. Jeżeli w ciepłym pokoju postawimy szafkę, to

temperatura w jej wnętrzu szybko wyrówna się z temperaturą pokoju. Jeżeli ścianki szafki tak zbudujemy, aby jak najlepiej izolowały ciepłnie, to proces wyrównywania temperatur zostanie spowolniony, ale końcowy efekt będzie ten sam. Jeżeli w naszej szafce będzie znajdowała się żywność (np. mięso), to efektem panującej w szafce pokojowej temperatury będzie szybkie zepsucie się tej żywności. Efekt ten będzie niekorzystny w odniesieniu do przyświecającego człowiekowi celu, aby zachować świeżość przechowywanej żywności przez jak najdłuższy czas. W układzie bez regulacji, zatem, wartość danego parametru reaguje biernie na oddziaływania środowiska i w wyniku "niekorzystnego" wpływu otoczenia może wywierać niekorzystny (ze względu na jakiś z góry określony cel) efekt.

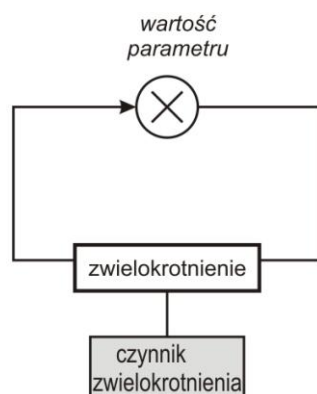
a. *system bez sprzężenia*



b. *sprzężenie zwrotne ujemne*



c. *sprzężenie zwrotne dodatnie*



Ryc. 2.9. Sprzężenie zwrotne ujemne i dodatnie. (a) system bez sprzężenia, a więc reagujący biernie na wpływy otoczenia; (b) system ze sprzężeniem zwrotnym ujemnym, regulujący (utrzymujący na stałym poziomie) wartość jakiegoś parametru i kompensujący zaburzające wpływy otoczenia; (c) system ze sprzężeniem zwrotnym dodatnim, w danym przedziale czasowym zwiększający wartość danego parametru o jakiś stały czynnik - wartość parametru rośnie tym szybciej, im już jest większa.

Regulacja wartości danego parametru (tutaj: temperatury) polega na jej utrzymywaniu w pobliżu optymalnej wartości zadanej, wywołującej najlepszy efekt względem jakiegoś założonego z góry celu. W naszym przypadku taką zadaną wartością będzie temperatura wystarczająco niska, aby na długi czas zapobiec psuciu się żywności, a jednocześnie na tyle wysoka, aby utrzymywanie tej temperatury nie wymagało zbyt wiele energii. Mechanizmem pozwalającym na utrzymanie parametru (temperatury) na zadanym (optymalnym) poziomie jest właśnie sprzężenie zwrotne ujemne. Ono to bowiem stanowi podstawę działania termostatu w lodówce, która, jak wiemy, jest urządzeniem służącym do przechowywania żywności poprzez zdolność do utrzymywania stałej (z niewielkimi oscylacjami) niskiej temperatury. Prześledźmy więc działanie lodówki w odniesieniu do ryciny 2.9b, prezentującej układ ze sprzężeniem zwrotnym ujemnym.

Lodówka stojąca w ciepłym pokoju ma naturalną tendencję, mimo izolacji cieplnej swoich ścianek, do wyrównywania temperatury swego wnętrza z temperaturą pokoju (wpływ otoczenia). Skutkiem tego byłoby podniesienie się temperatury wnętrza lodówki (a więc wzrost wartości parametru ponad wartość zadaną) i w efekcie popsucie się znajdującej się w niej żywności. W lodówce następuje jednak ciągły pomiar (detekcja) wartości parametru (temperatury) przez odpowiedni detektor, w tym przypadku urządzenie zwane termostatem. Jeżeli detektor stwierdzi wzrost wartości parametru ponad wartość zadaną, wysyła on sygnał sterowania uruchamiający odpowiedni efektor (tu: urządzenie chłodnicze), który przeciwdziała odchyleniu wartości parametru od wartości zadanej, spowodowane wpływami otoczenia, a więc powoduje kompensację zaburzeń spowodowanych przez te wpływy. W omawianym przypadku oznacza to obniżenie temperatury tak, aby powróciła ona do optymalnej wartości zadanej. Generalnie rzecz biorąc, w sprzężeniu zwrotnym ujemnym im większe jest odchylenie wartości parametru od wartości zadanej, tym silniejsza kompensacja, zmniejszająca to odchylenie (stąd nazwa "ujemne"). Cała omówiona sekwencja przyczynowo-skutkowa, a mianowicie: wzrost wartości parametru ponad zadaną - pomiar - detektor - sterowanie - efektor - kompensacja - spadek wartości parametru z powrotem do wartości zadanej, nazywamy pętlą sterowania. Skutkiem jej działania jest utrzymanie, pomimo różnych wpływów otoczenia, takiej wartości danego parametru, która wywołuje korzystny, pożądany efekt.

Czy jednak chłodziarka nie mogłaby oziębiać lodówki ze stałą szybkością, dokładnie niwelującą szybkość jej ogrzewania się poprzez wymianę ciepła z otoczeniem? Niestety, nie. W naszym przykładzie stworzyliśmy dla lodówki bardzo "komfortowe" warunki, zakładając stałą (choćby wysoką) temperaturę w pokoju. W ogromnej większości sytuacji warunki zewnętrzne nigdy nie są idealnie niezmiennie - podlegają one ciągłym, nieprzewidywalnym fluktuacjom. Wyobraźmy sobie wahania temperatury otoczenia naszej lodówki, kiedy przez cały rok okno w pokoju trzymalibyśmy otwarte. Zmieniałaby się wtedy temperatura zewnątrz, a zatem także szybkość ogrzewania się wnętrza, liniowo proporcjonalna do różnicy temperatur na zewnątrz i wewnątrz. W tym przypadku pętla sterowania okazuje się całkowicie niezbędna.

Zadana wartość parametru nie musi być stała. Może się ona zmieniać w zależności od warunków. Inna jest, na przykład, optymalna temperatura ciała nietoperza w lecie, a inna w zimie, podczas hibernacji. Ważne jest, aby bieżąca optymalna wartość parametru służyła celowi



nadrzędnemu całego układu, w tym przypadku przeżyciu oraz pozostawieniu potomstwa przez nietoperza.

Przejdźmy teraz do sprzężenia zwrotnego dodatniego. Posiada ono, jak sugeruje jego nazwa, działanie przeciwne do działania sprzężenia zwrotnego ujemnego. O ile to ostatnie powoduje "przyciąganie" wartości danego parametru do jakiejś (skończonej) wartości zadanej, to sprzężenie zwrotne dodatnie "odpycha" wartość danego parametru od wartości "zadanej" tym silniej, im dalej wartość aktualna odbiega od wartości zadanej. Wartość parametru szybko (w sposób eksponencjalny) zmierza zatem do nieskończoności, a otrzymany efekt można by nazwać "anty-regulacyjnym" lub też "wybuchowym".

Sprzężenie zwrotne dodatnie ma miejsce w przypadku wspomnianej uprzednio jądrowej reakcji łańcuchowej oraz rozmnażania się kolonii bakterii. Każdy wolny neutron lub bakteria zdolne są do wytwarzania nowych neutronów (bakterii). Im więcej neutronów (bakterii) jest w danej chwili, tym szybsza jest produkcja nowych wolnych neutronów (bakterii) - pochodzi to stąd, że każdy pochłaniany przez jądro radioaktywnego izotopu uranu ( $U^{235}$ ) neutron prowadzi do emisji trzech nowych neutronów, a każda komórka bakteryjna dzieli się na dwie komórki potomne. Zatem, po upływie czasu pomiędzy emisją neutronu a rozbięciem kolejnego jądra uranu (ewentualnie okresu podziału komórki bakterii) ilość neutronów (bakterii) ulega każdorazowo potrojeniu (podwojeniu). Mówiąc ogólnie, w sprzężeniu zwrotnym dodatnim niezerowa wartość jakiegoś parametru powoduje wzrost samej siebie, i to tym szybszy, im większa jest ta wartość w danej chwili. Innym przykładem omawianego rodzaju sprzężenia zwrotnego jest omawiana wcześniej reakcja autokatalityczna, w której cząsteczka związku chemicznego katalizuje syntezę cząstek identycznych do samej siebie, albo lawina kamienna, kiedy jeden potrącony kamień na zboczu wprawia w ruch następne, tak że bardzo szybko ogromna masa kamieni schodzi w dół zbocza. Często też proces będący skutkiem sprzężenia zwrotnego dodatniego określamy mianem reakcji lawinowej.

Wróćmy jednakże do sprzężenia zwrotnego ujemnego. Jest ono podstawowym mechanizmem regulacyjnym u takich układów dążnościowych (realizujących jakiś cel), jak organizmy żywe lub wiele urządzeń budowanych przez człowieka<sup>20</sup>. W przypadku wytworów człowieka

---

<sup>20</sup> Mechanizm ten funkcjonuje także w pewnym sensie w rozmaitych innych układach, na przykład w atmosferze ziemskiej. Powstaje tutaj jednak semantyczny problem odróżnienia sprzężenia zwrotnego ujemnego od stanu równowagi dynamicznej, który jest losowo zaburzany przez procesy turbulencyjne. Weźmy za przykład dowolną gwiazdę. Promień takiej gwiazdy jest, jak wspomniałem wcześniej, wypadkową działania dwóch sił: grawitacji dążącej do ściągnięcia całej materii gwiazdy do małego obszaru oraz ciśnienia promieniowania, "rozpychającego" tę materię na zewnątrz. Ponieważ ciepło w wnętrzu gwiazdy przenoszone jest przez prądy konwekcyjne, jej powierzchnia przypomina trochę powierzchnię gotującej się wody. Pewne fragmenty (bąble, protuberancje) oddalają się chwilowo od powierzchni gwiazdy, przekraczając tym samym "zadaną" odległość od jej środka, określoną przez promień gwiazdy. Tam jednak ciśnienie promieniowania nie jest wystarczające do zrównoważenia grawitacji i wyrzucona materia wraca z powrotem na powierzchnię gwiazdy. Zjawiska tego nie traktujemy jako sprzężenia zwrotnego ujemnego, ponieważ umysł ludzki nie wyróżnia spadku siły promieniowania wraz z odległością (szybszego, niż spadek siły grawitacji) jako "specjalnego", celowego sygnału regulacyjnego. W zasadzie jednek opisany przypadek niczym się istotnym nie różni od "typowego" sprzężenia zwrotnego ujemnego - różnice te są pochodną "wartościowania" narzucanego przez nasz aparat poznawczy. Istotne jest także, że utrzymywanie stałego promienia

sprężenie zwrotne ujemne może się wyrażać w korygowaniu odchylenia od zadanego toru lotu rakiety, utrzymywanie stałego ciśnienia w kotle parowym, optymalizacji zadań wykonywanych przez pewne typy robotów lub też w diskutowanym powyżej działaniu termostatu. Naturalną koleją rzeczy będą nas jednak teraz interesować mechanizmy regulacyjne mające postać sprzężenia zwrotnego ujemnego, występujące u organizmów żywych.

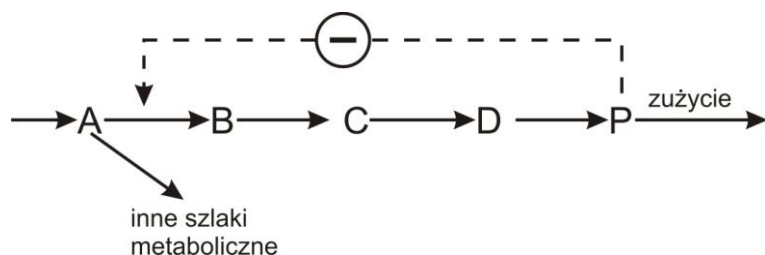
Typowe przykłady sprzężenia zwrotnego ujemnego u organizmów żywych można znaleźć na przykład na poziomie biochemicznym. Występuje ono między innymi w przypadku metabolicznych szlaków syntezy wielu aminokwasów. Szlak taki ilustruje rycina 2.10. Dany aminokwas stanowi końcowy produkt P takiego szlaku. Cały szlak polega na przekształcaniu kolejnych metabolitów w następne metabolity przez kolejne reakcje enzymatyczne: A przekształcany jest w B, B w C, następnie w D i w końcu dochodzi do syntezy P. O ile metabolit A jest prekursorem nie tylko aminokwasu P, lecz także szeregu innych związków, o tyle metabolity B, C i D występują wyłącznie na szlaku syntezy P. Zadaniem sprzężenia zwrotnego ujemnego jest tutaj utrzymanie względnie stałego stężenia P, tak aby z jednej strony nie ulegał on nadmiernemu nagromadzeniu w komórce, a z drugiej - by był w wystarczająco dużym stężeniu, aby zaspokoić zapotrzebowanie zużywających go reakcji. Czynnikiem zaburzającym stężenie P jest zmienna intensywność rozmaitych reakcji, dla których aminokwas ten jest substratem, np. syntezy białka. Gdyby, przy nagłym wzroście (spadku) szybkości syntezy białka (czyli zużycia P), nie nastąpiło "dostrojenie" szybkość produkcji P do szybkości jego konsumpcji, stężenie P w krótkim czasie drastycznie spadłoby (wzrosło). Ze wspomnianych wyżej względów byłoby to niekorzystne. Dlatego też stężenie P działa jako sygnał w sprzężeniu zwrotnym ujemnym, hamując pierwszą reakcję prowadzącą (wyłącznie) do swojej własnej produkcji, czyli przekształcenie A w B. W warunkach, kiedy aminokwas P nagromadzi się w wystarczającej ilości, szybkość tej reakcji ulega inhibicji (zapobiega to także nadmiernemu gromadzeniu się B, C i D). Kiedy zaś, przeciwnie, stężenie P spadnie wskutek intensywnego zużycia, przemiana A w B zostaje "odblokowana" i szybkość przepływu metabolitów przez szlak wzrasta, co przeciwdziała spadkowi stężenia P. W przytoczonym przykładzie "detektorem" dokonującym "pomiaru" stężenia P jest centrum allosteryczne enzymu katalizującego reakcję  $A \rightarrow B$ , wiążące P; "sterowanie" odbywa się na drodze zmiany konformacyjnej (ułożenia przestrzennego) w cząsteczce enzymu na skutek związania P przez centrum allosteryczne, powodującej zmniejszenie aktywności centrum katalitycznego; ono z kolei pełni rolę "efektora" kompensującego, poprzez zmianę w szybkości syntezy P, wahania w stężeniu tego aminokwasu.

Innym przykładem sprzężenia zwrotnego ujemnego na poziomie biochemicznym jest regulacja szybkości produkcji energii w odpowiedzi na zmieniające się w czasie zapotrzebowanie na energię (jej zużycie w rozmaitych procesach wewnątrz komórki, takich jak synteza białek, transport jonów przez błonę komórkową czy też wzajemne przesuwanie się wobec siebie filamentów aktyny i miozyny w trakcie kurczu mięśnia). Uniwersalnym "nośnikiem" energii jest tam związek chemiczny

---

trudno utożsamić z jakimkolwiek sensownym z ludzkiego punktu widzenia "celem". O "faktotwórczej" roli naszego umysłu powiem więcej w rozdziale poświęconym ewolucji sieci pojęciowej.

zwany ATP, syntetyzowany (u zwierząt) głównie w organellach komórkowych zwanych mitochondriami w procesie fosforylacji oksydacyjnej. Ulega on syntezie z innego związku, ADP. W trakcie wykonywania tych różnych rodzajów pracy (synteza białka, skurcz mięśni, ruch witki) ATP "oddaje" swoją energię, przekształcając się w ADP, które przekazywane jest do mitochondriów, gdzie ponownie służy jako substrat do syntezy ATP. Szybkość zużywania ATP przez komórkę zmienia się - w czasie spoczynku jest ona relatywnie mała, zaś podczas, na przykład, skurczu mięśnia - duża. Zachodzi konieczność dostosowania szybkości produkcji ATP do szybkości jego zużycia - mitochondria muszą w jakiś sposób "wiedzieć", z jaką prędkością mają dostarczać ten związek (inaczej cały ATP szybko zostałby wyczerpany, albo też nagromadziłby się w stężeniach śmiertelnych dla komórki). Rolę sygnału informującego te organelle o aktualnym zapotrzebowaniu energetycznym komórki spełnia stężenie ADP. Przy zwiększonej pracy ATP jest szybciej przekształcane w ADP, a zatem stężenie tego ostatniego związku rośnie. Prowadzi to do "aktywacji" mitochondriów (mówiąc ściślej, odpowiednich enzymów mitochondrialnych biorących udział w produkcji energii) i intensywniejszej syntezy ATP, co powoduje wzrost jego stężenia, podczas gdy stężenie ADP maleje. Skutkiem tego mechanizmu jest częściowa przynajmniej kompensacja zmian w stężeniu ATP i ADP w okresach zwiększonego zapotrzebowania na energię oraz zapewnienie stałego dopływu ATP z odpowiednią szybkością<sup>21</sup>.



Ryc. 2. 10. Sprzężenie zwrotne ujemne w szlaku metabolicznym prowadzącym do syntezy aminokwasu P. Wyższe stężenia P hamują pierwszą reakcję prowadzącą bezpośrednio do syntezy tego aminokwasu, zapobiegając w ten sposób gromadzeniu się w nadmiarze P oraz metabolitów pośrednich (B, C i D).

Oba przedstawione powyżej przykłady regulacji na poziomie biochemicznym dotyczyły modyfikacji aktywności enzymów już obecnych w komórce. Często odpowiednie białka enzymatyczne są jednak syntetyzowane dopiero wtedy, kiedy są one potrzebne. Zapobiega to niepotrzebnemu ekspensowi energii i aminokwasów na wytwarzanie enzymów, które w danym momencie "nie mają nic do roboty". Mechanizm taki ma miejsce np. u bakterii w przypadku enzymów katalizujących szlak rozkładu cukru laktozy. Synteza tych enzymów następuje jedynie w przypadku obecności laktozy w otoczeniu. Cukier ten odblokowuje ekspresję genów kodujących wspomniane enzymy, a zatem regulacja odbywa się na poziomie genetycznym (szczegóły mechanizmu tej regulacji opisuje słynna

<sup>21</sup> Opisany mechanizm jest w rzeczywistości trochę bardziej skomplikowany - np. jony wapnia mogą stymulować jednocześnie produkcję i zużycie ATP.

teoria operonu). Tutaj, w zależności od sytuacji, regulacja ma na celu optymalizację dwóch różnych parametrów. W obecności laktozy dominuje sprzężenie zwrotne ujemne "dbające" o zapewnienie dostatecznej ilości budulca oraz substratu oddechowego dla produkcji energii (rolę obu spełnia między innymi laktoza). Przy braku tego cukru, powyższy cel musi oczywiście być realizowany w inny sposób (poprzez przyswajanie innych związków z otoczenia). Wtedy do głosu dochodzi konieczność zahamowania niepotrzebnego zużycia energii i budulca w postaci aminokwasów na syntezę białek enzymatycznych. Wszystko to odbywa się w ramach nadrzędnego celu, polegającego na zapewnieniu komórce bakteryjnej jak największego dopływu energii i budulca, pozwalających na możliwie szybki wzrost i dzielenie się (inaczej można go określić jako utrzymywanie stałego stężenia substancji odżywczych w komórce podczas maksymalnej szybkości wzrostu i podziałów). Ten cel nadrzędny wyznacza dwie różne "zadane" wartości stężenia enzymów należących do szlaku rozkładu laktozy: stężenie zerowe przy braku tego cukru oraz stężenie zapewniające optymalną szybkość degradacji laktozy - w jej obecności. Zadana wartość parametru jest więc tutaj warunkowa - zależy od okoliczności.

Skoro już jesteśmy przy omawianiu mechanizmów regulacyjnych u bakterii, warto wspomnieć o substancjach zwanych alarmonami. Alarmony pojawiają się w momencie braku w komórce jakiejś klasy związków organicznych. Na przykład, ppGpp jest sygnałem głodu aminokwasowego, natomiast cAMP występuje w przypadku głodu węglowego (brak cukrów). Alarmony stymulują syntezę rozmaitych enzymów uczestniczących w produkcji typu związków organicznych, którego akurat brakuje. Ich znaczenie jako sygnału sterującego w sprzężeniach zwrotnych ujemnych mających za zadanie utrzymanie dostatecznie dużego stężenia rozmaitych związków jest chyba oczywiste. Innym mechanizmem regulacyjnym działającym w przypadku braku substancji odżywczych jest wytwarzanie rzęsek, służących komórkom bakteryjnym do lokomocji. Rzęski pozwalają na aktywne poszukiwanie związków organicznych w otoczeniu i przez to także są elementem pętli sterowania zmierzającej do utrzymania stałego stężenia substancji budulcowych i energetycznych w komórce.

Częstość podziałów u bakterii stanowi prostą pochodną szybkości wzrostu (podwajania masy) komórek bakteryjnych. Jednakże moment, w którym bakteria ulega podziałowi, czyli krytyczna wielkość komórki, której przekroczenie stanowi sygnał do podziału, określany jest najprawdopodobniej proporcją ilości cytoplazmy do ilości DNA w nukleoidzie (czyli nagiej, kolistej, zwiniętej w kłębek nici DNA u organizmów bezjądrowych - Prokaryota). W momencie podziału ilość DNA ulega podwojeniu, natomiast ilość cytoplazmy nie zmienia się, a zatem stosunek cytoplazmy do DNA spada dwukrotnie, by potem stopniowo zwiększać się podczas wzrostu komórek potomnych aż do następnego podziału. W tym sprzężeniu zwrotnym ujemnym stosunek cytoplazma/DNA utrzymywany jest w pewnych określonych granicach (jego wartość zmienia się jedynie dwukrotnie). Ma to o tyle znaczenie, że przy nadmiarze cytoplazmy DNA nie "nadażałoby" z syntezą zbyt wielkiej ilości białek, natomiast przy zbyt małej ilości cytoplazmy nie byłaby ona w stanie wyprodukować dostatecznej ilości energii i budulca, potrzebnych do duplikacji (podwajania ilości) DNA przy podziale komórki. Pamiętajmy, iż cała cytoplazma to w pewnym sensie jedynie nośnik, vehiculum dla informacji genetycznej zapisanej w DNA, służący do rozprzestrzeniania tej informacji (ale z drugiej

strony, ta informacja to nic innego, jak opis struktury i funkcji całej komórki, czyli przede wszystkim cytoplazmy - do tego "błędnego koła" tak charakterystycznego dla istoty życia niejednokrotnie jeszcze powrócę).

U bakterii cała sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, stanowiąca o funkcjonalnej istocie tych organizmów (jako układów posiadających "celowe" mechanizmy regulujące), realizowana jest przede wszystkim na poziomie biochemicznym i genetycznym. "Zapis" schematu owej sieci znajduje się w nici DNA, przy czym w interpretacji tego zapisu uczestniczy cały zespół enzymów (z syntetazą aminoacylo-tRNA na czele) przekładających (kluczem jest tu kod genetyczny) "dyrektywy" wyrażone sekwencją nukleotydów w DNA na sekwencję aminokwasów w białkach, determinującą strukturę i funkcję tych ostatnich. Skąd zapis ten "wie", jakie białka i w jakiej kolejności czasowej należy produkować, aby optymalnie spełniać funkcję przeżycia i powielania samego siebie? Informacja genetyczna jest "ślepa" - w żaden sposób nie "widzi" świata fizycznego, ani rządzących nim reguł. Zapisany w niej plan sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych powstał w procesie ewolucji metodą prób i błędów. Tylko te, przypadkowo powstałe, pętle sprzężenia zwrotnego ujemnego zostały utrwalone w DNA (jako zapis struktury białek oraz wzorca ekspresji genów, określającego czas i intensywność syntezy rozmaitych białek), które okazały się korzystne dla przeżycia, możliwie szybkiego wzrostu i rozmnażania, pozostałe zaś uległy wymazaniu. Sytuacja ta przypomina nieco ślepego, który nie widzi pokoju, ale nauczył się poruszać w nim po omacku. Tak jak "obraz" pokoju znalazł pewne odzwierciedlenie w zespole reguł, jakim kieruje się ślepiec przy przemieszczaniu z miejsca na miejsce, tak system sprzężeń zwrotnych ujemnych zapisany w genomie każdego organizmu stanowi "odbicie" świata zewnętrznego, w którym ten organizm żyje. Odbicie to dotyczy jednak głównie aspektów świata mających istotne znaczenie dla przeżycia. Ograniczeniu powyższemu podlega także szczytowy wytwór ewolucji odtwarzający obraz świata, czyli ludzki mózg "podłączony" do całego zespołu narządów zmysłów. Wynikające stąd implikacje dla natury i uniwersalności naszego poznania w nauce i filozofii dyskutuję w trzeciej części tej książki.

Zanadto wybiegłem jednak do przodu, czas przeto wrócić do sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych i przyjrzeć się paru ich przykładom u organizmów wyższych. U organizmów wielokomórkowych pojawiają się wyższe poziomy hierarchii w budowie i funkcji: poziom tkankowy, poziom narządów, poziom układów narządów, wreszcie - poziom całego organizmu wielokomórkowego. Każdy z tych poziomów posiada swoje systemy sprzężeń zwrotnych ujemnych, przy czym są one również uorganizowane hierarchicznie - sprzężenia zwrotne ujemne na niższym poziomie "pracują" na rzecz realizacji sprzężeń na wyższym poziomie.

Weźmy poziom cukru (glukozy) we krwi. Steruje nim zespół dwóch antagonistycznych hormonów, z których insulina obniża ten poziom, natomiast glukagon go podwyższa. Odbywa się to na zasadzie depozycji (odkładania) glukozy w rozmaitych tkankach w postaci glikogenu lub (po przekształceniu) tłuszczów, albo też - przeciwnie - na uwalnianiu glukozy z tkanek do krwi. Mniej więcej stały poziom cukru we krwi istotny jest dlatego, że zbytne obniżenie tego poziomu doprowadziłoby do uszkodzenia (lub wręcz obumarcia) tych tkanek, które, jak mózg, używają glukozy jako jedyne źródła energii, natomiast zbyt duża ilość cukru prowadzi do śpiączki cukrzycowej.

Gruczoły produkujące wspomniane hormony posiadają umiejętność detekcji poziomu cukru we krwi i adekwatnego reagowania podwyższeniem lub obniżeniem produkcji hormonu. Uczestnictwo aż dwóch sygnałów sterujących (hormonów) działających antagonistycznie zapewnia bardziej precyzyjną i dostosowaną do warunków regulację, niż miałyby to miejsce w przypadku jednego tylko sygnału.

Poziom cukru we krwi podlega rozmaitym wahaniom, ponieważ rozmaite tkanki zużywają go ze zmienną w czasie intensywnością. Poza tym, po posiłku jest go istotnie więcej, niż po okresowym głodowaniu. Równowaga procesów uwalniania i depozycji glukozy (a także tłuszczów) w tkankach zapasowych musi zostać dostosowana do bieżących potrzeb. To jednakże nie wystarcza. Jasne jest, że zapasy substancji odżywczych w ciele zwierzęcia nie są nieograniczone i po dłuższym okresie głodowania zaczynają się wyczerpywać. Zachodzi zatem potrzeba ich uzupełnienia, czyli po prostu pobrania pokarmu z zewnątrz. Obniżony poziom glukozy we krwi pobudza zatem ośrodek głodu w mózgu znajdujący się w podwzgórzcu. Zmienia to stan aktywności całego zwierzęcia, które zamiast błogo odpoczywać po suto posiłku, podnosi swój stan aktywności, podejmując intensywne czynności zmierzające do zdobycia pożywienia. W momencie osiągnięcia sukcesu i zaspokojenia głodu, aktywność zwierzęcia ponownie ulega obniżeniu. To kolejne sprzężenie zwrotne ujemne działa na poziomie całego zwierzęcia.

Wróćmy jednak do insuliny i glukagonu. Ich produkcja i uwalnianie uzależnione jest od realizacji innych sprzężeń zwrotnych ujemnych, występujących na niższych poziomach - genetycznym i biochemicznym. Przede wszystkim, oba hormony są białkami, a więc ich wzmożona synteza wymaga aktywacji odpowiednich genów, czyli regulacji genetycznej. Po drugie, synteza białek związana jest ze zużyciem energii, a zatem rozkładem ATP do ADP. Konieczne staje się zatem zwiększenie szybkości produkcji ATP przez mitochondria. Odpowiada za to sprzężenie zwrotne ujemne opisane parę akapitów wcześniej. Widzimy zatem, że sprzężenia zwrotne ujemne na różnych poziomach hierarchii są wzajemnie ze sobą powiązane. Wzajemne relacje w sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych u żywych organizmów są niezmiernie bogate i skomplikowane. Powyżej przytoczyłem jedynie kilka prostych przykładów. Należy sobie jednak uzmysłwić, że każde z takich sprzężeń zależy bezpośrednio od dziesiątków i setek innych stężeń. Np. aktywne poszukiwanie pokarmu wymaga precyzyjnej koordynacji ruchów, a to z kolei - odpowiedniej regulacji napięcia poszczególnych mięśni, bardzo szybko zresztą zmieniającego się w czasie. Konieczne jest także bieżące korygowanie trajektorii, jaką porusza się zwierzę (np. drapieżne), na podstawie dopływających sygnałów z narządów zmysłów (np. widoku ofiary). W wielu wypadkach trudno jest nawet w prosty sposób zdefiniować, co właściwie stanowi parametr, którego "wartość" ma być optymalizowana. Parametr taki stanowi niejednokrotnie jakość o wiele bardziej złożoną, niż np. temperatura, a jego wartość zadana może zmieniać się w czasie jako odpowiedź na zmianę potrzeb określonych przez wartości innych parametrów. Wszystko to jednak w nieznacznym tylko sposób osłabia heurystyczną siłę drzemiącą w paradygmacie cybernetycznym. W niniejszym rozdziale staram się pokazać, jak bardzo zastosowanie tego paradygmatu pozwala na lepsze zrozumienie istoty organizmów żywych.

Podsumowując, istota funkcjonowania organizmów żywych polega na tym, że wszystkie sprzężenia zwrotne ujemne (mechanizmy optymalizujące wartość parametru) są w zasadzie powiązane, bezpośrednio lub pośrednio, ze wszystkimi innymi. Każde z nich jest bowiem istotne dla przetrwania całego organizmu, a więc stwarza niezbędne "środowisko" dla innych sprzężeń. Dla każdego z dwóch sprzężeń zwrotnych ujemnych da się wyśledzić "błędne koło", w którym jedno ze sprzężeń warunkuje istnienie drugiego i na odwrót. Rozpatrzmy przykład dwóch, omawianych wcześniej, sprzężeń: 1. obniżenie poziomu glukozy we krwi - pobudzenie ośrodka głodu w mózgu - poszukiwanie i pobranie pożywienia - powrót poziomu cukru we krwi do poprzedniej wartości; oraz: 2. zwiększenie zużycia ATP i spadek jego stężenia - wzrost stężenia ADP - stymulacja produkcji ATP przez mitochondria - wzrost stężenia ATP. Pierwsze sprzężenie zwrotne ujemne zapewnia dostateczną ilość glukozy, będącej między innymi substratem do produkcji energii (ATP). Drugie sprzężenie zwrotne ujemne zapewnia produkcję dostatecznej ilości ATP, aby umożliwić transport jonów sodu ( $\text{Na}^+$ ) i potasu ( $\text{K}^+$ ) w poprzek błony komórkowej wypustek komórek nerwowych (dendrytów i aksonów), a zatem przewodzenie impulsów nerwowych leżące u podstawy aktywnego pozyskiwania pokarmu. Oba sprzężenia zwrotne ujemne nie tylko nie mogą się obyć jedno bez drugiego (i bez całej masy innych sprzężeń), ale też nadają sobie wzajemnie sens (znowu - w połączeniu ze wszystkimi innymi sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi obecnymi w organizmie). Stwierdzenie to jest prawdziwe w odniesieniu do dowolnej rozpatrywanej pary sprzężeń. Owo współwarunkowanie się sprzężeń zwrotnych ujemnych, zrelatywizowanie swojego "znaczenia" (celowości) w stosunku do innych sprzężeń stanowi niezmiernie głęboką cechę organizmów żywych. Cechę tę odnajdziemy potem także (trzecia część niniejszej książki) w sieci pojęciowej, stanowiącej "substancję" naszej psychiki i świadomości. Będzie to jeden z przyczynków do tezy, że poziom psychiczny na podobnej zasadzie wyłonił się z poziomu biologicznego, jak poziom biologiczny - z poziomu fizycznego.

Generalnie rzecz biorąc, najbardziej ogólny schemat funkcjonowania organizmów żywych można przedstawić formalnie wyłącznie w postaci sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych, abstrahując od sposobu ich materialnej realizacji (od budulca poszczególnych elementów, fizycznego podłoża różnych procesów czy też szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych). Dodatkowo, ów system sprzężeń zwrotnych ujemnych, stanowiący podstawę (celowego) funkcjonowania organizmów żywych, uorganizowany jest na sposób hierarchiczny. Regulacja na niższym poziomie hierarchii służy z reguły jako element regulacji na wyższym poziomie (choć często bywa na odwrót, jak w dyskutowanym "błędym kole" regulacji poziomu glukozy i ATP). System sprzężeń zwrotnych ujemnych stanowi jedną, wewnętrznie powiązaną i współwarunkującą się całość. Powstaje jednakże pytanie, co właściwie stanowi nadrzędny cel tych wszystkich mechanizmów regulacyjnych, czemu służy cały posiadany przez osobniki żywe system sprzężeń zwrotnych ujemnych? Jak stwierdziłem wcześniej (temat ten będzie jeszcze omawiany), chodzi tu o przeżycie i pozostawienie potomstwa, czyli o utrzymanie i propagację w czasie własnej tożsamości, która w ujęciu cybernetycznym odpowiada właśnie takiemu, a nie innemu systemowi sprzężeń zwrotnych ujemnych. "Parametrem", którego "wartość" ulega optymalizacji przez całą sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych składającą się

na żywego osobnika jest więc tożsamość (zespół cech) tego osobnika, jej przetrwanie w czasie oraz rozprzestrzenianie. System sprzężeń zwrotnych ujemnych tworzących dany organizm ulega wobec tego samonakierowaniu na samego siebie, jego jedyny "cel" stanowi własne powielanie (namnażanie). Jednakże, jak pokazałem na przykładzie bakterii (dotyczy to dowolnych innych organizmów żywych), rozmnażanie się organizmów stanowi sztandarowy przykład sprzężenia zwrotnego dodatniego, w którym niezerowa wartość parametru (w tym wypadku - ilość osobników) ma tendencję do tym szybszego wzrostu, im większa jest ta wartość w danym momencie.

Nadszedł więc wreszcie moment, aby zdefiniować osobnika żywego w kategoriach cybernetycznych jako system sprzężeń zwrotnych ujemnych podrzędny w stosunku do (pozostający na usługach) nadrzędnego sprzężenia zwrotnego dodatniego. Uzupełniającym kryterium jest warunek, żeby wszystkie podjednostki i sprzężenia zwrotne ujemne wchodzące w skład rozważanego systemu miały "na celu" wyłącznie realizację naczelnego sprzężenia zwrotnego dodatniego<sup>22</sup>. Twierdzę, iż wszystkie osobniki żywe muszą podlegać powyższej definicji, a wszystkie systemy jej podlegające należy uznać za osobniki żywe (lub, jeśli kto woli, należące do klasy systemów "życiopodobnych"). Słowem, że zaproponowana definicja, odpowiadająca samej "nagiej" istocie życia (żywego osobnika), stanowi najmniejszy konieczny i zarazem dostateczny system pojęciowy, wystarczający do jednoznacznego określenia, czym jest życie. Może być zatem użyta do możliwie jednoznacznego określenia, które obiekty i procesy na innych planetach można uznać za ożywione, od którego momentu możemy mówić o życiu w procesie jego spontanicznej genezy na Ziemi około 4 miliardy lat temu, a także - co stanowi żywego osobnika pośród omawianych wyżej, problematycznych fenomenów znanych nam obecnie na naszej planecie.

Dla jasności dodam, że powyższa definicja odnosi się do żywego osobnika jako podmiotu ewolucji biologicznej, a nie do wszystkich układów, które nazywalibyśmy żywymi w ogóle. „Żywe” mogą być zarówno wystarczająco złożone „podzespoły” osobników żywych (takie jak komórki w organizmach wielokomórkowych) wyposażone w określony zespół sprzężeń zwrotnych ujemnych i obdarzone pewną autonomią, jak i układy złożone z wielu osobników jednego lub wielu gatunków (populacje, ekosystemy, cała biosfera). A więc systemy ożywione mogą występować na rozmaitych poziomach hierarchii złożoności. Z drugiej strony, traktuję poziom osobników żywych jako absolutnie wyróżniony i niezbędny dla zaistnienia życia; osobniki reprezentują pewną samowystarczalną, dbającą o swoje własne interesy całość będącą podstawową jednostką ewolucji biologicznej.

Rozmaite cele realizowane przez każdy z organizmów żywych można podzielić na cele podrzędne, wyrażone siecią regulacyjnych sprzężeń zwrotnych ujemnych, oraz cel nadrzędny, manifestujący się istnieniem sprzężenia zwrotnego dodatniego.

---

<sup>22</sup>Ten ostatni warunek zapobiega zaklasyfikowaniu jako "żywe" takich układów, jak kultury, państwa i firmy ekonomiczne, wyposażonych w sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych i dążących do ekspansji kosztem innych, podobnych sobie układów. Jednakże, wymienione układy składają się z jednostek ludzkich, z których każda realizuje także (o ile nie przede wszystkim) swoje własne, prywatne cele biologiczne, psychiczne i kulturowe, a nie jedynie cele układu, którego jest częścią. Poza tym, takie układy jak kultury, państwa i firmy ekonomiczne realizują swój potencjał raczej przez powiększanie swego własnego zasięgu, niż przez produkcję układów potomnych o (prawie) identycznej tożsamości. Nie możemy więc tu mówić o osobnikach, tak istotnych dla cybernetycznej definicji życia.



Skąd bierze się owo nadrzędne sprzężenie zwrotne dodatnie, widzieliśmy na przykładzie bakterii. Systemy żywe mają naturalną tendencję do reprodukcji i powielania swoich kopii, o ile pozwalają na to dostępne zasoby środowiskowe. Ciągi opisujące ilość osobników w kolejnych interwałach czasowych (przy braku ograniczonej pojemności środowiska), dotyczące dowolnych organizmów i strategii rozrodu, rosną wykładniczo i zmierzają do nieskończoności. Obliczono, że gdyby nie ograniczona ilość pokarmu oraz zatrucie środowiska własnymi produktami przemiany materii, w dość krótkim czasie potomstwo jednej bakterii byłoby ogromną kulą rozszerzającą się z szybkością światła. To samo dotyczy potomstwa pary leniwców (na omawiany efekt przyszłoby może poczekać nieco dłużej), choć praktyki seksualne tych zwierząt raczej się z szybkością światła nie kojarzą.

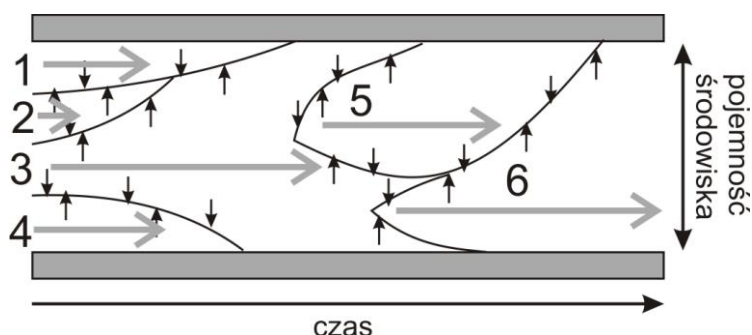
W rzeczywistości, jak zostało to podkreślone wcześniej, pojemność środowiska jest oczywiście zawsze ograniczona. Dotyczy to także innych przytoczonych przypadków sprzężenia zwrotnego dodatniego, np. "środowiska" kamiennej lawiny (zbocze usiane kamieniami) czy reakcji łańcuchowej (kula radioaktywnego izotopu uranu). W tych przypadkach reakcja lawinowa w końcu wygasa ze względu na wyczerpanie się zasobów środowiska (odpowiednio: niestabilnych kamieni na zboczu i jąder radioaktywnego izotopu uranu). Życie natomiast, nawet jeśli w danej chwili wyczerpie pojemność swego środowiska, dalej zachowuje potencjał do gwałtownej reakcji lawinowej, czego dowody napotykamy na każdym kroku. Ów potencjał ekspansji przejawia się nie tylko w przypadku opanowania przez jakieś organizmy nowego terenu, na którym nie napotykają one konkurencji ze strony innych organizmów, lub konkurencja taka jest słaba (np. lawinowy wzrost populacji sprowadzonych do Australii królików). Tego rodzaju spektakularne zajścia zdarzają się stosunkowo bardzo rzadko. "Na codzień", potencjał ekspansji danych organizmów (będących nośnikami określonej tożsamości) wyraża się silną presją na wyparcie z ograniczonej pojemności środowiska innych organizmów (o odmiennej tożsamości; mogą być to osobniki tego samego lub też bardzo odlegle spokrewnionych gatunków). Z reguły, w stabilnych ekosystemach, te inne organizmy wywierają taką samą, o podobnej sile, lecz przeciwnie skierowaną presję na wyparcie ze środowiska rozważanych przez nas organizmów. *De facto*, rywalizują pomiędzy sobą tożsamości poszczególnych osobników (określone jako zespoły cech lub systemy sprzężeń zwrotnych ujemnych), dążące do opanowania całej pojemności środowiska kosztem innych tożsamości. Drobne różnice w sile presji wywieranej przez poszczególne tożsamości prowadzą do stopniowego wypierania jednych tożsamości przez inne, a więc do ewolucji.

Należy wyraźnie jeszcze raz podkreślić, że tożsamość osobników żywych, będąca "parametrem", którego "optymalizacji" (utrzymaniu i propagacji) służy składający się na żywego osobnika system sprzężeń zwrotnych ujemnych, to coś o wiele bardziej złożonego, niż prosty, elementarny parametr, jakim jest na przykład temperatura. Zawiera ona w sobie nie tylko chwilowe cechy osobnika dorosłego, ale cały cykl życiowy danego organizmu od zygoty do stadium dorosłego, w tym także zdolność do produkcji potomstwa. U organizmów rozmnażających się płciowo tożsamość potomka stanowi "wypadkową" lub "kombinację" tożsamości (zespołów cech) swoich rodziców (rekombinacja cech). Nawet jednak u organizmów o bezpłciowym sposobie rozmnażania tożsamość

ulega zmianom w czasie na skutek mutacji. Nie tyle chodzi tu zatem, jak to dyskutowałem wcześniej, o zachowanie danej konkretnej tożsamości, lecz ciągłości zmian tej tożsamości w czasie. Parametr zwany tożsamością jest zatem niewątpliwie parametrem złożonym - odpowiednie jego zrozumienie ma decydujący wpływ na zrozumienie istoty życia.

W zasadzie każdą cechę osobnika, np. wzór jego ubarwienia, można uznać za element lub wynik sprzężenia zwrotnego ujemnego. W tym ostatnim przypadku, w rozmaitych miejscach na powierzchni jego ciała "zadane" są rozmaite stężenia rozmaitych barwników. To, czy zadany wzór ubarwienia jest "dobry", a więc czy np. dobrze maskuje przed drapieżnikiem, współdecyduje o skuteczności danego systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych, a więc tożsamości.

Jak wspomniałem, tożsamości rywalizują ze sobą o pojemność środowiska i lepsze tożsamości wypierają gorsze. Ilustruje to rycina 2.11, swoją konwencją przypominająca ryciny przedstawiające wcześniej ideę doboru naturalnego. Startujemy tutaj od czterech tożsamości (1, 2, 3, 4), które konkurują ze sobą, "rozpychając" się tak mocno, jak tylko mogą w dostępnej im przestrzeni życiowej. Ponieważ tożsamość 3 jest najsilniejsza (najlepiej przystosowana), a zatem posiada największy potencjał ekspansji, stopniowo wypycha ona pozostałe tożsamości, zajmując ich miejsce. Najszybciej znika najsłabsza tożsamość 2, a potem kolejno 4 i 1. Cała przestrzeń życiowa (pojemność środowiska) zostaje opanowana przez tożsamość 3. Wkrótce jednak następuje pewna niewielka modyfikacja (mutacja) tożsamości 3, w wyniku której powstaje tożsamość 5, nieco lepsza od swojej poprzedniczki. Zanim jednak tożsamość 5 zdąży całkowicie wyprzeć tożsamość 3, pojawia się (znowu wyniku mutacji tożsamości 3) jeszcze lepsza tożsamość 6, która wypiera zarówno tożsamość 3, jak i tożsamość 5, chwilowo wypełniając całą pojemność środowiska. Ponieważ opisany wyżej proces nie ma końca, możemy mówić o chwilowym tylko zwycięstwie jakiejś tożsamości, dopóki nie pojawi się tożsamość jeszcze od niej lepsza, czyli o większym potencjale ekspansji (silniejszym sprzężeniu zwrotnym dodatnim), podtrzymywanym przez bardziej efektywny system sprzężeń zwrotnych ujemnych.



Ryc. 2. 11. Rywalizacja sześciu tożsamości (zespołów cech osobniczych) o dostępną pojemność środowiska. Początkowo tożsamość 3 wygrywa z tożsamościami 1, 2 i 4, ale z kolei ulega wyparciu przez będące jej bardziej udanymi "mutantami" tożsamości 5 i 6. Duże szare strzałki oznaczają "pęd" poszczególnych tożsamości do przetrwania w czasie, natomiast małe czarne strzałki oznaczają "nacisk" wywierany przez daną tożsamość na inne tożsamości w celu wyparcia ich z dostępnej pojemności środowiska.

W przeciwieństwie do organizmów żywych, martwe systemy "wyposażone" w sprzężenie zwrotne dodatnie, takie jak kamienna lawina czy grudka radioaktywnego izotopu, nie posiadają żadnych sprzężeń zwrotnych ujemnych, podtrzymujących ich potencjał ekspansji. Po stoczeniu się wszystkich kamieni po zboczu kamienna lawina definitywnie zamiera, a po rozbiciu wszystkich jąder radioaktywnego pierwiastka nie produkowane są żadne dalsze neutrony. Ani zatem kamienie w ruchu, ani neutrony nie dysponują żadnymi mechanizmami zorientowanymi w sposób celowy na zapewnienie im przetrwania i produkcji "układów" potomnych (kamieni w ruchu lub wolnych neutronów). O ile zatem zarówno organizmy żywe jak i niektóre obiekty fizyczne (takie jak kamienie na zboczu lub neutrony w grudce radioaktywnego izotopu uranu) mają pewien "cel nadrzędny" w postaci (przynajmniej potencjalnej zdolności do) ekspansji, to tylko te pierwsze posiadają "cel podrzędny" w postaci sieci mechanizmów regulacyjnych opartych na sprzężeniu zwrotnym ujemnym, odpowiedzialnych za utrzymanie indywidualności (tożsamości) organizmów żywych i ich potencjału ekspansji.

W taki "cel podrzędny" (system sprzężeń zwrotnych ujemnych) wyposażonych jest wiele urządzeń skonstruowanych przez człowieka (jak roboty lub chociażby omawiany wyżej termostat). Nie posiadają one jednak (w kategoriach cybernetycznych) żadnego "celu nadrzędnego", a jeżeli już, to jest nim cel posługujących się nimi ludzi. Urządzenia nie dbają bowiem wyłącznie o siebie, swoje własne przetrwanie i wyprodukowanie identycznych urządzeń potomnych. Nie stanowią zatem całkowicie autonomicznych, nakierowanych wyłącznie na siebie układów (osobników), lecz są elementami jakiegoś nadrzędnego układu, którego cele (określone przez człowieka) realizują. Gdybyśmy chcieli potraktować organizm żywy jak jakieś urządzenie, powinniśmy zapytać czemu, jakiemu celowi, służy ten organizm poza sobą, do wykonania jakiego użytecznego zadania został zaplanowany. Jednakże, takiego celu czy zadania nie da się po prostu odnaleźć. Z punktu widzenia człowieka dochodzimy do paradoksalnego wniosku, że osobniki żywe nie służą niczemu, poza samymi sobą. Termostat regulujący temperaturę w lodówce, żeby człowiekowi nie zepsuło się pożywienie - to zrozumiałe. Ale termostat, który powstał samoistnie i reguluje temperaturę ot tak sobie - czy to nie dziwne? Oczywiście to, co podtrzymują samopowielające się układy żywe to ich własne istnienie (a dokładniej – istnienie i propagację swojej własnej tożsamości). Przypomina to termostat zbudowany z kawałków lodu, który tylko dlatego utrzymuje niską temperaturę, aby się nie stopić i ewentualnie wyprodukować jeszcze termostaty do siebie podobne<sup>23</sup>. Zakrawa to już na czysty bezsens. A jednak na tym właśnie polega istota życia i ewolucji - zjawiska te, tak jak kamienie spadające w polu grawitacyjnym, niczemu nie służą i nie posiadają żadnego celu, po prostu są.

---

<sup>23</sup>Przykład ten jest celowo groteskowy. Można sobie jednakże wyobrazić "sztuczne życie" stworzone przez człowieka lub inne istoty rozumne. Byłoby to coś w rodzaju robotów produkujących roboty do siebie podobne z substancji (oraz energii) pobieranych z otoczenia. Musiałyby tym robotom potomnym przekazywać plan instruujący jak zbudować następnego podobnego robota. Zapis tego planu mógłby ulegać drobnym przypadkowym zmianom (mutacjom) na skutek niedoskonałości fizycznego nośnika tego zapisu. Takie "osobniki" mogłyby pomiędzy sobą rywalizować o dostępne zasoby środowiska i ewoluować. To, co Stanisław Lem nazwał "martwą ewolucją" w swoim opowiadaniu "Niezwyciężony", stanowi w zasadzie ewolucję sztucznego życia.

Dlatego, aby naprawdę zrozumieć sens ewolucji biologicznej, musimy zrezygnować z naszego antropocentrycznego punktu widzenia i sposobu wartościowania.

Jako dodatkowy aspekt systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych, poza podtrzymywaniem własnego potencjału ekspansji, należy wymienić fakt, iż system taki staje się jednostką, osobnikiem. Termin ten omawiałem już dosyć obszernie w poprzednim podrozdziale, jako współdefiniujący zjawisko życia razem z rozmnażaniem i ewolucją. W użytej tutaj terminologii cybernetycznej bycie osobnikiem oznacza posiadanie pewnego autonomicznego celu, wyrażającego się właśnie opisaną wyżej kombinacją sprzężeń zwrotnych dodatnich i ujemnych (system sprzężeń zwrotnych ujemnych podporządkowanych sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu - potencjałowi ekspansji). Cel ten zakłada plan minimum: przeżyć, oraz plan maksimum: rozprzestrzenić swój własny system sprzężeń zwrotnych ujemnych (czyli swoje cechy, swoją tożsamość osobniczą) w jak największej ilości jak najbardziej podobnych do oryginału kopii. Cel ten, jak wspomniałem przed chwilą, uznać należy za zgoła całkiem bezrozumny i, w istocie, z antropomorficznego punktu widzenia, wydaje się on być zupełnie bezsensowny. Jakiż może bowiem być sens w niepoahamowanym powielaniu się i rozprzestrzenianiu się "bez celu"? Osobnik biologiczny ma jednakże dwie alternatywy "do wyboru" ("wybór" polega tu po prostu na zajściu przypadkowych mutacji, zmieniających system dyrektyw zapisanych w genomie): albo cel ten "akceptuje" i wywiera tak silne ciśnienie ekspansji, na jakie go tylko stać (nie po to nawet, żeby "zdobywać teren", ale przede wszystkim, aby nie oddać go innym, którzy także prą do przodu wszystkimi siłami - proszę porównać model Czerwonej Królowej<sup>24</sup>), albo po prostu od razu wypada z gry. Jego cechy nie przechodzą na potomstwo i znikają, a całą pojemność środowiska wypełniają osobniki, które po swoich rodzicach odziedziczyły jak najwyższy potencjał ekspansji. Nie ma tu miejsca na "czas do namysłu", na "refleksje" nad sensownością takiego przedsięwzięcia (mówię to, co jest chyba oczywiste, w przenośni). Takie bezrefleksyjne realizowanie celu, planu narzuconego po prostu przez system mechanizmów cybernetycznych z antropocentrycznego punktu widzenia wydaje się w najlepszym razie całkowicie jałowe, w najgorszym zaś - zdecydowanie odpychające.

Osobnik, w użytych tutaj znaczeniu tego terminu, jest w zasadzie tożsamy z podmiotem ewolucji. Aby uniknąć pomieszania pojęciowego pomiędzy tradycyjnym (w swej istocie głównie strukturalnym) rozumieniem osobnika z jednej strony, a ewolucyjno - cybernetyczną definicją osobnika proponowanej w tej pracy - z drugiej, na określenie tego ostatniego wprowadzę termin "ewoluon", którego będę używał zamiennie z terminem "osobnik cybernetyczny", a w opozycji do terminu "osobnik strukturalny". O tym, że osobnik cybernetyczny (ewoluon) nie zawsze jest identyczny z osobnikiem strukturalnym, przekonamy się za chwilę. Na użytek niniejszych rozważań,

---

<sup>24</sup>Model ten, zrodzony w obrębie genetyki populacyjnej, opisuje sytuację, w której dopiero tak szybkie ewoluowanie, jak się da, zapewnia "stanie w miejscu", to znaczy nie przegranie rywalizacji z także ewoluującą możliwie szybko konkurencją, czyli nie zostanie wypchniętym z dostępnej pojemności środowiska. Nazwa wzięła się z książki Lewisa Carolla "Co Alicja zobaczyła po drugiej stronie lustra" (druga część "Alicji w krainie czarów"), gdzie Czerwona Królowa dopiero biegnąc z największą szybkością była w stanie pozostać w miejscu.

aby unaocznic na przykladzie podana przed chwila, abstrakcyjna definicja osobnika cybernetycznego, krótko omowie jeden przypadek.

Jak wynika z powiedzianego powyzej, ewolucja jest samopowielajacym sie systemem, ktorego jedyny cel stanowi wlasnie samopowielanie sie, nie za to tylko czescia takiego systemu. Cecha ta nie zawsze musi sie odnosic do rozumianego potocznie osobnika strukturalnego. Najlepiej wida to na przykladzie kolonii mrówek, zlozonej z rozmnazajacej sie królowej oraz opiekujacych sie i broniacych ja oraz jej potomstwo kast bezplciowych (sterylnych) - robotnic oraz zolnierzy. Wedle tradycyjnego (w glownej mierze strukturalnego) paradygmatu osobnika robotnica mrówki oczywiscie jest osobnikiem (chozaby przez analogie do zdolnych do rozrodu osobnikow owadów niespolecznych - posiada glowe, nogi, odwlok i cala reszte, za wyjatkiem czynnego ukkladu rozrodczego). Jednakze, z punktu widzenia cybernetycznego, robotnica mrówki nie jest osobnikiem, poniewaz sluzi nadrzednemu celowi jakiejś wiekszej calosci, w tym przypadku calego mrowiska, nie bedac w realizacji tego celu samowystarczalna (robotnica "polaczona" jest z innymi czlonkami kolonii siecia behawioralnych sprzecen zwrotnych ujemnych). Natomiast wlasnie cala mrowiska jest osobnikiem cybernetycznym (ewolucja). Posiada ono bogata siec sprzecen zwrotnych ujemnych, regulujacych (m.in. za pomoca feromonów) wartosc rozmaitych parametrów, np. liczebnosc poszczegolnych kast (w tym plciowych). Za ewolucja nie mozna uznac takze samej królowej, poniewaz stanowi ona jedynie czesc systemu sprzecen zwrotnych ujemnych umozliwiajacego cala kolonie rozmnazanie sie (produkcje kolonii potomnych) - królowa nie realizuje samodzielnie swego wlasnego potencjalu ekspansji. Podobnie, np. u konia, osobnikiem cybernetycznym jest caly organizm, a nie jedynie, wykazujace przeciez spora autonomie strukturalno - funkcjonalna, jego komorki somatyczne (odpowiadajace robotnicom) lub plciowe (odpowiadajace królowej). (Zauwazmy, ze kon pochodzi od organizmów jednokomorkowych i z punktu widzenia formalnego jest scisle zintegrowana kolonia poszczegolnych komorek). U organizmów jednokomorkowych ewolucja stanowi cala komorka, nie za to jedynie jej aparat genetyczny czy poszczegolne geny ("samolubne DNA"). Osobnikiem cybernetycznym jest bowiem dopiero caly system sprzecen zwrotnych ujemnych podtrzymujacy swój wlasny potencjal ekspansji. Podsumowujac, bezplodnej robotnicy mrówki nie mozna w zadnej mierze uznac za osobnika cybernetycznego (ewolucja), poniewaz realizuje ona biologiczno-ewolucyjne cele cala kolonii, nie za to swoje wlasne.

Zdaje sobie sprawe, ze powyzsza definicja osobnika cybernetycznego (ewolucja) moze wydawac sie sprzeczna z intuicyjnym, powszechnym rozumieniem terminu "osobnik". W rozumieniu tym kryterium "osobniczosci" jest przede wszystkim kryterium strukturalno-funkcjonalnym, mowiacym o przestrzenno-czynnosciowym wyodrebnieniu jakiegoś ukkladu. Zachodzi jednak pytanie, czy taki paradygmat nam wystarcza i czy jest on plodny heurystycznie. Zarówno mozg i watroba w naszym ciele, jak i cala biosfera stanowia przyklady systemów wyraźnie wyodrebnionych pod wzgledem strukturalnym i funkcjonalnym. To samo mozna powiedziec o omawianych przed chwila komorkach. A jednak, z pewnoscia nie sa one osobnikami. Nie realizuja one bowiem samodzielnie zadnych "wlasnych" celów. Organy w ciele podporzadkowane sa interesom cala organizmu, za to zadnych "celów" biosfery nie da sie sformulowac w ramach cybernetycznej (a wiec niesubiektywnej)

terminologii. Z tych samych przyczyn ewoluonem nie jest robot, komputer lub termostat. Nie realizują one bowiem żadnych swoich, autonomicznych celów nadrzędnych, a jedynie cele narzucone im przez człowieka.

O tym, że intuicyjne pojęcie osobnika jest ufundowane przez ludzkie kategorie widzenia świata, ukierunkowane na struktury przestrzenne, świadczy casus organizmów wielokomórkowych, wspomniany przed chwilą na przykładzie konia. Teraz chciałbym ten temat nieco bardziej rozwinąć. Ciało konia składa się z miliardów komórek, spełniających rozmaite funkcje, zintegrowanych wzajemnymi interakcjami w jedną całość. Skądinąd jednak wiadomo, że odlegli przodkowie ssaków (i w ogóle wszystkich organizmów tkankowych) byli pojedynczymi komórkami, z których każda stanowiła niezależny ewoluon. Później, na skutek niecałkowitego rozdzielenia w procesie podziału, komórki zaczęły tworzyć wielokomórkowe agregaty, z biegiem czasu ulegając zróżnicowaniu na komórki rozrodcze oraz komórki spełniające odmienne funkcje. Takim wielokomórkowym agregatem jest do dzisiaj koń. Nikt jednak nie nazywa osobnikami wchodzących w jego skład komórek - osobnikiem jest cały organizm konia, albowiem to on realizuje swój własny potencjał ekspansji. A przecież, tak jak koń stanowi agregat wielu komórek, tak kolonia owadów społecznych jest niezależnym zespołem poszczególnych owadów, realizującym swój własny nadrzędny cel, nie zaś partykularne cele swoich członków. Poszczególne owady w kolonii łączy bogata sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, obejmująca wymianę pokarmu, regulację liczebności poszczególnych kast, utrzymywanie stałej temperatury i wilgotności w gnieździe i wiele innych. Konsekwentny obrońca obiegowego (kładącego nacisk na aspekt strukturalny) pojęcia osobnika mógłby zwrócić uwagę na ogromną różnicę (na korzyść konia) w stopniu organizacji układu oraz integracji jego poszczególnych elementów pomiędzy koniem a kolonią owadów społecznych. Ale jest to także argument chybiony. Prymitywny organizm wielokomórkowy, jakim jest na przykład toczek (*Volvox*), pomimo że jego komórki wykazują już zróżnicowanie na płciowe i somatyczne (podobnie jak owady w kolonii), to jednak ilość tych komórek oraz stopień ich integracji funkcjonalnej z pewnością nie dorównuje bogactwu i złożoności największych kolonii mrówek i termitów. Nikt jednakże nie twierdzi, że to nie cały toczek, ale jego części składowe (komórki) są osobnikami, chociaż pod względem formalnym oba rodzaje systemów (toczek i kolonia owadów) wydają się być bardzo podobne.

Dlaczego zatem uważa się za osobnika toczka, odmawiając równocześnie statusu indywiduum kolonii owadów? Przyczyna jest całkiem trywialna. Organizm toczka to zespół komórek zintegrowanych w dużej mierze głównie strukturalnie, podczas gdy w sposobie wzajemnych interrelacji owadów w kolonii przeważa komponenta funkcjonalna. Cechą integracji przez ludzki mózg bodźców ze świata zewnętrznego (przede wszystkim wzrokowych) jest to, że daleko łatwiej "dostrzega" on związki strukturalne, kładąc mniejszy nacisk na powiązania czynnościowe. Dlatego intuicyjnie znacznie prędeż uznamy za osobnika robota, niż kolonię owadów. Ale aspekt strukturalny, tak istotny dla naszego oglądu świata, dla ewolucji biologicznej wydaje się być w dużej mierze akcydentalny. Jak zobaczymy poniżej, osobnikami cybernetycznymi (ewoluonami) mogą być układy tak rozmaicie uorganizowane przestrzennie, jak nić DNA, pojedyncza komórka, słoń czy właśnie kolonia owadów. Wynika to stąd, że głównym kryterium osobnika jest dla ewolucji aspekt

funkcjonalny, i to właśnie w ujęciu cybernetycznym. Zgodnie z tym ujęciem, osobnik to system sprzężeń zwrotnych ujemnych realizujący swój własny cel nadrzędny - ekspansję swej tożsamości, bez względu na to, jak te sprzężenia przejawiają się w aspekcie materialno-przestrzennym. Z powyższych przyczyn uważam potoczne (strukturalne) pojęcie osobnika za mylące oraz mało płodne heurystycznie, proponując na jego miejsce wprowadzić paradygmat ewolucyjno-cybernetyczny, identyfikujący osobnika (cybernetycznego) z tym, co nazwałem ewoluonem.

W poprzednim rozdziale opisałem kilka przypadków, z którymi tradycyjny, strukturalny paradygmat osobnika nie mógł sobie poradzić. Nie dostarczał on bowiem rozstrzygającego kryterium do jednoznacznego stwierdzenia co (i w jakiej mierze) jest, a co nie jest osobnikiem. Co gorsze, nie oferował on nawet żadnej "obiektywnej" miary lub punktu odniesienia, który pozwalałby uporządkować dyskusję na powyższy temat. W tym rozdziale chciałbym pokazać, co ma w tej mierze do zaproponowania podejście cybernetyczne. Jego zastosowanie do owadów społecznych już omówiłem, pozostałe przypadki przedyskutuję nieco dalej, teraz zaś zajmę się śluzowcami oraz kolonijnymi jamochłonami.

Przypomnę, że u śluzowców za osobnika można potencjalnie uznać już to poszczególne pełzaki, już to plazmodium utworzone przez nie w przypadku braku pożywienia i mające na celu produkcję zarodników. W tym wypadku wybór systemu identyfikowanego z osobnikiem cybernetycznym zależy, choć na pierwszy rzut oka może się to wydać dziwne, od genetycznej identyczności pełzaków w danej populacji. Jeżeli taka identyczność ma miejsce, za osobnika należy uznać plazmodium, a wcześniej - populację pełzaków na danym obszarze, którą można traktować jako "osobnika w rozsypce" (o uznaniu za osobnika cybernetycznego właśnie grupy pełzaków decyduje to, że w momencie tworzenia zarodni zachodzą pomiędzy nimi rozmaite reakcje, tak że całość stanowi jeden system sprzężeń zwrotnych ujemnych). Jest prawdopodobne, iż cała lokalna populacja pochodzi od jednego zarodnika i wtedy sprawa wydaje się jasna.

Co jednak, jeżeli jest inaczej i plazmodium utworzone zostaje przez kilka odmiennych genetycznie grup pełzaków?. Wtedy plazmodium może być traktowane jako pewien rodzaj wewnątrzgatunkowej symbiozy rozrodczej (pamiętajmy, iż celem plazmodium jest wytworzenie zarodni i rozsianie zarodników) pomiędzy kilkoma osobnikami cybernetycznymi (identycznymi genetycznie grupami pełzaków). W tym przypadku pojawia się ciekawa możliwość pasożytnictwa rozrodczego. Jak wspomniałem poprzednio, tylko część pełzaków przekazuje swój materiał genetyczny do zarodników, podczas gdy reszta buduje nóżkę i ścianki zarodni. Symbioza miałaby o tyle sens, jeżeli każdy z osobników (identycznych genetycznie grup pełzaków) partycypowałby w porównywalnym stopniu już to produkcji zarodników, już to w budowie zarodni. Jeżeli jednak jakaś grupa pełzaków stanowiąca jednego osobnika potrafiłaby w ten sposób "przechytrzyć" inne, aby to właśnie ona w głównej mierze brała udział w produkcji zarodników, podczas gdy tamte zostałyby zepchnięte do funkcji somatycznych (wytworzenie zarodni), to taka strategia mogłaby jej zapewnić

sukces ewolucyjny<sup>25</sup>. Skutkiem byłoby powstanie pasożytniczej populacji (gatunku) wykorzystującego inną populację (gatunek) do realizowania swoich własnych funkcji rozrodczych. Podobny mechanizm spotykamy w przypadku pasożytnictwa społecznego u mrówek, gdzie gatunek pasożytniczy (blisko spokrewniony ze swym żywicielem) pozbawiony jest kasty robotnic i wykorzystuje kolonię swego gospodarza do produkcji własnego potomstwa, częściowo lub całkowicie eliminując formy płciowe (królowe) gospodarza z tej kolonii. Sądzę, iż możliwość pasożytnictwa płciowego u śluzowców wyznacza nowy i ciekawy kierunek przyszłych badań. Kluczową sprawą wydaje się tu być zróżnicowanie genetyczne pelzaków w plazmodium.

Problem identyczności genetycznej występuje także u kolonijnych jamochłonów. Kolonia jamochłonów, powstająca na drodze pączkowania jednych polipów z drugich, niewiele różni się z zasadzie od klonu rozmnażających się przez podział bakterii, czy też populacji jakiejś rozmnażającej się partenogenetycznie rośliny na łące<sup>26</sup>. Nie można oczywiście twierdzić, że "łąka jest osobnikiem", bo poszczególne rośliny nie wykazują żadnego współdziałania (brak pomiędzy nimi sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych) w ekspansji wspólnej im wszystkim tożsamości genetycznej. U jamochłonów kolonijnych sprawa nie jest już tak prosta, bo jednak pewne współdziałanie występuje. Pewne aspekty "osobniczości" zostały tu więc scedowane na całą kolonię. Za tym jednak, aby za osobnika uznać, przynajmniej częściowo, pojedynczy element kolonii, czyli polipa z otworem gębowym i wieńcem czułków, przemawia fakt, iż posiada on gonady. Jest wobec tego genetycznie niezależny i ewolucyjnie pracuje "na swój własny rachunek". Daje to o sobie znać szczególnie wtedy, kiedy poszczególne polipy w kolonii różnią się pomiędzy sobą genetycznie na skutek mutacji somatycznej, a więc stanowią już dla siebie pewną konkurencję pod względem ewolucyjnym. To samo dotyczy roślin na łące. Nawet jeżeli wszystkie są jeszcze identyczne pod względem genetycznym, to nic już ich pod względem funkcjonalnym nie łączy i od momentu pierwszej mutacji każda z nich pójdzie swoją własną (ewolucyjną) drogą.

W kolonii jamochłonów pewne aspekty osobnika wydają się przysługiwać już to poszczególnym polipom, już to całej kolonii. Kluczowe znaczenie ma tu sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, która, choć znacznie "gęstsza" w obrębie każdego z polipów, jest "rozciągnięta" także pomiędzy polipami. Natomiast identyczne genetycznie okazy jakiegoś gatunku, nie powiązane ze sobą żadnymi sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi, należy uznać za odrębne osobniki, ponieważ każdy z nich ma, na skutek nieuchronnych mutacji, możliwość pójścia swoją własną drogą ewolucyjną i jeśli nie wyginie bezpotomnie, to z pewnością nią pójdzie.

W powyższym przypadku, paradygmat cybernetyczny nie stanowi narzędzia konceptualnego pozwalającego na ostre rozgraniczenie na osobniki i nie-osobniki, bo takie rozróżnienie jest akurat tutaj niemożliwe. Jednakże w większości innych przypadków (już omawianych lub tych, które omówię poniżej) takie rozgraniczenie wydaje się osiągalne. Tam, gdzie nie da się go przeprowadzić, koncepcja ewolucji dostarcza wygodnej miary "stopnia osobniczości". Ogólnie rzecz biorąc, główną

<sup>25</sup>Zależy to jednak od wielu czynników, na przykład od tego, jak łatwo takiemu pasożytowi byłoby natrafić na swego "gospodarza".

<sup>26</sup>Na problem identyczności genetycznej zwrócił moją uwagę Andrzej Joachimiak.



rolą podejścia cybernetycznego wydaje się być stworzenie pewnego ogólnego punktu odniesienia, pozwalającego w sposób sensowny, uniwersalny i w miarę "obiektywny" orzekać o zjawisku życia, żywym osobniku i ewolucji. Paradygmat ten oferuje pewne kryterium, które, przyłożone do rozmaitych fenomenów, pozwala na ich porządkowanie i klasyfikację, a przynajmniej na ich zrelatywizowanie, odniesienie w sposób płodny do innych fenomenów. W końcu, co może najważniejsze, pomaga on w wyrobieniu sobie intuicyjnego poglądu na istotę życia.

Na chwilę powrócę jeszcze do kwestii podmiotu ewolucji, czyli podstawowej ewoluującej jednostki. Ten status przypisywano pojedynczym genom, całym genomom, układom samopowielającym się lub ich grupom. Nie będę tutaj opisywał argumentów stojących za każdym z tych poglądów. Wspomniałem wcześniej, że w prezentowanej tu koncepcji podmiotem ewolucji niejako automatycznie staje się układ sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujących nadrzędne sprzężenie zwrotne dodatnie, czyli po prostu ewoluon. Ujmując rzecz ściślej, należałoby mówić o ewolucji nie tyle samych osobników, co ich tożsamości (zespołu cech). Tożsamość bowiem, jak dyskutowałem powyżej, bardziej kojarzy się z czymś podzielnym i stopniowanym, mogącym ulegać ciągłym zmianom. Nie stwarza ona przez to większych kłopotów semantycznych w przypadku np. rozmnażania płciowego, w którym potomstwu przekazywana jest przecież nie część samego osobnika rodzicielskiego, lecz właśnie część jego tożsamości. To małe przesunięcie akcentów znaczeniowych nic nie zmienia w konstrukcji logicznej paradygmatu cybernetycznego, wydaje się natomiast lepiej pasować do naszej potocznej tradycji pojęciowej.

O tym, że to właśnie tożsamość (a więc w istocie rzeczy pewna informacja), a nie jej poszczególny "nosiciel" w postaci osobnika, stanowi podmiot ewolucji, świadczy najlepiej przypadek "samobójczych plazmidów"<sup>27</sup>. Plazmidy takie zawierają dwa geny: jeden warunkuje odporność na określony rodzaj toksyny (kolchicynę), drugi jest odpowiedzialny za produkcję tej toksyny. Białko kodowane przez pierwszy gen jest kodowane non stop, natomiast produkcja kolchicyny zostaje uruchomiona w momencie, kiedy zagęszczenie bakterii przekracza pewien poziom. To ostatnie prowadzi do śmierci komórki bakteryjnej wytwarzającej toksynę (w skutek ogromnego stężenia toksyny w komórce wytwarzającej ją bakterii, nie pomaga nawet gen oporności na toksynę), a więc także posiadanych przez tę komórkę plazmidów, jak również wszystkich innych bakterii nie zawierających omawianych plazmidów. Ułatwia to znacznie przeżycie pozostałym bakteriom posiadającym te plazmidy. Dana kopia plazmidu popełniając "samobójstwo" promuje zatem inne kopie o tej samej tożsamości. Jest to przykład "altruizmu" genetycznego nieco podobnego do tego, jaki ma miejsce w przypadku bezpłciowych kast owadów społecznych.

Powróćmy jednak do analizy poszczególnych fenomenów przez pryzmat cybernetycznego paradygmatu charakteryzacji życia i osobnika. Jak wspomniałem, cybernetycznych cech osobnika żywego nie wykazują ani kamienie z kamiennej lawiny, ani np. roboty. Pierwsze potrafią co prawda przekazać otoczeniu (innym kamieniom) swoje cechy "osobnicze", to znaczy w tym przypadku przede wszystkim ruch, nie posiadają one jednak "celowych" mechanizmów do podtrzymania potencjału

---

<sup>27</sup>Przykład ten zaczerpnąłem z książki "Problemy Biologii" Johna Maynarda Smitha.

ekspansji, a zarazem, co się z tym ściśle wiąże, nie przysługuje im dobrze określona przypadłość bycia indywiduum (nie posiadają tożsamości i związanej z nią sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych). Złożony robot, z drugiej strony, dysponuje bogatym zespołem sprzężeń zwrotnych ujemnych. Urządzenie to nie ma jednak żadnej możliwości do wykorzystania tego zespołu na wytworzenie i podtrzymanie własnego potencjału ekspansji. Przeciwnie - wszystkie jego cele nadrzędne wyznacza człowiek. Dlatego, jeżeli miałbym zdecydować, który z powyższych przykładów bardziej kojarzy mi się z istotą życia to (przeciwnie, zapewne, niż większość ludzi) wskazałbym na kamienną lawinę - ona posiada przynajmniej swój własny nadrzędny "cel" (który można utożsamić z ruchem), jakkolwiek w szczątkowej postaci, i jest w "realizacji" tego celu samowystarczalna.

Przypadek kamiennej lawiny przypomniałem nie bez kozery. Co ciekawe bowiem, znamy już przykład "quasi-życia", które pod względem formalnym (cybernetycznym) jest właściwie identyczne z kamienną lawiną. Są to wspomniane wcześniej priony, czyli infekcyjne cząsteczki białka, powodujące pewne choroby mózgu u zwierząt i ludzi. Jak powiedziałem powyżej, cząsteczki te mogą występować w dwóch formach: "normalnej" i "infekcyjnej", różniących się między sobą konformacją, czyli ułożeniem łańcucha białkowego w przestrzeni (metamorfoza Dr Jeekyll'a w Mr Hyde'a polega tutaj na prozaicznym przejściu  $\alpha$ -helisy w podobną do harmonijki strukturę  $\beta$ ). Cząsteczki "infekcyjne" stymulują (najprawdopodobniej poprzez zwykły kontakt) przemianę molekuł normalnych w kolejne molekuly "infekcyjne", które mogą następnie przekształcać dalsze cząsteczki, co w końcu prowadzi do nagromadzenia formy infekcyjnej oraz śmierci organizmu (nie wiadomo dokładnie, jak - albo szkodliwa jest forma "infekcyjna", albo brak formy "normalnej"). Ten ciąg zdarzeń może być zapoczątkowany przez dostarczenie przynajmniej jednej cząsteczki w formie "infekcyjnej" z zewnątrz lub poprzez spontaniczną przemianę cząsteczki "normalnej" w infekcyjną. Priony nie mają żadnego zespołu sprzężeń zwrotnych ujemnych dla podtrzymania potencjału ekspansji. Zjawisko transformacji formy normalnej w infekcyjną to prosty proces fizykochemiczny - nie występuje w nim najprostsza chociażby "sieć" wzajemnych relacji odrębnych elementów. Analogia z kamienną lawiną jest więc ścisła - tam także kamień poruszony przez kogoś lub spontanicznie oderwany od skały na skutek erozji przekształca inne kamienie z formy "nieruchomej" w formę "ruchomą" i następuje reakcja łańcuchowa. Infekcyjna cząsteczka prionu, tak jak poruszony kamień, nie ma do dyspozycji układu celowych mechanizmów nakierowanych na rozmnażanie się w swoim środowisku (które stanowią, odpowiednio, normalne cząsteczki prionu i nieporuszone jeszcze kamienie). O tym, czy następną cząsteczka prionu (kamień) ulegnie transformacji (poruszeniu) decydują elementarne zjawiska fizyczne, lub, jeżeli ktoś woli, przypadek, w żadnym zaś razie namiastka choćby celowego działania. Priony nie są więc "żywe".

Do odmiennych wniosków dojdziemy jednak przykładając paradygmat cybernetyczny do wiroidów, czyli nagich cząsteczek RNA pasożytujących na roślinach. Potrafią one dostać się do komórek swego gospodarza i tam indukować intensywną produkcję własnych kopii, co zaburza funkcjonowanie komórki (ogółąca ją z energii i substancji budulcowych), prowadząc do jej śmierci. Wiroidy nie mają, co prawda, podobnie jak wirusy, "własnego" metabolizmu. Można by się więc spierać, czy są w posiadaniu "własnego" systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych. Byłaby to jednak

dyskusja czysto akademicka. Dla nas ważne jest, że wiroidy potrafią "wejść" w system sprzężeń zwrotnych ujemnych komórki gospodarza i przestawić go na inne tory, zmieniając parametr, którego wartość jest optymalizowana. Ten optymalizowany parametr to po prostu (możliwie duża) liczba kopii danego wiroida, natomiast zaniedbana zostaje regulacja takich parametrów, jak stężenie ATP, substancji odżywczych itp. co w końcu prowadzi do śmierci komórki i uwolnienia wiroidów (nagich, kolistych cząsteczek RNA), które mogą następnie infekować następne komórki. Cała struktura wiroida, wynikająca z sekwencji nukleotydów w nici RNA, jest przystosowana do wnikania do komórek gospodarza i przestawiania ich metabolizmu na namnażanie cząsteczek wiroida preferencyjne w stosunku do syntezy własnych kwasów nukleinowych komórek i w ogóle w stosunku do wszelkich innych procesów. Tożsamość (sekwencja nukleotydów) wiroida może ewoluować, zwiększając jego skuteczność infekcyjną oraz umożliwiając mu zainfekowanie innych gatunków roślin.

Wszystkie "czynności życiowe" wiroida wykonywane są przez enzymy gospodarza, kosztem jego energii i substancji budulcowych. Owo "scedowanie" na żywiciela części sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych potrzebnych pasożytowi do przeżycia jest typowe dla układu pasożyt - żywiciel. W zasadzie, stanowi ono właśnie o istocie pasożytnictwa. U wiroidów scedowanie to przybrało jednak formę skrajną - właściwie wszystkie mechanizmy regulacyjne zostały "przerzucone" na gospodarza, podczas gdy zadaniem pasożyta jest jedynie "wejść" w system sprzężeń zwrotnych ujemnych żywiciela i przestawić go na realizowanie własnego namnażania. Jako że wiroidy są ewidentnie "intencjonalnie" nakierowane na wykonanie tego zadania, z cybernetycznego punktu widzenia należy je uznać za ewoluony.

Cały spowodowany przez wiroidy ciąg zdarzeń jest więc ściśle celowy i prowadzi do namnażania cząstek wiroida oraz infekcji następnych komórek lub osobników gospodarza. Zjawisko takie w żadnym razie nie występuje u prionów. W swojej formie "normalnej" priony pełnią najprawdopodobniej jakąś użyteczną funkcję w organizmie gospodarza (są przecież kodowane w jego DNA), natomiast szkodliwość ich formy "infekcyjnej" jest po prostu przypadkiem, pułapką ewolucyjną wytwarzającego je organizmu, czymś (ale to dosyć daleka analogia) w rodzaju autoalergii<sup>28</sup>. Nie mamy żadnych podstaw, aby sądzić (i wydaje się to niemożliwe z przyczyn zasadniczych), że struktura prionów została przez ewolucję "udoskonalona" w celu zwiększenia ich infektywności. Nie stanowią one bowiem "podmiotu" dla ewolucji, choćby dlatego, że nie potrafią przekazać swemu "potomstwu" informacji o własnej strukturze (sekwencji aminokwasów), a więc zachować ciągłości w czasie własnej tożsamości. Informacja ta znajduje się bowiem nie w nich samych, ale w jądrze komórkowym, na które nie mają wpływu. *De facto*, namnażaniu ulegają przecież nie priony (których ilość pozostaje stała w czasie), a jedynie ich konformacja infekcyjna (kosztem formy normalnej). Priony nie są zatem w żadnym razie ewoluonami, w przeciwieństwie do

---

<sup>28</sup>W przypadku autoalergii system immunologiczny danego zwierzęcia wytwarza przeciwciała przeciwko własnym białkom tego zwierzęcia, co, jak w wypadku prionów, stanowi przykład działanie jakiejś części organizmu na szkodę całości.

wiroidów. Niemniej, postawienie obok siebie prionów i wiroidów znacznie zmniejsza przepaść ziejącą, zdawałoby się, pomiędzy życiem i kamienną lawiną.

Jeżeli status ewolucyjny przyznany został wiroidom, to z pewnością należy się on także wirusom, których jednostki - wiriony - to cząsteczki RNA lub DNA "zamknięte" w chroniącej je i ułatwiającej proces infekcji otoczce białkowej. Cząsteczka kwasu nukleinowego w wirionie jest znacznie większa, niż nić RNA wiroidu. Koduje ona kilka białek, w tym białka otoczki oraz białka uczestniczące w powielaniu wirusowej nici DNA lub RNA w komórce gospodarza, a także biorące udział w syntezie białek otoczki wirusa. Wirusy wykazują już jakby zaczątki własnej sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych. Bakteriofagi aktywnie wstrzykują swoją nić kwasu nukleinowego do komórki bakterii, a wiele wirusów koduje własne enzymy, optymalizujące szybkość namnażania wirionów potomnych w komórce gospodarza. Generalnie jednak, z punktu widzenia paradygmatu cybernetycznego, wirusy należałoby postawić w ścisłym sąsiedztwie wirionów.

Inny ciekawy *casus*, w pewnym sensie pośredni pomiędzy prionami z jednej strony, a wiroidami i wirusami - z drugiej, stanowią nowotwory, a w szczególności nowotwory złośliwe. Akt transformacji nowotworowej normalnej komórki można interpretować w kategoriach cybernetycznych jako "wyłamanie się" tej komórki spod realizacji nadrzędnego celu całego organizmu i narzucenie sobie własnego celu nadrzędnego, czyli po prostu własnej ekspansji. Nowotwór nie "wie", że jego żywot skończy się wraz ze śmiercią całego organizmu (zresztą nie zawsze tak jest - wiele linii nowotworowych hoduje się obecnie dla celów naukowych!), tak jak dinozaury nie "wiedziały", że wyginą na skutek upadku meteorytu. Oba przypadki różni oczywiście skala czasowa - ale niewiele więcej. Często uważamy raka za zjawisko zupełnie bezsensowne, w przeciwieństwie do życia. Jest to jednak ułuda ludzkiego umysłu, ferowana przez nasze skłonności do antropocentryzmu. Nowotwór nie jest mniej (lub bardziej) sensowny, niż życie (osobnik żywy) w ogóle (ściślej: różnica jest jedynie ilościowa, lecz nie jakościowa). Komórki nowotworowe nie posiadają po prostu odpowiednich mechanizmów, żeby zapewnić sobie przetrwanie po śmierci organizmu, który opanowały. Jednak w "środowisku" organizmu radzą sobie nie gorzej, niż bakterie na pożywce. To, że komórki nowotworowe nie mają czasu na ewolucję i "doskonalenie się" (aż skóra cierpi na samą myśl o takiej możliwości) spowodowane jest bardzo ograniczoną pojemnością ich "środowiska". Nie są one zatem w stanie wytworzyć na czas dostatecznie skomplikowanej sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych (sprzężenia zwrotnego dodatniego im nie brakuje). Innymi słowy, komórki nowotworowe nie zdążają "przystosować się" do swojej "niszy ekologicznej". Zauważmy, iż ewolucja "normalnych" pasożytów zmierza w kierunku zmniejszenia ich szkodliwości dla organizmu gospodarza - nie opłaca się im się bowiem zabijać swego żywiciela. Nowotwór różni się oczywiście od "normalnego" pasożyta niemożnością zarażenia innego organizmu żywicielskiego. Jeżeli jednak komórka nowotworowa wytwarza w krótkim czasie swego istnienia przynajmniej pewne celowe mechanizmy (sprzężenia zwrotne ujemne) powodujące niewrażliwość na układ odpornościowy (immunologiczny) lub inne reakcje obronne organizmu, przedostawanie się do innych części organizmu lub odporność na niskie stężenie tlenu (guzy nowotworowe są słabo ukrwione), a więc zapewniające jej przeżycie i rozwój w jej środowisku (czyli organizmie), to z formalnego punktu widzenia jest ona osobnikiem

cybernetycznym (ewoluonem). Jak wspominałem, w obrębie paradygmatu cybernetycznego nowotwory lokują się w pewnym sensie gdzieś pomiędzy prionami a wiroidami i wirusami. Nowotwory posiadają sieć sprzężeń zwrotnych dodatnich zapewniających im ekspansję w tymczasowym (ale to kwestia umownej skali czasowej - istnienie życia na kuli Ziemskiej, jeżeli liczone w miliardach lat, także jest tymczasowe), ograniczonym środowisku organizmu żywego. Charakteryzują je także zapewne pierwociny ewolucji (np. presja układu immunologicznego mogłaby premiować "najlepiej przystosowane" komórki nowotworowe) - gdyby pozwolić im żyć dostatecznie długo, z pewnością zaczęłyby one "normalnie" ewoluować. Stawia to nowotwory "wyżej" od prionów, które nie są w posiadaniu żadnego układu sprzężeń zwrotnych ujemnych. Nowotwory nie potrafią jednak przetrwać i rozprzestrzeniać się w szerszym i bardziej trwałym środowisku, jaki stanowi populacja osobników gatunku żywicielskiego, co charakteryzuje wiroidy i wirusy, mogące przenosić się z jednego osobnika na inny. Dowodzi to większego stopnia "ożywienia" tych ostatnich, chociaż pod względem skomplikowania struktury wirusy i wiroidy znacznie ustępują komórkom nowotworowym. Liczy się jednak przede wszystkim kryterium cybernetyczne.

Co niezmiernie ciekawe, znamy przynajmniej dwa przypadki nowotworów, które stały się „prawdziwymi” nowotworami, to znaczy mogą się one przenosić z jednego osobnika na innego. Mięsak weneryczny u psów ulega propagacji w wyniku kontaktu płciowego, zaś nowotwór pyska u diabła tasmańskiego zwiększa agresywność „zarażonych” nim osobników, doprowadza do wzajemnego gryzienia się i w ten sposób ulega przeniesieniu. Tutaj nie mamy już chyba wątpliwości, iż tym nowotworom należałoby przyznać status ewoluonu.

Ostatnim<sup>29</sup>, niezmiernie ciekawym, stojącym na pograniczu bycia osobnikiem żywym fenomenem jaki chciałbym omówić, jest "pasożytnicze" DNA. Jedną z jego form stanowi powtarzalne (repetytywne) DNA występujące w genomie większości wyższych organizmów. Duża część, lub nawet całe DNA wchodzące w skład genotypu różnych organizmów, to tak zwane DNA niepowtarzalne (unikalne). Nazwa pochodzi stąd, że sekwencje nukleotydów występujące w jakimkolwiek miejscu tego DNA nie pojawiają się w żadnym innym miejscu genomu danego

---

<sup>29</sup>Nie omawiam tutaj bliżej plazmidów, małych, kolistych cząsteczek DNA występujących w ilości kilku - kilkunastu kopii w komórkach bakterii i mogących przenosić się z jednej komórki do drugiej, chociaż ich status wydaje się dosyć osobliwy. Plazmidy mogą przenosić geny odpowiedzialne np. za oporność na antybiotyki lub płęć u bakterii, a ich namnażanie się jest niezależne od powielania DNA w nukleoidzie i cyklu podziałowego komórki. Plazmidy są dla swego gospodarza pożyteczne, a ilość ich kopii jest przez niego kontrolowana. Dodatkowo, mogą one wbudowywać się do DNA bakterii, a potem je opuszczać, przenosząc przy okazji rozmaite geny. Ponieważ plazmidy mogą być przekazywane z jednej komórki bakteryjnej do drugiej, prowadzi to do wymiany informacji genetycznej pomiędzy bakteriami. Wszystko to wskazuje, że plazmidy stanowią w pewnym sensie substytut rozmnażania płciowego, prowadząc do "tasowania" informacji genetycznej i zwiększając pulę tej informacji w całej populacji bakterii. Z drugiej strony, pewna autonomia ich powielania się oraz brak stałego powiązania z daną konkretną komórką (możliwość "infekcji" innych) sugeruje, że mogą one realizować pewne swoje własne cele i dysponować własnym potencjałem ekspansji. W tym ujęciu byłyby one nietypowym rodzajem "symbiontów", wykazując pewne cechy osobnicze. W tej chwili trudno jest jednoznacznie określić ich status.

organizmu<sup>30</sup> (należy tu oczywiście wykluczyć sekwencje najkrótsze, kilkunukleotydowe, które siłą rzeczy muszą się powtarzać). Do niepowtarzalnego DNA należą przede wszystkim fragmenty chromosomów (lub, np. nukleoidu prokariotów) kodujące poszczególne białka, a więc po prostu geny<sup>31</sup>. Właściwie wszystkie organizmy wyższe, łącznie z człowiekiem, posiadają także jakąś (czasem bardzo pokąsną) ilość DNA powtarzalnego (repetytywnego), w którym sekwencje nukleotydowe występują w pewnej ilości kopii. Względna ilość repetytywnego DNA w genomie zmienia się u różnych organizmów, będąc szczególnie wysoka u roślin naczyniowych i płazów ogoniastych. DNA te dzielimy na trzy grupy, ze względu na małą, średnią lub dużą liczbę kopii powtarzalnych sekwencji. Część powtarzalnego DNA odgrywa niewątpliwie ważną rolę w funkcjonowaniu komórki, regulując ekspresję informacji genetycznej a także sterując procesami wzrostu i różnicowania się organizmu. Istnieją jednakże przesłanki sugerujące, że pozostała część nie służy w żaden sposób interesom organizmu. W takim razie, powstaje od razu pytanie, dlaczego organizm się go po prostu nie pozbędzie. Kopiowanie takiego DNA wymaga dodatkowych nakładów energetycznych, a większa objętość zawierających to DNA chromosomów utrudnia zapewne proces kariokinezy (podziału jądra komórkowego). Likwidacja repetytywnych sekwencji leży zatem w najlepiej pojętym interesie komórki i wobec tego ewolucja dawno powinna do tego doprowadzić. Dlaczego więc się tak nie stało?

Jedynie możliwe wytłumaczenie<sup>32</sup> sprowadza się do hipotezy, że to "pasożytnicze" repetytywne DNA dysponuje jakimiś mechanizmami pozwalającymi mu na uniknięcie usunięcia z genomu danej komórki i na przekazanie do genomów komórek potomnych. Jest zatem w posiadaniu systemu sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujących istnienie samego siebie (regulowanym parametrem byłaby tu możliwie duża ilość kopii pasożytniczego repetytywnego DNA, nie za duża jednak, by nie zabić komórki będącej nośnikiem tego DNA; w przeciwieństwie do wiroidów, repetytywne DNA nie jest w stanie infekować nowych komórek i dlatego musi ulegać rozprzestrzenianiu wraz z powielaniem genomu komórki podczas podziałów). Pod tym względem przejawia ono cechy pasożyta, który także nie daje się "wyrzucić" z organizmu żywicielskiego, egzystując na jego koszt. Natomiast sprawa potencjału ekspansji, czyli sprzężenia zwrotnego dodatniego, wydaje się mniej jasna. Powtarzalne sekwencje mogłyby namnażać się bez żadnych ograniczeń, ale to doprowadziłoby do śmierci organizmu, a więc także ich samych. To, że powielają się one tylko na tyle, aby zapewnić w pełni normalne funkcjonowanie organizmu, świadczy, że osiągnęły one wyższy poziom niż nowotwory, które są mniej "przewidujące". Na czym zatem polega ich potencjał ekspansji? W przypadku, kiedy genomy wszystkich osobników w populacji zawierają maksymalną dopuszczalną (ze względu na niezakłócone funkcjonowanie organizmu) ilość repetytywnego DNA, można powiedzieć, że "środowisko" dla "pasożytniczych" sekwencji

<sup>30</sup>Oczywiście, organizmy diploidalne, czyli posiadające dwie kopie zapisu genetycznego, do których należy ogromna większość organizmów wyższych, łącznie z człowiekiem, dysponują dwoma kopiami sekwencji niepowtarzalnych w DNA.

<sup>31</sup>Nieliczne geny występują w większej ilości kopii, jak na przykład geny kodujące histony lub rRNA).

<sup>32</sup>Przy założeniu, że tak zwane samolubne DNA nie pełni jednak jakiejś, nieznaney nam funkcji, przynoszącej korzyści dla całego organizmu.

powtarzalnych jest wysyczone, a zatem żadna ekspansja nie jest możliwa. Z drugiej strony, potencjał ekspansji może wyrażać się w rywalizacji różnych rodzajów powtarzalnego DNA, w dążności do wyparcia "konkurencji" z miejsca w genomie. Tu już daje znać o sobie sprzężenie zwrotne dodatnie.

Możemy także spekulować, co się stanie, gdy w populacji pojawią się (na skutek mutacji lub migracji z innej populacji) osobniki bez pasożytniczego powtarzalnego DNA, lub też z obniżoną jego ilością. Pasożytnicze DNA zdaje się być związane z organizmami diploidalnymi rozmnażającymi się płciowo. Organizmy takie posiadają dwie kopie zapisu genetycznego, z których jedną otrzymują od matki, a drugą - od ojca. Otóż, jeżeli dany organizm otrzymałby od jednego z rodziców komplet chromosomów nie zawierający pasożytniczego DNA, to i tak chromosomy te zostałyby prawdopodobnie "zarażone" przez sekwencje powtarzalne pochodzące z kompletu chromosomów przekazanego przez drugiego z rodziców. Niefunkcjonalne (dla organizmu) repetytywne DNA byłoby więc czymś w rodzaju "pasożyta chromosomów", mogącego przenosić się z jednego chromosomu na drugi, ale nigdy nie opuszczającego nie to, że organizmu (lub jego komórek rozrodczych), ale nawet jądra komórkowego gospodarza. Ta ostatnia cecha różni je od, na przykład, wiroidów, które, choć same także nie są niczym więcej, niż nicią kwasu nukleinowego, to przenoszą się z jednego osobnika na inny i pasożytują raczej na całych komórkach, które doprowadzają do śmierci, niż tylko na chromosomach. Z tego względu, pasożytnicze sekwencje repetytywne DNA można ulokować na skali "nieożywione - żywe" nieco poniżej wiroidów, ale już po stronie "żywego" (a ściślej – po stronie żywego osobnika). Jak widzimy, w naszej przepaści ziejącej jakoby pomiędzy zjawiskiem życia (żywego osobnika) i przyrodą nieożywioną robi się powoli niemały tłok. Mimo to jednak, paradygmat cybernetyczny wyznacza ostrą granicę pomiędzy tym co nieożywione, a tym co żywe. Oczywiście, tak jak w przypadku wiroidów i wirusów, repetytywne DNA jest „żywe” (stanowi żywego osobnika) jedynie w funkcjonalnym „kontekście” biochemicznym i genetycznym swojego „gospodarza”.

Innym przykładem pasożytniczego DNA są tak zwane "nadliczbowe" chromosomy B. Znalaziono je u setek gatunków roślin i zwierząt. Chromosomy te nie są konieczne dla normalnego funkcjonowania zawierających je organizmów (wiadomo to po prostu stąd, że osobniki nie zawierające chromosomów B rozwijają się równie dobrze, a nawet lepiej, niż ich "posiadacze") i nie przynoszą im żadnych widocznych korzyści (z małymi i wątpliwymi zresztą wyjątkami). Korzystają one po prostu z usług swojego "nosiciela" w aspekcie namnażania (przy okazji powielania chromosomów w procesie podziału komórki) i rozprzestrzeniania się, co nie pozostaje bez wpływu na jego bilans energetyczny (powielanie informacji genetycznej jest procesem energochłonnym). Wydaje się zresztą, że organizmy próbują się pozbyć swoich chromosomów B, na przykład poprzez ich zgubienie w trakcie podziału jądra komórkowego, i że chromosomy B potrafią temu przeciwdziałać. Chromosomy B są więc najprawdopodobniej, tak jak niektóre sekwencje repetytywne, pasożytami genomu swego gospodarza, chociaż różnią się od sekwencji repetytywnych strukturą (chromosom to twór o wiele bardziej skomplikowany, niż krótka nić DNA). Wykazują bowiem potencjał ekspansji i posiadają sieć wspierających go sprzężeń zwrotnych ujemnych (za "regulowaną wartość parametru" można uznać tutaj pozostanie w komórce i powielenie podczas jej podziału (czyli po prostu realizację podtrzymania sprzężenia zwrotnego dodatniego: potencjału ekspansji), natomiast za "zaburzające

wpływy środowiska" - próby zgubienia chromosomów B przez ich nosiciela), co świadczy niezawodnie o tym, iż są osobnikami cybernetycznymi (ewoluonami).

Najbardziej spektakularnym przykładem pasożytniczego DNA jest chromosom B pasożytujący na genomie osy *Nasonia vitripennis*<sup>33</sup>. U owada tego (tak jak u wszystkich błonkówek) o płci decyduje liczba zestawów (garniturów) chromosomowych - samce są haploidalne (pojedynczy zestaw chromosomów), a samice dioploidalne (podwójny zestaw). Regulacja determinacji płci u potomstwa polega na zapłodnieniu przez (haploidalne) plemniki tylko części (haploidalnych) komórek jajowych. Z komórek zapłodnionych rozwijają się samice, a z niezapłodnionych - samce.

Chromosom B przenosi się u *Nasonia vitripennis* w plemnikach, wraz z "normalnymi" chromosomami pochodzącymi od samca. Po zapłodnieniu, chromosom B powoduje usunięcie całego zestawu chromosomów ojcowskich, a więc zagładę genomu, którego jeszcze przed chwilą był częścią. Zygota staje się więc haploidalna (pozostaje w niej tylko pojedynczy zestaw chromosomów pochodzący od matki oraz, oczywiście, chromosom B) i rozwija się w normalnego samca, który także produkuje plemniki przenoszące chromosomy B. Przy następnym zapłodnieniu, prowadzą one do zagłady genomu swojego kolejnego "gospodarza". "Samolubność" chromosomu B u omawianej osy przerasta ogromnie "samolubność" "normalnych" chromosomów B. O ile te ostatnie nieznacznie tylko obniżają "żywołność" genomu, na którym pasożytują, to chromosom B u *Nasonia vitripennis* przejawia wobec swego tymczasowego gospodarza iście czarną niewdzięczność, eliminując cały jego genom. Omawiany chromosom B jest zatem bezsprzecznie podmiotem ewolucji posiadającym swoje własne cele oraz doskonale dostosowanym do ich realizacji w swoim "środowisku", czyli po prostu osobnikiem w cybernetycznym znaczeniu tego słowa (ewoluonem). Jeżeli więc ktoś mógłby ciągle wysuwać wątpliwości, czy "normalne" chromosomy B są naprawdę pasożytami, to we właśnie opisanym przypadku chyba nie ulega to wątpliwości.

Pasożytnicze, samolubne DNA (tak repetytywne sekwencje DNA, jak i chromosomy B) jest kolejnym, po nowotworach, przykładem czegoś, co można by nazwać "życiem w życiu" (ewentualnie: żywym osobnikiem w żywym osobniku). Zjawisko to polegałoby na tym, że jakaś część systemu (organizmu) żywego, służąca pierwotnie, jako element sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych, realizacji celu nadrzędnego tego organizmu, czyli jego ekspansji w środowisku zewnętrznym, zaczęłaby, na skutek przypadkowej mutacji, "dążyć" do własnej ekspansji w "środowisku" tegoż organizmu. Możliwość taka wynika z hierarchicznej budowy organizmu biologicznego. Na każdym poziomie organizacji (tkankowym, komórkowym, organellowym, molekularnym) poszczególne elementy składowe (np. komórki) wykazują duży stopień autonomii, niezbędny do sprawnego wykonywania pełnionych przez nie funkcji. Autonomia komórek wynika także z przyczyn historycznych - kiedyś (chodzi o ewolucyjną skalę czasową) komórki wiodły niezależny żywot (jako organizmy jednokomórkowe), natomiast organizmy wielokomórkowe powstały, kiedy dzielące się komórki zaczęły nie ulegać separacji po procesie podziału. Jako twory samodzielne, komórki musiały posiadać pełny zestaw mechanizmów, pozwalających im na przeżycie i ekspansję. Wiele z tych

---

<sup>33</sup>Przykład ten zawdzięczam Andrzejowi Joachimiakowi.



mechanizmów pozostało wciąż sprawnych u komórek tworzących ciała organizmów wielokomórkowych, a ich podporządkowanie funkcji całości organizmu wymaga wielorakich mechanizmów kontrolnych. Mechanizmy te nie są jednak niezawodne. Transformacja nowotworowa polega w pewnym sensie na uzyskaniu przez komórkę (grupę komórek) pełnej autonomii, którą utraciła ona setki milionów lat wcześniej. W poszukiwaniu zaś wolnożyjących "przodków" pasożytniczego powtarzalnego DNA trzeba by chyba cofnąć się aż do hipercykli Eigena (omawianych w następnym podrozdziale). Nie jest także wykluczone, że wiroidy i przynajmniej część wirusów powstały przez taką "autonomizację" struktur, będących wcześniej funkcjonalnymi częściami bardziej złożonych systemów (prawdopodobnie komórek). Konkurencyjna hipoteza zakłada, że twory te stanowią skutek skrajnego uproszczenia komórek najprostszych prokariotów (takich jak pasożyty wewnątrzkomórkowe - riketsje i mykoplazmy, które, jako pasożyty, także zdały już wiele stracić ze swojej autonomii) w procesie ewolucji.

Wyżej dyskutowane przykłady dotyczą przypadku, kiedy w obrębie jednolitego początkowo systemu, będącego z punktu widzenia cybernetycznego pojedynczym osobnikiem, wyodrębniają się systemy wtórne, mające swoje własne cele i potencjały ekspansji, co czyni je niezależnymi osobnikami. Możliwe jest jednak zjawisko odwrotne - łączenie się niezależnych indywiduów w pewną całość, co w skrajnych przypadkach może doprowadzić do powstania z nich jednego osobnika, jednego podmiotu ewolucji. Typowym tego przykład stanowi symbioza, polegająca na takim współżyciu dwóch organizmów (lub, szerzej, gatunków), że obaj partnerzy odnoszą z tego współżycia korzyści. Sztandarowym przykładem symbiozy są porosty, których plechy stanowią połączenie komórek grzyba i glona. Zarówno grzyb, jak i glon nie mogą w warunkach naturalnych przeżyć oddzielnie. Jednakże oba komponenty zachowały autonomiczne systemy namnażania komórek i w warunkach laboratoryjnych mogą egzystować niezależnie. Z iloma osobnikami mamy więc do czynienia? Jednym czy dwoma? (dla uproszczenia traktuję tu komponentę glona i grzyba jako pewne całości, choć w przypadku glona być może słuszniej byłoby uznać za potencjalne osobniki poszczególne komórki). Można uzależnić to od warunków i stwierdzić, że w środowisku naturalnym jest to jeden gatunek, zaś w "środowisku" laboratorium - dwa. Można też za reprezentatywne uznać tylko warunki "naturalne" (cokolwiek by to nie miało znaczyć). Weźmy jednak w takim razie przypadek, kiedy obaj partnerzy mogą egzystować w naturze oddzielnie, ale rozwijają się wtedy wolniej niż podczas życia w "stadle" i z reguły przegrywają "walkę o byt" z innymi organizmami. Znowu - ile tu mamy osobników (lub, jeśli ktoś woli, gatunków)? "Natężenie" symbiozy, czyli wzajemne uzależnienie od siebie osobników można stopniować - od bardzo luźnych, fakultatywnych związków, dających niewielkie tylko korzyści, do całkowitego i bezwzględnie uzależnienia. Jako przykład tego ostatniego można przytoczyć mitochondria - organelle komórkowe u organizmów eukariotycznych, odpowiedzialne za oddychanie tlenowe.

Mitochondria prawie na pewno są potomkami wolnożyjących niegdyś bakterii, które weszły w symbiozę z przodkami jednokomórkowych organizmów eukariotycznych, zapewne podobnych do współczesnych pełzaków (ameb). Możemy wyobrazić sobie dwie drogi prowadzące do tego, uwiecznionego zresztą ogromnym sukcesem ewolucyjnym, współżycia. Po pierwsze, pra-

mitochondria mogły być pierwotnie pasożytami pra-Eukariota, które później utraciły swoją patogenność, odnosząc zdecydowanie większe korzyści z "pokojowej" koegzystencji. Możliwe jest też, że pra-Eukariota polowały na bakterie, trawiąc je w obrębie swojej cytoplazmy. Przypadkowa mutacja, unieczynnijająca enzym trawienny, mogłaby utworzyć drogę do symbiozy. Jakkolwiek by nie było, doszło do współistnienia dwóch niezależnych wcześniej osobników cybernetycznych (podmiotów ewolucji), które obecnie przybrało tak skrajne rozmiary, że poszczególni partnerzy nie tylko nie mogą egzystować oddzielnie, ale obecnie większość białek mitochondrialnych jest kodowana w jądrze komórkowym, gdzie zostało przeniesione *gros* genów byłych bakterii - w mitochondriach do dziś pozostały szczątkowe ilości DNA, które nadal koduje kilka białek i ma do dyspozycji własny aparat translacyjny - relik "niezależnej" przeszłości. Wydawałoby się więc, że przynajmniej w tak ekstremalnym przypadku możemy nie mieć wątpliwości, że obecnie organizmy eukariotyczne stanowią pojedyncze, będące jedną całością osobniki.

Jednakże nawet to nie jest do końca oczywiste. Mitochondria nie powstają w komórce eukariotycznej znikąd - zawsze są one skutkiem podziału mitochondriów rodzicielskich. Jak wspomniałem przed chwilą, organelle te zachowały własną, chociaż szczątkową informację genetyczną oraz system odpowiedzialny za jej ekspresję (notabene, znacznie bardziej podobny do takiego systemu u bakterii, niż u swoich własnych "gospodarzy"). W ich DNA mogą więc, jak w każdym innym DNA, zachodzić mutacje, na przykład takie, które powodują zmiany struktury kodowanych białek (lub np. rRNA albo tRNA, uczestniczących w syntezie białek). Jeżeli z tego powodu nastąpi w danym mitochondrium upośledzenie jego funkcji reprodukcyjnych, to takie "wadliwe" mitochondrium będzie się gorzej rozmnażało i pozostawi mniej mitochondriów potomnych, niż konkurencja. Odwrotna sytuacja ma miejsce, kiedy (ale o to jest znacznie trudniej) wskutek przypadkowej mutacji dane mitochondrium uzyska przewagę nad innymi mitochondriami. Jest zatem rzeczą niewątpliwą, że mitochondria ulegają ciągle jakiejś szczątkowej ewolucji, chociaż tylko w "środowisku" komórek eukariotycznych, a zatem są jeszcze, w pewnym rudymentalnym sensie, osobnikami. Ponieważ jednak liczba mitochondriów podlega ścisłej kontroli przez komórkę i ogromna większość celów pojedynczego mitochondrium pokrywa się z celami całego organizmu, możemy stwierdzić, że ewolucyjna "fuzja" dwóch osobników w jednego dokonała się w tym przypadku prawie zupełnie<sup>34</sup>.

Cała powyższa dyskusja dotycząca symbiozy miała przede wszystkim za zadanie pokazać, że w alternatywie: "być albo nie być ewolucyjnie" zasada wyłączoności środka nie obowiązuje - można być osobnikiem tylko częściowo. W przypadku zjawiska symbiozy, pomiędzy dwoma niezależnymi podmiotami ewolucji (osobnikami) a jednym indywiduum istnieje całe spektrum stanów przejściowych (jako miara może tu służyć gęstość sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych pomiędzy partnerami w symbiozie). Paradygmat cybernetyczny służy tu jako wygodny punkt odniesienia, choć

---

<sup>34</sup>Niezmiernie ciekawe mogłoby być odkrycie "pasożytniczych mitochondriów", które, zamiast produkować energię dla komórki, dbałyby jedynie o swoje własne namnażanie się, kosztem "lojalnych" mitochondriów (i całej komórki). Musiałyby to jednak robić z umiarem, aby nie wyprzeć tych ostatnich, które przecież utrzymują komórkę przy życiu).

nie zawsze pozwala on na definitywne rozstrzygnięcie, czy dany układ jest, czy też nie jest ewoluonem, bo takie rozstrzygnięcie jest często po prostu niemożliwe. Problem polega na tym, że sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych dwóch układów mogą być częściowo z sobą połączone.

Zwróćmy jednak uwagę, że podobne niejednoznaczności pojawiają się jedynie w sytuacjach, kiedy mamy do czynienia z pytaniem: ile osobników żywych występuje w danym układzie - jeden, dwa czy więcej. Twierdzę natomiast, że paradygmat cybernetyczny jest w stanie dostarczyć jednoznacznej odpowiedzi na pytanie: czy w danym przypadku mamy w ogóle do czynienia z jakimkolwiek (choćby jednym) osobnikiem żywym (ewoluonem), a więc czy zachodzi podporządkowanie sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych nadrzędnemu sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu. Kryterium cybernetyczne zachowuje zatem swą ważność w stosunku do obiektów o wątpliwym statusie istniejących na innych planetach, a także w odniesieniu do kwestii, od którego momentu w procesie samoistnego powstawania życia na Ziemi możemy mówić o istnieniu życia.

Na koniec - jeszcze parę słów z cybernetycznego punktu widzenia o omówionych wcześniej "społeczeństwach" owadów społecznych (podobne pod względem formalnym społeczeństwa, zawierające kasty sterylne i płciowe, tworzą golce - gryzonie zamieszkujące półpustynię południowej Afryki). Są one interesujące chociażby dlatego, że to właśnie badacz mrówek, Edward O. Wilson, sformułował podstawy socjobiologii, poglądu filozoficzno - naukowego, głoszącego, że zachowania ludzkie (wszelkie ich aspekty społeczno - kulturowe) da się, w sposób mniej lub bardziej bezpośredni, wyprowadzić z biologicznej natury człowieka, z jej uwarunkowań ewolucyjnych. Oparł się on, mniej lub bardziej *explicite*, na podobieństwach pomiędzy jednostkami, "osobnikami" (strukturalnymi) w społeczeństwach owadzych i społeczeństwach ludzkich.

Co ma na ten temat do powiedzenia paradygmat cybernetyczny? Otóż, jak już zdażyłem to pokazać, bezpłodne robotnice (oraz inne kasty) mrówek, termiów, os oraz pszczół, jak również sterylne osobniki golców wcale nie są osobnikami! Osobnik, z punktu widzenia cybernetycznego, to pewien system sprzężeń zwrotnych ujemnych podporządkowanych realizacji sprzężenia zwrotnego dodatniego - ekspansji. Dodajmy - co istotne - swojej własnej ekspansji. Zatem, za osobnika możemy uznać jedynie całą kolonię owadów. Ani robotnica, ani królowa mrówek nie są w żadnej mierze "podmiotem" ewolucji biologicznej (ewoluonem), ponieważ żadna z nich nie jest zdolna samodzielnie powielać i rozprzestrzeniać swojej tożsamości. Ekstrapolacja praw rządzących społecznościami owadów na społeczności ludzkie, których elementy (ludzie) są osobnikami cybernetycznymi, nie znajduje zatem żadnego uzasadnienia.

Cybernetyczna definicja osobnika, poprzez abstrakcję od jego cech akcydentalnych (i przez to, niestety, nieco ogólnikowa), pozwala na określenie pewnych "obiektywnych" kryteriów, pomocnych w jasnym formułowaniu problemów. Należy tutaj jeszcze raz podkreślić, że rozgraniczenie pomiędzy osobnikiem i nie-osobnikiem nie zawsze jest tak klarownie proste, ale jedynie wtedy, gdy mamy zdecydować, z iloma osobnikami mamy do czynienia, a nie czy w ogóle są tu jakieś osobniki żywe. W pewnych prymitywnych koloniach os *Polistes* poszczególne osobniki płci żeńskiej mogą, w zależności od sytuacji, rozmnażać się normalnie, gdy zajmują pierwsze miejsce w hierarchii w gnieździe, składać ograniczoną liczbę jaj okupując drugą lub trzecią pozycję, albo też

pełnić funkcje robotnic plasując się na spodzie hierarchii. Zajmowana pozycja nie jest przy tym bezwzględnie stała i raz na zawsze ustalona - poszczególne osobniki mogą czasem zmienić swoją pozycję w hierarchii<sup>35</sup>. Jak zatem widać, choć brzmi to nieco paradoksalnie, można być osobnikiem cybernetycznym tylko częściowo - ale tylko w przypadku, gdy wiadomo, że istnieje chociaż jeden ewoluon.

Tak zwana teoria selekcji krewniaczej tłumaczy powstawanie niektórych przynajmniej społeczeństw owadów na zasadzie rezygnacji przez część osobników z własnego rozrodu na rzecz wsparcia ekspansji "swoich" genów poprzez podniesienie efektywności rozrodu osobników blisko spokrewnionych, a przez to będących "nosicielami" wielu z tych genów, na przykład na drodze dostarczania im pokarmu, obrony przed napastnikami lub opieki nad ich potomstwem. W wielu warunkach tego rodzaju "altruizm" jest bardziej opłacalny dla właściciela odpowiedzialnych zań genów, niż próba ekspansji swoich genów przez samodzielny rozród. W ten sposób osobnikiem w sensie cybernetycznym staje się grupa blisko spokrewnionych ze sobą owadów, "wspólnie" produkująca potomstwo. W powstawaniu społeczeństw drogą selekcji krewniaczej zmianie ulega zatem podmiot ewolucji - z pojedynczego owada staje się nim grupa owadów. W tym sensie pojęcie osobnika zdaje się tracić nieco ze swej ostrości.

W ten sposób prawdopodobnie powstały przynajmniej niektóre społeczeństwa os i pszczoł. Jest jednak do pomyślenia alternatywna droga, którą być może obrało wiele gatunków mrówek, wykazujących tak zwany "klasztorny" sposób zakładania gniazda. W tym przypadku zapłodniona królowa wykopuje norcę i składa jaja, z których wylęgną się pierwsze robotnice. Królowa nie odżywia się w tym czasie, czerpiąc energię ze spalania tkanki tłuszczowej, co dało początek nazwie omawianej strategii. Ewolucyjnie mogła ona powstać w ten sposób, że królowa, zamiast od razu wytwarzać formy płciowe, "inwestowała" najpierw w sterylne potomstwo, co pozwoliło jej na produkcję znacznie większej ilości płodnych samców i samic, chociaż z pewnym opóźnieniem czasowym. Formalnie rzecz biorąc, wytworzenie sterylnych kast byłoby w tym wypadku analogiczne do, na przykład, wykształcenia rogów u antylopy czy kory u drzew. Wygląda więc na to, że u mrówek to nie robotnice "zrezygnowały" z rozrodu na rzecz królowej, lecz że tak zostały przez nią genetycznie "zaprogramowane". Nigdy zatem nie były osobnikami. Teoria doboru krewniaczego nie byłaby więc w tym przypadku adekwatna.

Jeżeli odniesiemy wszystko powiedziane powyżej do społeczeństw ludzkich, powstaje problem, co z ludźmi, którzy nie chcą lub nie mogą się rozmnażać z powodów kulturowych (celibat) albo biologicznych (wrodzone wady genetyczne, operacja, wypadek). Czy nie są oni osobnikami w cybernetycznym znaczeniu (ewoluonami)? To wydaje się już brzmieć całkiem nonsensownie. A jednak nie są oni osobnikami z punktu widzenia biologiczno-ewolucyjnego. A ściślej – są oni „zdefektowanymi” osobnikami żywymi, tak jak np. ludzie muszący nosić okulary. Jednakże, w przeciwieństwie do pozostałych zwierząt, człowiek ma także inne cele nadrzędne, poza ekspansją własnych genów. Jest to "ekspansja" własnych przekonań, wierzeń, poglądów moralnych, poczucia

<sup>35</sup>Patrz: "Społeczeństwa owadów", Edward O. Wilson, PWN, Warszawa 1979.

estetycznego, wiedzy o świecie, uczuć, słowem - własnej psychiki w całej sieci pojęciowej kultury (o tym, co to jest sieć pojęciowa, powiem w ostatniej części książki). Wszystko to składa się na istotę człowieka jako osobnika kulturowego. Słowa "ekspansja" nie należy tutaj utożsamiać z zaborczością, ani w ogóle z rozumieć pejoratywnie. Przecież kapłan nauczający miłości bliźniego także zmierza do rozprzestrzenienia swoich poglądów w obrębie kultury. Rzutowaniem własnej osobowości w system znaczeń kulturowych jest każdy akt uczestnictwa w życiu społeczeństwa<sup>36</sup>. Świadczy to tylko o tym, że dla człowieka bycie osobnikiem w sensie psychiczno - kulturowym jest (bywa) istotniejsze, niż realizowanie się jako osobnik w sensie czysto biologicznym. Należy przy tym zaznaczyć, że cele te w dużej mierze się pokrywają - na kształtowanie niczyjej psychiki rodzice nie mają większego wpływu, niż psychiki swoich dzieci. Już jednakże decyzja posiadania mniejszej liczby potomstwa, które można lepiej wykształcić i przygotować do życia (a nie li tylko do przeżycia), świadczy o istotnym wkładzie "celów" kulturowych. O człowieku jako osobniku psychicznym i kulturowym powiem więcej w ostatniej części książki, poświęconej ewolucji sieci pojęciowej.

---

<sup>36</sup>Rzadko która osobowość ma możliwość "ekspansji" na większą skalę (jak, na przykład, osobowość słynnego pisarza), albowiem środowisko jest już "wysyczone". Nie zamierzam zresztą twierdzić, że ta moja *ad hoc* sformułowana hipoteza ma stanowić panaceum na wszelkie kłopoty z wyjaśnieniem motywacji kierujących postępowaniem jednostek ludzkich w społeczeństwie - dotkliwa porażka socjobiologii, która miała być takim uniwersalnym wytłumaczeniem, to wystarczająca nauczka, żeby unikać zbyt wielu uproszczeń. Mnie chodzi przede wszystkim o pokazanie, że człowiek jest osobnikiem nie tylko w aspekcie biologicznym, ale przede wszystkim - psychiczno-kulturowym, oraz że nadrzędne cele "środowiska" kulturowego są nieredukowalne do celów biologicznych.

### 2.3. POWSTANIE ŻYCIA

Obecnie organizmy żywe charakteryzują się ogromną różnorodnością form oraz wysokim stopniem skomplikowania struktury i funkcji. Nie ma chyba potrzeby dowodzić, że ameba, dąb i nietoperz różnią się pomiędzy sobą istotnie. Z drugiej strony, nawet proste komórki organizmów prokariotycznych (bakterii, sinic) posiadają dalece zorganizowany schemat budowy i skomplikowany metabolizm. Skrajnie uproszczone formy, stojące na pograniczu życia, takie jak wiroidy i wirusy, nie mogą się namnażać poza komórką żywiciela i stanowią formy żywe tylko jako część jego metabolizmu, skierowanego przez pasożyta na odpowiednie tory. Nadal zatem pozostajemy przy wniosku, że nawet najprostsze mogące istnieć samodzielnie w środowisku nieożywionym życie jest obecnie bardzo skomplikowane.

Te uwagi dotyczące różnorodności i złożoności życia podaję nie bez celu. Można sobie bowiem wyobrazić, że sedna istoty życia da się dociec po prostu ekstrahując cechy wspólne wszystkim organizmom żywym. Ogromne zróżnicowanie tych ostatnich na poziomie makroskopowym każe doszukiwać się rysów podobieństwa raczej na poziomie biochemicznym, tym bardziej, że np. bakterie właściwie ponad ten poziom nie wychodzą. I tu czeka nas prawdziwa niespodzianka - podstawowe zasady funkcjonowania metabolizmu, łącznie z kopiowaniem i odczytem informacji genetycznej, są praktycznie identyczne u wszystkich znanych nam organizmów! Owa identyczność dotyczy nośnika informacji genetycznej (DNA), podstawowych elementów maszyneryi komórki (zbudowane z białek enzymy), uniwersalnego nośnika energii (ATP), bariery otaczającej komórkę (błona białkowo-lipidowa). Ten sam jest sposób powielania DNA, ten sam wielce skomplikowany (zawierający mRNA, tRNA, syntetazy aminoacylo-tRNA i złożone z dwóch podjednostek rybosomy) aparat do odczytu informacji genetycznej (syntezy białek), ten sam wreszcie - kod genetyczny, przyporządkowujący sekwencji nukleotydów w DNA (i mRNA) sekwencję aminokwasów w białkach. Wysoki stopień podobieństwa wielu szlaków metabolicznych, włączając w to występujące w nich enzymy i przetwarzane metabolity, na przykład szlaków odpowiedzialnych za produkcję energii, w ich liczbie związanego z błonami białkowo-lipidowymi łańcucha transportu elektronów, także świadczy o ogromnej jednolitości istniejących organizmów żywych. Nie będę dalej ciągnąć tego wyliczania - przykłady podane wyżej powinny wystarczyć do wsparcia tezy o tożsamości podstawowych zasad funkcjonowania wszystkich znanych nam współcześnie na Ziemi form życia.

Jak widzimy, problem z określeniem wspólnego mianownika dla wszystkich form życia na Ziemi polega na tym, że jest on aż tak obszerny, że to, co wydaje się najbardziej podstawowym schematem organizmów żywych, wykazuje aż taki stopień złożoności. Notabene, świadczy to o pochodzeniu wszystkich żyjących obecnie organizmów od jednego, i to całkiem wysoko uorganizowanego przodka. Jest logicznie konieczne, że posiadał on co najmniej ten zestaw cech, który obecnie charakteryzuje wszystkie żyjące organizmy (bardzo nieliczne wyjątki, takie jak niewielkie odchylenia od uniwersalności kodu genetycznego, możemy zaniedbać jako wtórne lub nieistotne). Wyekstrahowanie ze wszystkich żyjących obecnie organizmów wspólnych im cech nie wydaje się

zatem specjalnie owocne w dotarciu do sedna istoty życia. Powstaje bowiem wątpliwość, czy aż tak wysoki stopień skomplikowania jest bezwzględnie konieczny dla życia w ogóle, czy też są do pomyślenia formy żywe znacznie prostsze, a mimo to całkowicie funkcjonalne i zdolne do dalszego rozwoju. A jeżeli tak, to jakie kryteria decydują o tym, że dany układ jest ożywiony. W poprzednim rozdziale problem ten potraktowałem z punktu widzenia paradygmatu cybernetycznego. Przy całej swojej płodności heurystycznej jest on niewątpliwie podejściem abstrakcyjnym, a więc nieco oderwanym od rzeczywistego świata materialnego. Wydaje się bowiem rzeczą istotną nie tylko czym jest życie z punktu widzenia cybernetycznego, ale także jak ogólne dyrektywy cybernetyczne są realizowane w najprostszych możliwych formach życia na Ziemi.

Powyższe pytanie nieuchronnie popycha nas ku kwestii powstania życia na naszej planecie. Był to bowiem z pewnością jedyny moment, kiedy życie, wyłaniając się z martwej materii, przybierało tak proste formy, jak to tylko możliwe. Jeżeli będziemy władni dociec, co w tych najprostszych formach decydowało o fakcie ich ożywienia, przybliży to nas bardzo do zrozumienia sensu i istoty życia. W rozważaniach takich nie najpośledniejszą rolę odgrywa ciekawość, przez jakie początkowe etapy życie przechodziło (lub mogło przechodzić), aby osiągnąć obecny poziom skomplikowania i różnorodności. "Sukcesu" zjawiska ewolucji, łącznie z powstaniem nas samych, należy się bowiem doszukiwać głównie w predyspozycjach do dalszego rozwoju, jakie stały się udziałem (przypadkiem lub na skutek konieczności) pierwszych organizmów na naszej planecie.

Ciągle jeszcze w wielu kręgach pokutuje pogląd, że życie jest fenomenem zbyt złożonym, aby mogło powstać spontanicznie. Nawet najprostsze żyjące obecnie komórki prokariotyczne to twory ogromnie skomplikowane, składające się z tysięcy białek i innych związków, posiadające informację genetyczną w postaci podwójnej nici DNA zawierającej miliony par nukleotydów, "wyposażone" w złożony i odpowiednio zorganizowany metabolizm, zapewniający przemianę materii i energii a także kopiowanie i odczyt informacji genetycznej, wreszcie - posiadające określoną strukturę przestrzenną. Powstanie tak wysoko uorganizowanego układu spontanicznie z materii nieożywionej wydaje się całkowicie nieprawdopodobne, mniej więcej tak, jak napisanie "Hamleta" Shakespeare'a przez szympana stukającego na chybił trafił w klawisze maszyny do pisania lub też złożenie gotowego do lotu boeinga przez wiatr wiejący nad złomowiskiem (przykład podany przez Hoyle'a). Argument ten jest ciągle dość często stosowany przeciwko możliwości spontanicznego powstania życia (biopoezy).

Powyższy argument należy jednak uznać za całkowicie chybiony. Aby to wyjaśnić, posłużę się przykładem powszechnie znanej gry loteryjnej, a mianowicie Toto-Lotkiem. Zdobyćie głównej wygranej polega tam na trafieniu sześciu wylosowanych liczb z możliwych czterdziestu dziewięciu. Prawdopodobieństwo trafienia sześciu przypadkowych liczb z czterdziestu dziewięciu w jednym "strzale" wynosi około 1 : 14000000, czyli jeden do czternastu milionów. Trzeba bowiem naraz trafić dowolną liczbę z "wygrywających" sześciu na 49, jednocześnie jedną z pozostałych pięciu na 48, jedną z pozostałych czterech na 47 itd., tak że wszystkie sześć liczb zostaje trafionych w jednym strzale. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia wynosi  $6/49 \cdot 5/48 \cdot 4/47 \cdot 3/46 \cdot 2/45 \cdot 1/44$ , co daje w przybliżeniu właśnie wspomniane wyżej jeden do czternastu milionów. Aby więc mieć 50 % szans na główną wygraną, musielibyśmy "strzelać" około siedmiu milionów razy. Tak znikoma szansa

powstrzymuje wielu ludzi od gry w Toto-Lotka. Należy przy tym dodać, że szansa "szczęśliwego trafienia" w "loterii życia", czyli np. spontanicznego powstania w jednej chwili komórki bakteryjnej z materii nieożywionej (mieszanki związków organicznych) jest jeszcze daleko mniejsza, w istocie tak astronomicznie mała, że w ogóle nie opłaca się jej brać pod uwagę. Czy więc życie rzeczywiście nie mogło powstać samoistnie?

Błąd w powyższym rozumowaniu polega na założeniu, że proces powstawania życia przypominał strategię gry w Toto-Lotka. Tak jednak nie było - pokazaniu tego poświęcam cały niniejszy rozdział. Rozważmy inną strategię. Przyjmijmy, że jeżeli w danym "strzale" trafiamy chociaż jedną liczbę z sześciu, to jesteśmy o tym informowani i w następnych strzałach zostawiamy ją, próbując trafić pozostałe. Po jakimś czasie mamy już trafione dwie, trzy lub cztery liczby, aż w końcu dochodzimy do wszystkich sześciu. Ilu strzałów przeciętnie potrzebowalibyśmy przy tym sposobie gry? Szansa trafienia jednej z sześciu liczb na czterdzieści dziewięć wynosi ok.  $1 : 8$ , a więc mamy szansę 50 % na trafienie którejś liczby w ok. 4 strzałach. Kiedy już poznamy pierwszą liczbę, pozostaje nam pięć liczb na czterdzieści osiem (teraz więc w każdym "strzale" skreślamy 5 liczb z 48). Prawdopodobieństwo trafienia drugiej liczby wynosi w przybliżeniu  $1 : 10$ , potrzeba więc nam przeciętnie 5 strzałów aby dokonać tego trafienia z szansą 50 %. Analogicznie, trafienie kolejnych liczb wymaga odpowiednio około 6, 8, 11 i 22 strzałów (można to łatwo sprawdzić). Z prawdopodobieństwem 50 % uda nam się trafić wszystkie sześć liczb po mniej więcej 56 strzałach ( $4 + 5 + 6 + 8 + 11 + 22$ ). Jest to ilość znikomo mała w porównaniu z siedmioma milionami (7000000) strzałów potrzebnych dla trafienia wszystkich sześciu liczb "od razu" w poprzedniej strategii. Z dwu opisanych strategii druga jest zatem o wiele bardziej efektywna. Tą też metodą powstało i ewoluowało życie.

Inaczej mówiąc, życie mogło powstać dlatego, ponieważ powstawało etapami. Na każdym etapie podlegało ono różnym przypadkowym zmianom - "strzałom" - a warunki zewnętrzne (środowisko) decydowały o tym, które z tych "strzałów" zostały trafione, czyli które przypadkowe zmiany okazały się korzystne dla danego pra-organizmu, zapewniając mu przetrwanie i ewentualnie wytworzenie podobnych do siebie układów potomnych. Następowala kumulacja korzystnych zmian krok po kroku, czyli "pamiętanie" liczb wcześniej już właściwie trafionych. Struktura i funkcja najprostszej nawet komórki nie musiała powstać od razu. Przeciwnie - ukształtowała się ona stopniowo w przeciągu milionów lat ewolucji poprzez nagromadzenie wielu korzystnych zmian, z których każda tę pra-komórkę ulepszała, a nierzadko zwiększała także stopień jej skomplikowania. Wynika z tego, że życie po prostu nie gra w Toto-Lotka.

Tak czy owak, sposób powstania jest tym w fenomenie życia, o czym chyba jeszcze ciągle najmniej wiadomo. Ogromna większość uczonych podziela jednak pogląd, że życie narodziło się spontanicznie na planecie Ziemia jakieś 3.8 do 4 miliarda lat temu, czyli nieco ponad pół miliarda lat po jej powstaniu. Ziemia uformowała się około 4.5 miliarda lat temu z pyłu i gazu wyrzuconego w przestrzeń kosmiczną podczas wybuchu gwiazdy Supernowej (temu zawdzięcza nasza planeta swój skład - wszystkie pierwiastki we Wszechświecie oprócz wodoru i helu powstają we wnętrzach



gwiazd). Siła grawitacyjna powodowała skupianie się drobin pyłu wokół wspólnego środka ciężkości. W miarę kurczenia się i zagęszczania masy pyłu wzrastało panujące w niej ciśnienie oraz temperatura, co doprowadziło do stopienia się budującego ją materiału. Na tym etapie Ziemia przypominała kulę roztopionej magmy. Cięższe pierwiastki, takie jak żelazo, miały tendencję do gromadzenia się w jej środku, co doprowadziło do powstania metalicznego jądra, natomiast pierwiastki lżejsze, np. krzem, tworzyły zewnętrzne warstwy naszej planety. Jej przyciąganie grawitacyjne ściągało z okolicznej przestrzeni pomniejszych okruchy skalne, co powodowało zarówno przyrost masy Ziemi, jak i dalsze podniesienie temperatury jej powierzchni na skutek nieustannych kolizji z tymi okruchami. W końcu jednak kula ziemską zaczęła stygnąć, wypromieniowując w Kosmos energię cieplną. Jej powierzchnia zmieniła stan skupienia z ciekłego na stały, co było równoważne z uformowaniem się skorupy ziemskiej. Przez cały czas roztopiona powierzchnia naszej planety, a po powstaniu skorupy ziemskiej liczne wulkany, uwalniały rozmaite gazy, które tworzyły pierwotną atmosferę. Jeden ze składników tej atmosfery, para wodna, po dalszym ochłodzeniu powierzchni Ziemi zaczął ulegać skraplaniu (kondensacji), w wyniku czego powstały oceany. W tym momencie został już przygotowany odpowiedni grunt dla rodzenia się życia.

W momencie powstawania życia warunki na kuli ziemskiej były odmienne, niż te panujące obecnie. Oceany wykazywały niższy poziom zasolenia. W skład atmosfery, która miała umiarkowanie redukujący charakter, wchodził dwutlenek węgla, azot, para wodna, wodór, amoniak i metan. Brakowało natomiast tlenu oraz, co za tym idzie, warstwy ozonowej. Zabójcze dla życia promieniowanie ultrafioletowe, dzisiaj zatrzymywane przez tę warstwę, mogło wtedy docierać bez przeszkód do powierzchni naszej planety. Aktywność wulkaniczna i tektoniczna (np. trzęsienia ziemi) miała znacznie większe nasilenie, częstsze też były prawdopodobnie wyładowania atmosferyczne. No i oczywiście nie istniała jeszcze ziemska biosfera.

Wydaje się paradoksalne, że warunki te, zdecydowanie nieprzyjazne dla obecnego życia, wtedy właśnie umożliwiły tego życia powstanie. Przede wszystkim, gazy wchodzące w skład atmosfery stanowiły substrat dla abiogennej (nie spowodowanej przez organizmy żywe) syntezy prostych związków organicznych. Mówiąc ogólnie, związki organiczne można określić jako w dużym stopniu zredukowane (zawierające wodór) związki węgla, w których skład może także wchodzić tlen, azot, fosfor, siarka oraz, w mniejszych ilościach, inne pierwiastki. W obecnej atmosferze związki organiczne nie mogłyby powstać, jako że posiada ona silnie utleniający charakter (dużo tlenu, przy praktycznym braku wodoru i jego związków, jeżeli pominiemy pewne ilości pary wodnej). Natomiast pierwotna atmosfera w początkowym okresie istnienia Ziemi zawierała węgiel i azot w formie zredukowanej (jako metan i amoniak), natomiast tlen związany był z węglem w dwutlenek węgla. Dysponowała więc wszystkimi najważniejszymi pierwiastkami niezbędnymi dla powstania związków organicznych, na których oparte jest życie, a także odpowiednimi, umiarkowanie redukującymi właściwościami.

Aby wejść ze sobą w reakcje chemiczne prowadzące do powstawania prostych związków organicznych, gazy składające się na ówczesną atmosferę potrzebowały źródła jakiejś energii, która mogłaby zostać przekształcona w energię odpowiednich wiązań chemicznych. Najprawdopodobniej

energii tej dostarczyło promieniowanie ultrafioletowe oraz wyładowania atmosferyczne, a być może także inne źródła, na przykład wybuchy wulkanów lub rozpad izotopów radioaktywnych. Powstałe na skutek tych czynników związki organiczne opadały do oceanów i ulegały rozpuszczeniu w wodzie. Roztwór ten, zawierający prawdopodobnie przynajmniej niektóre aminokwasy i nukleotydy, cukry proste, węglowodory oraz parę innych związków, ochrzczone na rozmaite obrazowe sposoby, już to jako "bulion pierwotny", już to mianem "zupy Urey'a". Wspomniane monomery ulegały spontanicznej polimeryzacji, tworząc np. krótkie łańcuchy polipeptydowe (białkowe) oraz nici kwasów nukleinowych. Stężenie związków organicznych w ówczesnych morzach było najprawdopodobniej raczej niewielkie. Przypuszczalnie jednak, mogły one często ulegać nawet znacznemu zagęszczeniu, na przykład poprzez okresowe odparowywanie małych zbiorników wodnych lub adsorbcję na różnych minerałach. Umożliwiało to zagęszczenie związków organicznych w stopniu pozwalającym im na wchodzenie we wzajemne interakcje. Niektóre z tych interakcji mogły prowadzić do powstawania struktur o pewnym stopniu zorganizowania. Związki organiczne w ówczesnym okresie były względnie trwałe, brakowało bowiem wówczas dwóch głównych czynników prowadzących dzisiaj do ich szybkiego rozkładu, a mianowicie tlenu i organizmów żywych.

Podsumowując, to co dzisiaj jest dla życia zabójcze, u zarania historii naszej planety umożliwiło tego życia powstanie. Chodzi tu przede wszystkim o atmosferę zawierającą metan i amoniak, brak tlenu i warstwy ozonowej chroniącej przed promieniowaniem UV, dużą aktywność wulkaniczną, a w końcu także brak samego życia. Tłumaczy to, dlaczego życie nie powstaje spontanicznie obecnie - z tych samych mianowicie powodów (brak odpowiednich warunków), dla których my nie moglibyśmy żyć na Ziemi ponad trzy miliardy lat temu. To zatem, co było przyjazne życiu na samym początku, co sprzyjało jego powstaniu, wcale nie musi być takim dzisiaj. Brak tlenu, amoniak i promieniowanie nadfioletowe w pełnej obfitości - zaiste, wyjście na "świeże powietrze" musiało dla naszych najdalszych przodków oznaczać coś zupełnie innego niż dla nas.

Dotychczas wszystko wygląda dosyć jasno, prosto i klarownie (choć nieco ogólnikowo) - możemy wygłaszać twierdzenia podobne do powyższych bez zbytniego narażania się na zarzut, że właściwie nie bardzo wiemy, o czym mówimy. Powstaje jednak zasadnicze pytanie: co dalej?

Tu, mówiąc uczciwie, jesteśmy zdani głównie na spekulacje. Być może nigdy nie poznamy szczegółów procesu powstawania życia na Ziemi. Nie znaczy to jednak, że na ten temat nic się nie da powiedzieć. Wiedząc bowiem, na czym polega życie w dojrzałej fazie swego rozwoju możemy, niejako *ex post*, antycypować pewne właściwości, które powinno ono posiadać u swego zarania. Należy jednakże wziąć poprawkę na margines błędu, jakim są zawsze obarczone tego rodzaju ekstrapolacje i traktować je z należyтым dystansem.

Poczyniwszy niezbędne po temu asekuracje, mogę wreszcie zaryzykować tezę, że powstanie życia polegało na wykształceniu się w mniej więcej jednakowym czasie (ale mowa tu o czasie geologicznym, rzędu tysięcy i milionów lat) jego trzech aspektów - genetycznego, strukturalnego oraz energetycznego.

Aspekt genetyczny najbardziej może się kojarzyć z zaproponowaną wyżej definicją życia w ujęciu cybernetycznym jako zespołu sprzężeń zwrotnych ujemnych pozostającego na usługach

sprężenia zwrotnego dodatniego i dlatego omówię go na pierwszym miejscu. Jednakże, przed spojrzeniem "wstecz", przypomnę pokrótce, na czym polega zapis informacji genetycznej, jego kopiowanie oraz odczytywanie, czyli "przekładanie" tego zapisu na budowę i funkcję organizmu u istniejących obecnie przedstawicieli świata żywego.

U ogromnej większości organizmów zapis genetyczny ma postać sekwencji nukleotydów w podwójnej helisie DNA (kwasu dezoksyrybonukleinowego), składającej się z dwóch owiniętych dookoła siebie nici. Tylko u niektórych wirusów za nośnik informacji genetycznej służy pojedyncza nić DNA albo też RNA (kwas rybonukleinowy). W skład DNA wchodzi cztery rodzaje nukleotydów, różniących się posiadanymi zasadami azotowymi. Zasady te to: adenina, tymina, cytozyna i guanina (w skrócie A, T, C, G). Wszystkie nukleotydy zawierają, oprócz jednej z powyższych zasad, cukier dezoksyrybozę oraz grupę fosforanową. W RNA zamiast T występuje, podobny do niego, U (uracyl), a dezoksyrybozę zastępuje ryboza. W podwójnej helisie DNA naprzeciw danego nukleotydu (konkretnie - jego zasady azotowej) w jednej nici musi leżeć, pasujący do niego przestrzennie, odpowiedni nukleotyd (zasada azotowa) w drugiej nici. Takie pasujące do siebie przestrzennie pary tworzą: A z T oraz C z G. Zatem sekwencji ATGCT na jednej nici odpowiadać będzie sekwencja TACGA - na drugiej. W tym sensie każda z nici w podwójnej helisie DNA stanowi niejako "negatyw" drugiej.

Taki sposób zapisu informacji genetycznej automatycznie sugeruje mechanizm jej kopiowania (za zaproponowanie modelu podwójnej helisy Watson i Crick otrzymali Nagrodę Nobla). Wystarczy bowiem rozdzielić obie nici i do każdej z nich dobudować, wykorzystując zasadę przestrzennego dopasowania nukleotydów, jej własny negatyw. Negatyw taki może być tworzony poprzez kolejne dołączanie do nowo powstającej nici nukleotydów pasujących przestrzennie (komplementarnych) do leżących naprzeciw nich nukleotydów w starej nici. U obecnych organizmów żywych odpowiedzialny za to enzym nazywa się polimerazą DNA. W wyniku takiej operacji powstają dwie helisy identyczne (o ile proces kopiowania był doskonały) z helisą macierzystą. Dokładnie w ten sposób postępują organizmy żywe, kiedy przekazują materiał genetyczny jednej dzielącej się komórki do dwóch komórek potomnych.

Informację genetyczną nie dość skopiować, trzeba ją jeszcze odczytać. Odczytanie informacji genetycznej sprowadza się w zasadzie do produkcji pewnych białek w odpowiednim miejscu, ilości i sekwencji czasowej. To bowiem białka stanowią, jako enzymy i nośniki (cząsteczki przenoszące różne substancje przez błony komórkowe), całą maszynę komórki żywej, odpowiedzialną za syntezę samych białek, innych związków budulcowych (cukrów, lipidów), budowę struktur komórkowych, produkcję energii i związane z tym napędzanie rozmaitych procesów komórkowych, wreszcie - za kopiowanie informacji genetycznej. Inne białka mogą także służyć za budulec (białka strukturalne), funkcjonować jako regulatory odczytu informacji genetycznej, być wydzielane w roli hormonów albo enzymów trawiennych. DNA określa zatem strukturę i funkcję organizmu za pośrednictwem rozmaitych białek, dla produkcji których jest ono matrycą.

Jednakże ciągle bezpośrednio "odczytywanie" oryginalnego egzemplarza informacji genetycznej mogłoby doprowadzić do jego rozmaitych uszkodzeń (wystarczy sobie przypomnieć, co

się dzieje ze zbyt często używaną mapą). Dlatego celowe jest trzymanie takiego planu z dala od reszty metabolizmu, najlepiej za osłoną błony jądrowej, a do syntezy białek wykorzystywać sporządzone wcześniej kopie. Dodatkową zaletę takiego rozwiązania stanowi możliwość sterowania liczbą takich kopii w zależności od potrzeb komórki. Poza tym, nie ma potrzeby kopiowania od razu całego DNA - wystarczy powielić te jego odcinki (zwane genami), które są odpowiedzialne za kodowanie struktury określonych białek (jeden gen koduje jedno białko), na które panuje właśnie zapotrzebowanie.

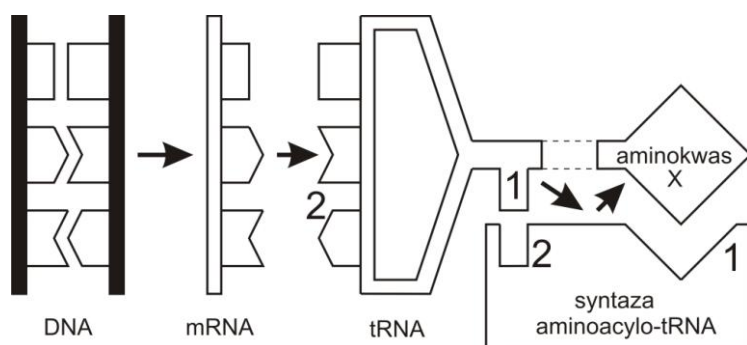
Rolę takich dodatkowych kopii pełni pewien rodzaj RNA, zwany mRNA (od angielskiego 'messenger', czyli, w dowolnym tłumaczeniu, przynoszący informację). Zasada kopiowania sekwencji nukleotydów z DNA na mRNA (proces ten nosi nazwę transkrypcji) jest taka sama, jak zasada powielania (replikacji) DNA - każda cząsteczka mRNA stanowi "negatyw" pewnego odcinka jednej z nici DNA (przed syntezą danego mRNA odpowiedni odcinek podwójnej nici DNA musi wcześniej zostać oczywiście lokalnie rozwinięty, rozdzielony na dwie nici DNA, tak aby jedna z nich mogła posłużyć za matrycę). Jediną, czysto formalną zresztą różnicą jest fakt, że U zastępuje tu T w tworzeniu pary z A. mRNA, w przeciwieństwie do DNA, występuje w formie jednoniciowej.

Jak wspomniałem, zarówno DNA, jak i RNA zbudowane są z czterech nukleotydów ułożonych w różnej kolejności. Białka natomiast, matrycą dla syntezy których jest mRNA, składają się z 20, także ułożonych w różnej kolejności i tworzących jeden łańcuch, aminokwasów. O końcowej budowie białka (tzn. o tym, jak taki łańcuch jest zwinięty i ułożony przestrzennie) i jego funkcji decyduje wyłącznie i jednoznacznie (z niewielkimi wyjątkami) wspomniana sekwencja aminokwasów w łańcuchu białkowym. I ona to właśnie jest zapisana w sekwencji nukleotydów w DNA (oraz, oczywiście, w jego "roboczej kopii", czyli mRNA).

Z przyczyn obiektywnych (nukleotydy są tylko 4, zaś aminokwasów - aż 20) nie może być tak, że w zapisie sekwencji aminokwasów przez sekwencję nukleotydów, jednemu nukleotydowi odpowiada jeden aminokwas. W rzeczywistości wygląda to w ten sposób, że każdemu aminokwasowi przyporządkowana jest sekwencja dokładnie trzech nukleotydów. O tym, jakie trójki nukleotydów (kodony) odpowiadają poszczególnym aminokwasom, mówi tzw. kod genetyczny (za jego rozszyfrowanie także przyznano Nagrodę Nobla). Na przykład sekwencja (kodon) GCU odpowiada aminokwasowi alaninie, zaś AAG - lizynie (sekwencje trójek w kodzie genetycznym odpowiadają sekwencjom w mRNA - odpowiednie sekwencje w "macierzystej" nici DNA są do nich oczywiście komplementarne). Ponieważ liczba kombinacji ułożenia czterech rodzajów nukleotydów w sekwencji trójkowej ( $4^3 = 64$  różnych trójek) jest większa od liczby aminokwasów (20), niektórym aminokwasom przyporządkowanych jest kilka różnych trójek. Dodatkowo, trzy trójki (UAA, UAG, UGA) nie kodują żadnego aminokwasu, lecz stanowią sygnał do zakończenia odczytywania danego fragmentu mRNA i tym samym wskazują, gdzie kończy się zapis sekwencji aminokwasów w białku kodowanym przez gen, którego kopią jest dany odcinek mRNA (są to tak zwane trójki lub kodony nonsensowne).

Powstaje jednak pytanie, w jaki sposób odbywa się przyporządkowywanie różnych aminokwasów odpowiadającym im trójkom. Przy kopiowaniu DNA na DNA lub na RNA przyczyna była czysto fizyczna - przestrzenne dopasowanie do siebie nukleotydów (zasad azotowych) w

parach. Nie istnieje jednak żadna odpowiedniość, żadne "naturalne" przestrzenne dopasowanie pomiędzy strukturą aminokwasów z jednej strony, a trójek nukleotydowych - z drugiej. Organizmy żywe musiały więc stworzyć "protezę" takiego dopasowania. Żeby połączyć dwie rury o różnej średnicy (jedna może mieć przy tym przekrój okrągły, a druga - kwadratowy), często używa się specjalnych łączników o dwóch różnych końcach, odpowiadających wielkością i kształtem przekrojowi łączonych rur. Podobnie postępują organizmy żywe, przy czym dla "połączenia", przyporządkowania danej trójce odpowiadającego jej aminokwasu, używają one aż dwóch "łączników". Są to: białko (enzym) zwane syntazą aminoacylo-tRNA (będę je dalej nazywał SAA-tRNA) oraz drugi rodzaj RNA, a mianowicie tRNA (ang. "transporter", czyli przenoszący), mający postać stosunkowo krótkiego łańcucha zwinętego na kształt liścia koniczyny. Różnych rodzajów zarówno SAA-tRNA, jak i tRNA jest tyle, ile trójek kodujących aminokwasy. Dane SAA-tRNA jednym swoim "końcem" rozpoznaje właściwy aminokwas, natomiast drugim - jeden z "końców" tRNA (słowa "koniec" używam tu w sensie funkcjonalnym, a nie strukturalnym - w białku taki koniec może być w istocie wnęką katalityczną, a w tRNA końce funkcjonalne niekoniecznie pokrywają się z końcami łańcucha; dalej będę stosował ten termin bez cudzysłowu). Drugi koniec tRNA posiada na środkowej pętli (czyli na środkowym "listku koniczyny") trójkę nukleotydów (tzw. antykodon) komplementarną do, czyli będącą "negatywem", trójki kodującej dany aminokwas, czyli kodonu (nie trzeba chyba dodawać, że każdy z rodzajów SAA-tRNA i tRNA ma nieco odmienną strukturę przestrzenną każdego ze swoich "końców", co odpowiada za ich specyficzność). Tu więc "połączenie" (informacyjne) pomiędzy sekwencją trójek nukleotydów w DNA a sekwencją aminokwasów w białku ulega "zamknięciu". Cały "szereg" wygląda następująco: trójka w DNA - trójka w RNA - koniec 2 (trójka) tRNA - koniec 1 tRNA - koniec 2 SAA-tRNA - koniec 1 SAA-tRNA - aminokwas<sup>37</sup>. Jest on przedstawiony na rycinie 2.12. Całość wygląda niewątpliwie na raczej skomplikowaną.



Ryc. 2.12. "Łańcuch" przekazywania informacji genetycznej. Sekwencja trójek nukleotydowych w DNA zostaje "przełożona", poprzez trójki kodonowe w mRNA, trójki antykodonowe w tRNA i odpowiednie syntazy aminoacylo-tRNA, na sekwencję aminokwasów w białku. 1, 2 - "końce" 1 i 2 tRNA oraz syntazy aminoacylo-tRNA.

<sup>37</sup>Cały ten szereg nigdy nie istnieje jako fizyczny twór w jednej chwili czasowej - kolejne etapy przekazywania informacji genetycznej następują po sobie w czasie. W tym sensie analogii z ciągiem zworników pomiędzy dwoma rurami nie można traktować zbyt ściśle.

Zobaczmy teraz, jak opisany wyżej system kodowania wygląda w akcji. Kiedy dany gen (odcinek DNA) dostanie sygnał (za pośrednictwem jakiegoś białka regulatorowego) o zapotrzebowaniu na kodowane przezeń białko, następuje transkrypcja, przepisanie tego genu na komplementarny do niego odcinek mRNA (odpowiada za to enzym zwany polimerazą RNA). Proces ten odbywa się w jądrze komórkowym. Z drugiej strony, w cytoplazmie czekają już cząsteczki tRNA z przyczepionymi na ich końcu 1 odpowiednimi aminokwasami (proces selektywnego przyłączenia aminokwasów do właściwych tRNA katalizuje odpowiednia SAA-tRNA - syntaza aminoacylo-tRNA). Synteza białek zachodzi w dużych kompleksach białkowych, rybosomach, zawierających trzeci rodzaj RNA, zwany rRNA. Nić mRNA jest przesuwana przez środek rybosomu (lub, co jest równoważne, rybosom przesuwa się po tej nici), a do zapisanych na niej kolejnych trójek nukleotydów (kodonów) dołączane są, za pośrednictwem trójek do nich komplementarnych (antykononów) na końcu 2 tRNA, kolejne kompleksy tRNA - aminokwas. Aminokwasy "należące" do następujących po sobie tRNA zostają kolejno połączone w łańcuch (przy czym odłączone tRNA zostają uwolnione i mogą wiązać następne cząsteczki aminokwasów) - sekwencja aminokwasów w tym łańcuchu odpowiada zatem sekwencji cząsteczek tRNA z trójkami (antykononami) komplementarnymi do trójek (kodonów) w mRNA. Po natrafieniu na kodon "nonsensowny", któremu nie odpowiada żaden tRNA, synteza białka zostaje zakończona.

Powyższy opis, chociaż porządnie skomplikowany, jest w istocie rzeczy bardzo uproszczony. W rzeczywistości, każdy z omawianych etapów składa się z szeregu podetapów, katalizowanych przez zespoły rozmaitych enzymów oraz podlega różnorodnej regulacji, mającej na celu powiązać wszystkie procesy składowe w jedną "sensowną" funkcjonalną całość, służącą biologicznym interesom organizmu żywego. Bierze w tym udział ogromna ilość białek regulatorowych, a końcowym efektem ich działalności jest struktura i funkcja danego ustroju, począwszy od komórki bakteryjnej, a skończywszy na tworze tak skomplikowanym, jak organizm człowieka.

W celu rozważenia procesu powstania życia na Ziemi proponuję odwrócić strzałkę czasu i przyjrzeć się, jak kolejne elementy (aspekty) organizmów żywych ulegały stopniowemu uproszczeniu, jak, w miarę "cofania się" procesu ewolucji, malała ich specjalizacja i zróżnicowanie, a w końcu, jak życie "rozplynęło się" w materię nieożywioną. Taki ciąg przemian, który nazwę "antyewolucją", nie mógłby zachodzić w kierunku zgodnym z "normalnym" upływem czasu (nie zaś pod jego prąd), chociażby ze względów termodynamicznych, ale także ponieważ logiczna struktura podstawowych mechanizmów ewolucji, takich jak dobór naturalny, czyni je asymetrycznymi względem czasu. Chodzi mi zatem tylko o wygodny schemat myślowy, a nie o przypisywanie antyewolucji jakiegokolwiek "realnego" istnienia. Pamiętając o tym zastrzeżeniu, spróbujmy prześledzić, w jaki sposób antyewolucja mogłaby realizować swoje "zadanie", to znaczy tak redukować złożoność współczesnych organizmów żywych, "przekształcając" je docelowo w zawiesinę związków organicznych w "bulionie pierwotnym", aby wszystkie stadia pośrednie były możliwe do pomyślenia i całkowicie funkcjonalne.

Wracając do aspektu genetycznego procesu powstawania życia na Ziemi, należy zapytać, czy cały opisany powyżej aparat kopiowania i odczytywania informacji genetycznej mógł powstać

spontanicznie od razu w całej swej złożoności z przypadkowej mieszaniny aminokwasów oraz innych prostych związków organicznych? Pytanie jest oczywiście retoryczne, a odpowiedź - negatywa. Prowokuje ona natychmiast następane pytanie: czy (i jak) system przekazywania i odczytu zapisu genetycznego zdołał uformować się etapami. Problem ten jest daleki od trywialności, albowiem dotyczy funkcjonalności lub po prostu możliwości zaistnienia stadiów przejściowych.

Załóżmy, że budujemy samolot z samochodu (żeby analogia była adekwatna, musimy to robić w czasie jazdy!) dokładając do niego kolejno po części i czekając, aż się wzbije w powietrze. Czy etapem przejściowym w naszej budowie może być samolot z jednym skrzydłem? Oczywiście, nie! Nie tylko, że nie wzlecimy w niebiosa, ale rozbijemy się zawadzając o pierwsze rosnące na poboczu drogi drzewo. Aby więc osiągnąć sukces w naszym przedsięwzięciu, musimy dobudować oba skrzydła i ogon (a także śmigło, odpowiedni silnik i mnóstwo innych urządzeń, np. system sterowniczy) jednocześnie, w jednym kroku. Oznacza to nagły, skokowy wzrost "złożoności" naszego urządzenia. Adekwatne pytanie w kontekście powstawania życia na naszej planecie jest zatem jasne - jeżeli niemożliwe wydaje się powstanie wysoce skomplikowanego systemu od razu, w jednym kroku (teraz omawiam aspekt genetyczny, ale dotyczy to w równej mierze pozostałych aspektów), to czy da się pomyśleć jakieś funkcjonalne stadia pośrednie, pozwalające na osiągnięcie tego samego efektu w wielu krokach? Jeśli nie, to życie nie mogłoby powstać spontanicznie w oparciu o znane nam prawa fizykochemiczne i zaistniałaby konieczność znalezienia innego wytłumaczenia jego genezy<sup>38</sup>.

Stadia pośrednie oznaczałyby w przypadku systemu kopiowania i odczytu informacji genetycznej albo uproszczenie wymienionych wyżej elementów tego systemu, albo redukcji liczby tych elementów, czyli usunięcie niektórych z nich, a najpewniej obie te rzeczy naraz. Możliwość uproszczenia poszczególnych elementów nie budzi chyba specjalnych wątpliwości. Zresztą, sam niejako "wyręczyłem" w tej kwestii proces antyewolucji, redukując wydatnie w moim opisie całą złożoność funkcjonowania systemu genetycznego u współczesnych organizmów. Nie będę się więc tym dalej zajmował. Jak powiedziałem wcześniej, spontaniczne powstanie opisywanego systemu nawet w najprostszej wersji przez czysty przypadek w jednym kroku nie wydaje się możliwe. Jedynym wyjściem pozostaje zatem przypuszczalnie, że u swego zarania system kopiowania i odczytu informacji genetycznej zawierał mniej elementów, niż obecnie.

Jeszcze raz przypomnę w skrócie omawiany łańcuch przekazu informacji genetycznej: DNA - mRNA - tRNA - SAA-tRNA - białko. Na pierwszy rzut oka wydaje się, iż usunięcie któregośkolwiek z ogniw łańcucha doprowadziłoby do zupełnej utraty "sensownej" integralności całego łańcucha, do rozpadu jego funkcji. Wyeliminowanie DNA byłoby równoznaczne z pozbawieniem powyższego systemu uniwersalnego nośnika informacji genetycznej. Omawiane "łączniki" (tRNA, SAA-tRNA, a także mRNA) nie miałyby w tej sytuacji czego "przekładać" na sekwencję aminokwasów w białku. Brak białek oznaczałby nieobecność enzymów, a co za tym idzie, całości metabolizmu będącego

---

<sup>38</sup>W istocie, argument mówiący z jednej strony o niemożliwości spontanicznego powstania życia w całej jego złożoności, z drugiej zaś - o nieistnieniu możliwych do pomyślenia stadiów pośrednich, jest dosyć powszechnie stosowany przez przeciwników spontanicznej biogenezy, oraz procesu ewolucji w ogóle.

podstawą funkcjonowania istot żywych. W istocie, produkcja białek stanowi "cel" całego systemu, a więc jej utrata odejmuje automatycznie jakikolwiek sens pozostałej reszcie. Usunięcie natomiast któregokolwiek z pośredniczących w odczycie zapisu genetycznego "łączników" spowodowałoby przerwanie ciągłości strumienia przekazu informacji z DNA do białek. Przy braku tRNA, na przykład, SAA-tRNA nie miałyby "czym" rozpoznać odpowiedniej trójki kodonowej na mRNA - przecież struktura przestrzenna jego końca 2 pasuje do końca 1 odpowiedniego tRNA, a nie do "struktury" kodonu. Wystarczy zresztą wyobrazić sobie usunięcie jednego z ciągu łączników pomiędzy rurami (zakładamy, iż nie ma dwóch łączników identycznych co do kształtu i średnicy przekroju obu ich końców), aby zrozumieć, na czym polega problem. Jeżeli łącznik taki miał dwa różne końce (a na tym przecież polega natura łącznika), to wolne końce na lewo i na prawo od łącznika nie będą do siebie pasować.

Można jednak próbować sobie wyobrazić możliwe sposoby obejścia powyższego problemu (co nie znaczy, że otrzymane wnioski muszą koniecznie odpowiadać dokładnie temu, co kiedyś miało miejsce w rzeczywistości). Założę więc, że system genetyczny mógłby funkcjonować nawet po usunięciu niektórych jego elementów. W końcu fakt, że istniejemy świadczy o tym, że proces antyewolucji jakoś dałby sobie radę z redukcją tego systemu. Spróbuję teraz przeanalizować dwie takie możliwości.

Po pierwsze: czy DNA jest rzeczywiście całkowicie niezbędny do zapisu informacji genetycznej? Nie, i nie jest to spekulacja - niektóre wirusy używają do tego celu RNA. Narzuca się więc koncepcja, że pierwotne pra-organizmy mogły używać tego, co dzisiaj nazywamy mRNA, w dwojakich celach: jako "matrycę" do syntezy białek i jako nośnik informacji genetycznej. Dopiero później ustroje żywe "nauczyły się" wykorzystywać w tym drugim celu DNA z przyczyn podanych kilka akapitów wyżej: ze względu na większą trwałość takiego zapisu oraz możliwość regulacji ekspresji genów na poziomie transkrypcji ("przepisywania" sekwencji nukleotydów z DNA na mRNA). Istniejący do dziś enzym zwany odwrotną transkryptazą i katalizujący "przepisywanie" sekwencji nukleotydów w "odwrotnym kierunku", czyli z RNA na DNA, może być "żywą skamieniałością" z tych zamierzchłych czasów. Nie wiadomo, czy tak było, ale w zasadzie nie istnieje konieczność, aby DNA musiało być składnikiem pierwszych systemów genetycznych. Skraca to nasz łańcuch o jedno ogniwo.

Można także spekulować nad białkiem SAA-tRNA. Dzisiaj jego nieobecność uniemożliwiłaby "rozpoznawanie" i wiązanie przez tRNA odpowiedniego aminokwasu. Ale nie zawsze musiało tak być. tRNA ma dosyć skomplikowaną strukturę przestrzenną i kiedyś mógł posiadać fragment bezpośrednio rozpoznający "przynależny" mu aminokwas na zasadzie dopasowania przestrzennego. Protoplasta SAA-tRNA natomiast (pamiętajmy, iż mamy do czynienia z enzymem) mógł pojawić nieco później i początkowo występować tylko w jednej formie, wspólnej dla wszystkich rodzajów tRNA. Jego rolą w takim przypadku byłaby tylko kataliza, przyspieszanie spontanicznie zachodzącego wiązania pomiędzy konkretnym aminokwasem i danym rodzajem tRNA, nie zaś przyporządkowywanie sobie odpowiednich rodzajów tych związków. Dopiero później, kiedy powstały różne rodzaje SAA-tRNA i przejęły funkcję selektywnego rozpoznawania odpowiadających sobie



aminokwasów i tRNA, z funkcji tej zostało zwolnione samo tRNA, na którym fragment odpowiadający strukturalnie wybranemu aminokwasowi został przez ewolucję usunięty jako już niepotrzebny ("wyeksponowany" natomiast został fragment rozpoznawany selektywnie przez odpowiednią SAA-tRNA). Znowu więc nie ma potrzeby przyjmowania, że SAA-tRNA stanowiła składnik systemów genetycznych od samego początku ich istnienia - możliwe jest do pomyślenia funkcjonowanie tych systemów bez jej udziału.

Redukcja ilości podstawowych elementów systemu genetycznego współczesnych organizmów jest więc, przynajmniej w zasadzie (z logicznego punktu widzenia), dopuszczalna. Być może nigdy nie dowiemy się, jaką drogą posłużyła się w tym celu ewolucja (lub jaką posłużyłaby się antyewolucja). Jednakże szermowanie przez niektórych przeciwników ewolucji i spontanicznej biogenezy argumentem o skrajnym nieprawdopodobieństwie samoistnego powstania tworu tak skomplikowanego jak życie, wydaje się nieuprawnione. Życie nie musiało po prostu zaczynać swej egzystencji od stadium tak wysoko zorganizowanego, jak to ma miejsce obecnie.

Po - dokonanej przy użyciu swoistej brzytwy Ockhama (nie mnożyć elementów koniecznych do powstania życia ponad konieczność) - redukcji składników pierwotnego systemu genetycznego, pozostał nam układ: mRNA - tRNA - białko. Dalsze uproszczenie tego systemu, o ile ma on nadal pozostać samopowielającym się i ewoluującym systemem żywym, wydaje się już być niemożliwe. Mamy tu absolutne minimum: sekwencję aminokwasów w białku, która stanowi o funkcjonalnej przydatności tego białka, zapis tej sekwencji w RNA (pre-mRNA), który może być przekazywany organizmom potomnym oraz "klucz" do kodu genetycznego, "przekładający" drugą z tych sekwencji na pierwszą, czyli występujące w ilości rodzajów odpowiadającej liczbie trójek kodonowych - tRNA. Do tego jedno proste białko ułatwiające kopiowanie RNA oraz inne białko łączące ze sobą aminokwasy w łańcuch białkowy (w najprostszej wersji mogło to wyglądać tak, że do nici mRNA przyczepiały się w miejscach odpowiednich kodonów różne tRNA z przyłączonymi aminokwasami, które potem, w takiej sekwencji jak leżały, były łączone w szereg). Układ taki wydaje się już możliwy do spontanicznego utworzenia przez procesy fizykochemiczne zachodzące przez miliony (w istocie - setki milionów) lat w mieszaninie prostych związków organicznych rozpuszczonych we wszystkich praktycznie wodach na ówczesnej Ziemi. Na początku zresztą mógł być on jeszcze znacznie prostszy, to znaczy zawierać mniej, niż obecnie aminokwasów oraz posiadać nie trójki, lecz dwójki nukleotydów kodujące jeden aminokwas, poprzedzielane pojedynczymi, nie biorącymi udziału w kodowaniu nukleotydami. Za tą hipotezą przemawia fakt, że w obecnym kodzie genetycznym zmiana nukleotydu na trzecim miejscu w trójce kodonowej często nie prowadzi do zmiany kodowanego aminokwasu. Ponieważ ilość możliwych trójek, w których każdą z pozycji może zajmować jeden z czterech nukleotydów (liczba możliwych kombinacji wynosi 64) jest znacznie większa, niż liczba aminokwasów (20), niektóre z tych ostatnich są "zakodowane" przez dwie, cztery lub nawet sześć trójek! Można więc sobie łatwo wyobrazić, że na początku zamiast 64 trójek było 16 ( $4^2$ ) dwójek i taka też, lub nieco mniejsza, liczba kodowanych aminokwasów. Kod genetyczny nie musiał zatem powstać od razu w swojej ostatecznej postaci. Taka ewentualność mogłaby stanowić jedno z możliwych wytłumaczeń pewnych wyjątków od uniwersalności kodu genetycznego, to znaczy faktu,

że w niektórych (bardzo nielicznych zresztą) przypadkach te same trójki kodują odmienne aminokwasy.

Tak czy owak, system genetyczny najprostszych organizmów żywych składał się najprawdopodobniej z białek oraz kwasów nukleinowych (należy do nich DNA i RNA). Spróbuję teraz odpowiedzieć na pytanie, dlaczego w skład pierwszych samopowielających się układów wchodziły oba te rodzaje związków, a nie, na przykład, tylko białka lub tylko kwasy nukleinowe.

Wspomniałem powyżej, że nadrzędny cel życia jest równoważny z utrzymywaniem potencjału ekspansji, będącego wynikiem sprzężenia zwrotnego dodatniego. Jest to wyrazem faktu rozmnażania organizmów żywych, czyli powielania kopii samych siebie. Jednakże, rozważając powstawanie życia, zajmujemy się układami chemicznymi, które jeszcze nie są "ożywione". Przykładem sprzężenia zwrotnego dodatniego w chemii jest, wspomniane już wcześniej, zjawisko autokatalizy (porównaj rycina 2.2), w którym jakaś cząsteczka katalizuje powstawanie (kopii) samej siebie. Dlatego mówiąc o powielaniu się układów złożonych z białek oraz/albo kwasów nukleinowych, używa się raczej terminu "autokataliza".

Dlaczego zatem powstały układy autokatalityczne składające się z białek i kwasów nukleinowych, a nie tylko z jednego z tych składników? Białka, do których należą przecież wszystkie enzymy, z reguły są efektywnymi katalizatorami. Nawet sztuczne łańcuchy białkowe o przypadkowej sekwencji nukleotydów potrafią niejednokrotnie wydatnie przyspieszyć szybkość różnych reakcji, choć ich specyficzność i efektywność jest oczywiście o wiele mniejsza, niż "profesjonalnych" enzymów. W "bulionie pierwotnym" mogły zapewne zupełnie przypadkowo, poprzez losowe łączenie się różnych aminokwasów, powstać (i prawdopodobnie wielokrotnie powstały) krótkie łańcuchy białkowe, wykazujące jakąś aktywność katalityczną w kierunku łączenia wolnych aminokwasów w krótkie łańcuchy białkowe. Wiele spośród nowo powstałych łańcuchów potrafiłoby katalizować powstawanie innych takich łańcuchów, one zaś z kolei... - ten scenariusz już znamy. Opisany cykl autokatalityczny (prowadzący do powstawania własnych kopii) jest typowym przykładem sprzężenia zwrotnego dodatniego. Czy więc, jako taki, mógł on stanowić pierwociny życia?

Wszystko wskazuje na to, że nie. Dlaczego? Bo opisany początek ewolucji takiego cyklu jest zarazem jej końcem - nie będzie on (ten cykl) nigdy zdolny do produkcji czegokolwiek ponad łańcuchy białkowe o przypadkowej sekwencji aminokwasów. Nawet jeżeli wskutek losowego wbudowania takich a nie innych aminokwasów w takiej, a nie innej sekwencji, jakiś łańcuch białkowy okaże się znacznie lepszy, sprawniejszy (na przykład w szybkości katalizy) od innych, to i tak nie przekaże on tej cechy swemu "potomstwu", czyli zsyntetyzowanym przez siebie łańcuchom białkowym, które, tak jak łańcuchy potomne innych łańcuchów białkowych, będą się składały z ułożonych w przypadkowej sekwencji aminokwasów. Białka w cyklu autokatalitycznym nie mają zatem możliwości przekazywania swojej "identyczności" (tożsamości) molekułom potomnym.

Inaczej sprawy się mają w przypadku cykli autokatalitycznych kwasów nukleinowych. Jak pamiętamy, na skutek przestrzennego dopasowania nukleotydów w parach leżących naprzeciw siebie w nici "rodzicielskiej" i "potomnej", ta druga jest negatywem tej pierwszej. Negatyw negatywu daje oczywiście pozytyw, a więc "potomstwo" nici potomnej jest identyczne z nicią pierwotną.

Używając terminologii bardziej familiarnej, w świecie nici kwasów nukleinowych "córka" jest komplementarna do "matki", natomiast "wnuczka" jest identyczna z "babką". Z powyższego wynika, że nici kwasów nukleinowych mogą przekazywać swoją identyczność (tożsamość) niciom potomnym z wiernością ograniczoną jedynie dokładnością kopiowania. Pod tym względem kwasy nukleinowe wydają się zatem idealnym materiałem dla ewolucji i powstania życia.

Kiedy jednak przyrzeć się temu bliżej, sytuacja nie wygląda tak różowo. Powielanie kwasów nukleinowych poprzez dobudowywanie nici komplementarnej może zachodzić spontanicznie, bez udziału enzymów, w roztworze zawierającym wolne nukleotydy. Proces ten jest jednak wolny, mało wydajny i pozwala na kopiowanie tylko stosunkowo krótkich łańcuchów. Poza laboratorium, w którym stwarza się dla takich reakcji "cieplarniane" warunki, samonamnażające się nici kwasów nukleinowych byłyby narażone na zniszczenie przez rozmaite czynniki fizyczne i chemiczne. Zachodziłby więc swoisty wyścig pomiędzy produkcją nowych nici w cyklu autokatalitycznym i rozpadem nici istniejących pod wpływem czynników środowiskowych. Z tego, co wiemy, kwasy nukleinowe stałyby w tym wyścigu na z góry przegranej pozycji - degradacja istniejących nici byłaby szybsza, niż powstawanie nowych<sup>39</sup>. Dodatkowym, wielce istotnym czynnikiem jest ograniczona dokładność, z jaką ulegają spontanicznemu powielaniu łańcuchy kwasów nukleinowych. Prowadzi ona do tego, że jedynie niewielka część "potomstwa" nawet krótkich łańcuchów będzie identyczna z łańcuchem macierzystym. W przypadku łańcuchów dłuższych szansa na dokładne powielenie sekwencji nukleotydów będzie znikoma. Okazuje się zatem, że same kwasy nukleinowe, tak jak same białka, nie są w stanie przekazać molekułom potomnym swojej tożsamości w sposób wystarczająco efektywny. Podstawową rolę ciągłości tożsamości w czasie dla procesu ewolucji podkreślałem już wielokrotnie.

Zatem cykle autokatalityczne kwasów nukleinowych także (podobnie jak analogiczne cykle białkowe) nie są zdolne do wytworzenia życia i do procesu ewolucji. Natomiast zdolność taką przejawiają, nazwane tak przez Eigena, hipercykle białek i kwasów nukleinowych. W cyklu białko katalizuje powstawanie białka, a kwas - kwasu. W hipercyklu natomiast ma miejsce swoista współpraca: białko katalizuje powielenie nici kwasu nukleinowego, na którym ono samo jest zakodowane, nić zaś służy za matrycę do produkcji tegoż białka! Ten zatem, pierwszy chyba w historii życia na Ziemi przypadek "symbiozy" (ale proszę to określenie traktować w przenośni), zaowocował układem zdolnym do samopowielania i ewolucji, a więc do życia. Kwasy nukleinowe wniosły do tego układu możliwość zachowania i powielania jego identyczności "osobniczej", natomiast białka - efektywny mechanizm wykonawczy dla realizacji tego celu (zdolności katalityczne). Całe hipercykle zyskały zdolność efektywnego powielania i przekazywania hipercykłom potomnym swojej tożsamości.

O ile można zgodzić się, że moment powstania życia jest tożsamy z zaistnieniem pierwszego hipercyklu (co zresztą za chwilę postaram się przedyskutować w ramach paradygmatu

---

<sup>39</sup>Dodatkowo, jeżeli kopiowana nić byłaby zbyt długa, to nić potomna mogłaby zdążyć oddysocjować od niej przed ukończeniem powielania.

cybernetycznego), to nie znaczy, że nic nie istniało "przedtem". Odkryte ostatnio cząsteczki RNA o pewnych zdolnościach katalitycznych (tzw. rybozymy) doprowadziły do sugestii, że autokatalityczne cykle RNA poprzedziły hipercykle białek i kwasów nukleinowych w historii życia. Hipoteza ta stała się ostatnio bardzo modna, jak to często dzieje się z hipotezami "na fali" świeżo dokonanego odkrycia naukowego. Sądzę jednak, że moda ta stosunkowo szybko przeminie. Po pierwsze, aktywność katalityczna rybozymów jest mało efektywna i ograniczona do bardzo wąskiego zestawu reakcji. Po drugie, zagadką nadal pozostaje, jak do "współpracy" z RNA wciągnięte zostały białka. Jeżeli jednak mimo wszystko (co jest nadal wysoce problematyczne) cykle autokatalityczne kwasów nukleinowych rzeczywiście poprzedziły hipercykle RNA i białek, to zostały one z powodzeniem zastąpione przez te ostatnie, jako że białka są znacznie efektywniejszymi katalizatorami, niż RNA.

Równie dobrze można sugerować (i jestem skłonny sympatyzować raczej z tym punktem widzenia), że etapem wcześniejszym były wspomniane wyżej cykle białkowe. Powstające w ich wyniku białka o przypadkowej sekwencji aminokwasów mogły z pewnością katalizować wiele rozmaitych reakcji, a nie tylko (ani nawet przede wszystkim) łączenie wolnych aminokwasów, czyli produkcję następných łańcuchów białkowych o przypadkowej sekwencji (będę określał taki "wielofunkcyjny" zespół białek o przypadkowej sekwencji aminokwasów jako "polikatalon")<sup>40</sup>. Jedną z owych "nadmiarowych" funkcji katalitycznych mogła okazać się polimeryzacja obecnych w roztworze nukleotydów w nici kwasów nukleinowych komplementarne do już istniejących nici. Byłoby to ważnym krokiem pośrednim w drodze do utworzenia hipercykli. Po ich powstaniu, polikatalon mógł być także stadium wyjściowym dla wszelkich rodzajów (zaawansowanej) aktywności katalitycznej, kiedy to funkcje poszczególnych białek ulegały w trakcie dalszej ewolucji ulepszeniu i specjalizacji.

Zresztą, wspomniane powyżej scenariusze nie muszą koniecznie wykluczać się wzajemnie - być może najrozsądniej jest przyjąć, że cykle autokatalityczne zarówno białek, jak i RNA istniały niezależnie, zanim uległy połączeniu w hipercykle białek i kwasów nukleinowych. Wydaje się zresztą prawdopodobne, że prymitywne łańcuchy białkowe już od samego początku "wspomagały katalitycznie" namnażające się nici RNA (zanim jeszcze zaczęły być przez te nici kodowane), współistniejące z nimi w obrębie tworów podobnych do koacerwatów (omawianych niżej pęcherzyków złożonych ze związków organicznych, zdolnych do wzrostu i podziału). RNA (a także wolne nukleotydy) mogło się gromadzić we wnętrzu koacerwatów z przyczyn czysto fizycznych (lepsza rozpuszczalność w tych ostatnich, niż w wodzie), gdzie dodatkowo panowało środowisko sprzyjające namnażaniu RNA w wyniku niespecyficznego aktywności katalitycznej białek. W takim wypadku przez jakiś czas cykle autokatalityczne białek i kwasów nukleinowych współistniałyby niezależnie od siebie w obrębie koacerwatów, dopóki nie doszło do kodowania białek przez RNA, a więc powstania hipercykli. Koacerwaty mogły nie tylko stanowić "przodka" pierwotnej komórki w aspekcie

---

<sup>40</sup>Eksperymentalną przesłankę o możliwości samoistnego powstania łańcuchów białka o przypadkowej sekwencji aminokwasów i niespecyficznego aktywności enzymatycznej stanowią tzw. protenoidy, otrzymane przez Fox'a na drodze poddawania mieszaniny aminokwasów działaniu wysokich temperatur. Rozpuszczone w wodzie protenoidy tworzyły agregację zwane mikrosferami. Mikrosfery wykazują zdolność do odpączkowywania mikrosfer "potomnych" i do dosyć różnorodnej działalności enzymatycznej.

strukturalnym, ale także doprowadzić do zawarcia bliższej "znajomości" pomiędzy białkami i kwasami nukleinowymi. Możliwość czysto fizycznej roli (jako czynnika organizującego przestrzennie) tworów podobnych koacerwatom w utworzeniu hipercykli wydaje się być powszechnie niedoceniona - wspomnę o niej jeszcze podczas omawiania genezy strukturalnego aspektu życia.

Tak czy owak, powstanie hipercykli nie musiało nastąpić od razu, w jednym kroku, co ponownie wspiera tezę o stopniowym wyłanianiu się życia z materii nieożywionej.

Omawiając powstanie hipercykli, należy pamiętać o konieczności istnienia w funkcjonalnym aparacie genetycznym nie tylko zapisu genetycznego (kwasy nukleinowe) oraz kodowanej przezeń maszynerii metabolicznej (enzymy), ale także "łącznika" pomiędzy nimi, czyli dyskutowanego wcześniej tRNA. Albowiem, minimalny możliwy efektywny system autokatalityczny zdolny do dziedziczenia tożsamości musi składać się z trzech, a nie z dwóch części. Trzecia część, czyli rzeczony łącznik, powinien zawierać ustalony w sposób umowny (a więc pierwotnie przypadkowy, arbitralny) rodzaj jednoznacznego przyporządkowania informacji w zapisie genetycznym i informacji w strukturze "czynników wykonawczych", a więc w tym przypadku, odpowiednio - sekwencji nukleotydów i sekwencji białek. Przynależność rozmaitych trójek kodonowych poszczególnym aminokwasom, dziś bezapelacyjnie uniwersalna w całym świecie żywym (z pewnymi, bardzo nielicznymi wyjątkami), w momencie swego powstawania była zjawiskiem losowym, jako że nie ma żadnej odpowiedniości pomiędzy strukturą przestrzenną danego aminokwasu i odpowiadającej mu trójki kodonowej<sup>41</sup>. Tylko zatem ciągłość istnienia informacji o strukturze poszczególnych rodzajów tRNA (obecnie jest ona zakodowana w DNA) może zapewnić "sensowność" informacji genetycznej. Jeżeli więc odpowiedniość różnych sekwencji nukleotydów w trójkach kodonowych oraz poszczególnych aminokwasów nazywamy kodem genetycznym, to wspomniany łącznik, tRNA, jest do tego kodu kluczem. Bez tego klucza jakkolwiek "komunikacja" pomiędzy białkami i potencjalnie kodującymi je kwasami nukleinowymi byłaby niemożliwa i musiałyby one istnieć jako dwa izolowane układy. Konieczność powstania owego łącznika pomiędzy pra-mRNA i białkami jeszcze bardziej uprawdopodobnia postawioną wyżej tezę o współegzystencji cykli autokatalitycznych białek i RNA, zanim doszło do powstania hipercykli, w ograniczonej objętości wnętrza tworów koacerwatopodobnych, gdzie panowały sprzyjające warunki fizykochemiczne. Dało to możliwość odpowiednio dużego zagęszczenia RNA i białek (a także nukleotydów i aminokwasów) oraz ochronę przed destrukcyjnymi wpływami środowiska i tym samym wystarczająco długi czas na powstanie hipercykli. Koacerwaty złożone z intensywnie namnażających się białek i kwasów nukleinowych (na takie efektywne namnażanie pozwalają właśnie hipercykle) szybciej rosły się i ulegały podziałom, co zapewniało im "przewagę selekcyjną" nad innymi koacerwatami w rywalizacji o aminokwasy i nukleotydy rozpuszczone w "bulionie pierwotnym". A to oznaczało już pierwociny życia i ewolucji.

---

<sup>41</sup>Podobnie, nie ma żadnego powodu, aby koń nazywał się "koń" (zresztą w innych językach nazywa się zupełnie inaczej), jako że słowo to nijak nie ozwierciedla, dla kogoś nie znającego języka polskiego, kształtu lub barwy konia, ani żadnej innej jego "obiektywnej" cechy. W tym sensie, zarówno język etniczny, jak i genetyczny, są umowne. O ile jednak języków etnicznych znamy wiele, to kod genetyczny - tylko jeden).

Z połączenia, diskutowanych wyżej, umowności oraz uniwersalności kodu genetycznego wynika jedna, niezmiernie fascynująca konkluzja - wszystkie żyjące na Ziemi organizmy pochodzą od jednego wspólnego przodka. Należy rozumieć to jak najbardziej dosłownie: jeżeli wzięlibyśmy dowolnego osobnika dżdżownicy, biedronki czy też glona i prześledzili ciąg jego przodków, cofając się miliony i miliardy lat wstecz, oraz to samo uczynili z ciągiem swoich własnych przodków (powiedzmy, w linii męskiej), to w pewnym momencie te ciągi spotkałyby się i dalej podążały w przeszłość już jako jeden ciąg. Na zejściu się tych ciągów znajdowałby się właśnie ów wspólny przodek, zupełnie niepodobny jeszcze ani do dżdżownicy, ani do człowieka. Oczywiście inny byłby wspólny przodek dla człowieka i dżdżownicy, a inny dla człowieka i glona - ewolucyjne drogi człowieka i glona rozeszły się z pewnością wcześniej. Wspólny przodek wszystkich żyjących organizmów był zapewne czymś znacznie bardziej skomplikowanym, niż prosty hipercykl - świadczy o tym wspomniane powyżej podobieństwo biochemiczne wszystkich żyjących organizmów.

Ale skąd właściwie wziął się ten wniosek o wspólnym pochodzeniu? Czy przodkowie dzisiejszych, powiedzmy, bakterii, roślin i zwierząt nie mogli mimo wszystko powstać z materii nieożywionej niezależnie, a ich biochemiczne podobieństwo wynikać z podobieństwa jakichś podstawowych zjawisk fizykochemicznych, które dały początek wszystkim tym organizmom? Otóż taką możliwość należy bezwzględnie wykluczyć. Jak wspomniałem, kod genetyczny jest uniwersalny, a więc wspólny (z bardzo nielicznymi drobnymi modyfikacjami) dla wszystkich organizmów na kuli ziemskiej. Jest on także umowny, jego postać nie wynika z żadnych przyczyn czy predyspozycji fizykochemicznych, ale po prostu z przypadku. Owa "umowa" jest tożsama z ciągłością istnienia w czasie (informacji o budowie) klucza do tego kodu, czyli kilkudziesięciu różnych cząsteczek tRNA (oraz SAA-tRNA) lub, innymi słowy, przyporządkowania różnym aminokwasom odpowiednich trójek kodonowych. Ilość możliwych kombinacji przyporządkowania różnych kodonów różnym aminokwasom, a więc po prostu ilość możliwych kodów genetycznych, jest liczbą prawdziwie astronomiczną. Należy przypuszczać, iż wszystkie takie kody, lub przynajmniej większość z nich, miałyby podobną sprawność funkcjonalną (podobnie, nie zmieniłoby sprawności języka polskiego, jeżeliby zamienić w nim oznaczenie litery "a" z oznaczeniem litery "e"). Znany nam kod nie jest zatem w żaden sposób uprzywilejowany w stosunku do wszystkich innych, które miały taką samą szansę powstać, jak on. Z drugiej strony, prawdopodobieństwo dwu- lub kilkukrotnego powstania w sposób niezależny dokładnie tego samego kodu przez czysty przypadek jest ekstremalnie niskie. Prowadzi to do wniosku o pochodzeniu całego życia od wspólnego przodka, który posiadał już kod genetyczny w jego obecnej postaci. Nie oznacza to, że różne formy życia, posiadające odmienne kody genetyczne, nie mogły powstawać wielokrotnie we wczesnych okresach istnienia Ziemi. Jeżeli jednak nawet tak się stało, to do czasów obecnych dotrwała tylko jedna z nich, ta, do której i my należymy.

Zdażyłem już zauważyć powyżej, że życie "wyłoniło się" z materii nieożywionej w momencie powstania pierwszych hipercykli. Teraz chciałbym pokazać, jak wniosek ten wynika z cybernetycznej definicji istoty życia, zaprezentowanej w poprzednim podrozdziale. Przypomnę, że wedle tej definicji życie to system sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujących nadrzędne sprzężenie zwrotne

dotąd, wyrażające się potencjałem ekspansji tożsamości tego systemu. Dlaczego zatem hipercykle już spełniają powyższe kryterium cybernetyczne, podczas gdy cykle autokatalityczne białek i kwasów nukleinowych jeszcze mu nie podlegają?

Po pierwsze, jak było to już dyskutowane, same białka lub kwasy nukleinowe nie są w stanie efektywnie dziedziczyć swojej tożsamości. Nie posiadają one bowiem żadnych mechanizmów, czyli sprzężeń zwrotnych ujemnych, pozwalających na "optymalizację" owego naczelnego parametru, jakim jest tożsamość. W hipercyklach sytuacja jest odmienna: białka utrzymują tożsamość kwasów nukleinowych w kolejnych pokoleniach poprzez katalizowanie ich dokładnego powielania, natomiast kwasy nukleinowe utrzymują tożsamość białek poprzez kodowanie tych ostatnich. W rezultacie, tożsamość całego systemu zostaje zachowana. Wpływy otoczenia zaburzające regulowany parametr (tożsamość) poprzez powodowanie błędów w dokładnym kopiowaniu nici RNA były kompensowane poprzez selekcję i wynikającą z niej eliminację hipercykli z niekorzystnymi "mutacjami" w RNA. W hipercyklach takich RNA o zmienionej sekwencji kodowało "wadliwe" białko (białka?), o wiele mniej skuteczne w efektywnym powielaniu nici kwasu nukleinowego i/lub syntezy samego siebie w oparciu o sekwencję nukleotydów w RNA. Koacerwat zawierający takie hipercykle wolniej rósł i rozmnażał się, a zatem przegrywał rywalizację z innymi koacerwatami o wolne aminokwasy i nukleotydy obecne w środowisku<sup>42</sup>. "Dobór naturalny" hipercykli odbywał się więc na poziomie koacerwatów, a nie, jak w oryginalnej koncepcji Eigena, na poziomie pojedynczych hipercykli. Oczywiście, w wyniku o wiele mniej prawdopodobnej mutacji korzystnej (przypadkowa zmiana w skomplikowanym układzie może go o wiele łatwiej zepsuć, niż usprawnić), pojawiłby się jeszcze skuteczniejszy hipercykl, z jeszcze wyższym potencjałem ekspansji swojej własnej tożsamości. Tak zatem pierwsze sprzężenie zwrotne ujemne, optymalizujące przetrwanie i rozprzestrzenianie danej tożsamości (ściślej: jej ciągłości w czasie) było nierozzerwalnie związane z doborem naturalnym, czyli ewolucją<sup>43</sup>. "Pętla sterowania" optymalizowała (utrzymywała) tutaj tożsamość najlepszą z obecnych, zdolną do maksymalnie szybkiego samo-powielania. Podmiotem tej ewolucji były przy tym nie pojedyncze hipercykle, lecz koacerwaty, mogące zawierać kilka wzajemnie "wspomagających się" hipercykli. Białko jednego z hipercykli mogło na przykład skuteczniej katalizować kopiowanie nici RNA, a białko drugiego - proces kodowania i syntezy białek. Koacerwaty zawierające tego rodzaju "super-hipercykle" można już, jako zdolne do dalszej ewolucji, spokojnie uznać za pierwsze organizmy żywe. A ponieważ spontaniczne powstanie, w wyniku prostych procesów fizykochemicznych, koacerwatów zawierających cykle autokatalityczne białek i kwasów nukleinowych<sup>44</sup> wydaje się procesem co najmniej prawdopodobnym (a być może koniecznym w warunkach panujących na Ziemi 4 miliardy lat temu), pojawienie się życia

<sup>42</sup>Mogły one pochodzić z omówionej wcześniej abiogennej syntezy związków organicznych lub też rozpadu niektórych z koacerwatów. "Presja selekcyjna" dotyczyła zapewne nie tylko szybkości wzrostu i podziału, ale także trwałości w danym środowisku koacerwatów zawierających takie, a nie inne hipercykle.

<sup>43</sup>Potem dopiero pojawiły się "typowe" sprzężenia zwrotne ujemne, działające w obrębie danego układu, a nie "pomiędzy" układami.

<sup>44</sup>Przy czym na początku to tylko białka "obsługiwały" katalitycznie kwasy nukleinowe, które nie "odwzajemniały im się jeszcze kodowaniem.

wymagało jedynie wykształcenia jakichś zaczątków kodu genetycznego. Potem wszystko poszło już jak z płatka - powstałe systemy stały się zdolne do rozmnażania (powielania swojej tożsamości) i ewolucji, a zatem do samokomplikacji z pokolenia na pokolenie. Powstanie organizmów tak złożonych, jak np. koń, stało się już tylko kwestią czasu. Zaprawdę, aż dziw bierze, jak niewiele potrzeba było, aby życie pojawiło się na naszej planecie.

Wraz z powstaniem życia doszło w pewnym sensie do wyłonienia się nowego, biologicznego poziomu rzeczywistości. Wyznacznikiem, odróżniającym go od poziomu fizycznego, jest rodzaj konstytuujących go "celów" czy "sensów", zdefiniowanych jako pewien (wielokrotnie już przeze mnie charakteryzowany) zespół mechanizmów cybernetycznych. Trzy istotne cechy, nieobecne u nieożywionych obiektów fizycznych, charakteryzują biologiczne osobniki cybernetyczne, czyli ewoluony.

Po pierwsze, tożsamość takich osobników wykazuje autonakierowanie na samą siebie, swoje przetrwanie i ekspansję. Składający się na tę tożsamość system sprzężeń zwrotnych ujemnych ma na celu jedynie kontynuowanie swego własnego istnienia, realizowane poprzez produkcję podobnych sobie systemów mechanizmów regulacyjnych.

Po drugie, funkcjonalną "substancją" organizmów żywych jest relatywna sieć współzależności pomiędzy poszczególnymi sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi, w której sens, "znaczenie" danego sprzężenia określone jest przez "kontekst" innych, współdziałających z nim sprzężeń. W ostatniej instancji, "cel" każdego sprzężenia zwrotnego ujemnego jest zrelatywizowany w stosunku do całej sieci sprzężeń (mechanizmów regulacyjnych). Warunkowanie "znaczenia" poszczególnych mechanizmów odbywa się zatem na drodze konotacji ("współdefiniowania").

Po trzecie wreszcie, dyskutowana sieć zależności pomiędzy sprzężeniami zwrotnymi ujemnymi stanowi swego rodzaju "teorię" organizmu żywego na temat otaczającego go świata. Teoria ta, czyli obraz świata "wdrukowany" w sieć mechanizmów regulujących, odpowiedzialnych za odpowiedź organizmów na rozmaite cechy tego świata, w swej istocie nie jest "abstrakcyjna", lecz czysto "pragmatyczna". Nie osiąga ona zatem w żaden sposób "istoty" świata, a dotyczy jedynie sprawnego w nim funkcjonowania zapewniającego realizację naczelnego celu, a więc przeżycie i pozostawienie potomstwa. "Teorie" takie (odpowiadające różnym tożsamościom) stawiane są na chybił trafił (w wyniku mutacji), a bieżące warunki środowiskowe selekcionują je na "adekwatne" i "błędne".

Powyższe cechy, a więc autonakierowanie, znaczącą przez konotację sieć relacji oraz wytworzenie "instrumentalnego" obrazu świata napotkamy w ostatniej części książki, kiedy będę dyskutował wyłanianie się poziomu psychicznego (świadomości) z poziomu biologicznego. Okaże się, że z formalnego punktu widzenia powstanie psychiki jest ściśle analogiczne do powstania życia i zasadza się właśnie na pojawieniu się wyliczonych wyżej cech na niejako następnym poziomie.

Podsumowując, w przedstawionej powyżej hipotetycznej "historii" rozwoju aparatu genetycznego aż od momentu narodzin życia nacisk położony został na zasadę "nie wszystko na raz", w myśl której powstanie obecnego stopnia złożoności życia przebiegało etapami. Ważne jest przy tym, że każdy z tych etapów był w pełni funkcjonalny i zawierał w sobie możliwości przejścia do



etapu następnego (czyli na wyższy poziom zorganizowania układu). Implikuje to, że do wyjaśnienia powstania życia wystarczą, przynajmniej w zasadzie, znane nam prawa fizyczne i chemiczne i nie musimy uciekać się do tłumaczeń nieortodoksyjnych. Nie jest to sprzeczne z twierdzeniem, że wraz z powstaniem życia pojawił się pewien nowy poziom organizacji, nie dający się dobrze zinterpretować w terminologii praw fizycznych. Zaistnienie sprzężenia zwrotnego ujemnego nieodłącznie wiąże się bowiem z powstaniem pewnego "celu" - jak wiemy termin ten nic nie znaczy w czysto fizycznym opisie świata. Do pełnej charakteryzacji istoty życia nie wystarczy zatem system pojęć fizycznych - niezbędne są jeszcze przynajmniej terminy cybernetyczne, mówiące o mechanizmach i układach nakierowanych na realizację jakiegoś celu (dążnościowych).

Pojęcie "celu" lub "sensu" wydaje się całkowicie nieobecne na poziomie zjawisk fizycznych. Zachowaniem się zarówno atomów, jak i ciał niebieskich rządzą dobrze określone prawa i teorie fizyczne, na czele z mechaniką kwantową i ogólną teorią względności. Ani dyfrakcja i interferencja elektronu po przejściu przez podwójną szczelinę, ani krążenie planet wokół Słońca nie posiada żadnego sensu czy celu. Dotyczy to w równej mierze procesów fizykochemicznych, np. ruchu atomów lub tworzenia wiązań chemicznych, zachodzących w "materii ożywionej". Jak to się zatem dzieje, że gdy wszystkie procesy fizykochemiczne składające się na dany organizm "weźmiemy do kupy" i spojrzymy na nie jako na pewną makroskopową całość, nagle nabiorą one znamion wyrażnej, nakierowanej na pewien cel funkcjonalności? Jak z bezcelowości może wyłonić się celowość? Fizyczny paradygmat opisu świata nie jest nam w stanie odpowiedzieć na to pytanie.

Termodynamika może, co prawda, zaklasyfikować życie jako proces dalece nierównowagowy, dążący do maksymalnie efektywnego rozpraszania energii i w tym "celu" przybierający makroskopową postać struktury dyssypatywnej. Rzuca to niewątpliwie nowe światło na zjawisko życia, ocierając się jednak zaledwie o sedno jego istoty. Opis termodynamiczny, jakkolwiek kładąc nacisk na aspekt informacji i makroskopowej organizacji, stanowi krok w odpowiednim kierunku<sup>45</sup>, należy uznać za zdecydowanie zbyt ogólnikowy.

Sens, celowość działania, "wyłania" się na poziomie samopowielających się systemów obdarzonych tożsamością. A raczej, pojawia się on w naszym "obrazie" tych systemów. Rozum ludzki kojarzy (nieukoniecznie świadomie) zachowanie celowe z istnieniem sprzężeń zwrotnych ujemnych - "celowo" zachowują się organizmy żywe, roboty lub termostaty w lodówce. "Sensowność" lub "celowość" są pewnymi kategoriami naszego oglądu świata, tak jak czas, przestrzeń, ilość lub przyczynowość. O ile więc należy wystrzegać się jakiegokolwiek absolutyzacji tych pojęć, to są one przydatnymi instrumentalnie terminami, przy pomocy których nasz ukształtowany przez ewolucję mózg posługuje się, aby, w sposób niedoskonały zresztą i ograniczony, ogarnąć i "przyswoić" całokształt odbieranych przez narządy zmysłów wrażeń. Podejście cybernetyczne pełni tu o tyle

---

<sup>45</sup>Z drugiej strony, układy termodynamiczne mające postać struktur dyssypatywnych, nawet tak proste jak wir wody w zlewie (nie mówiąc już o układach żywych), nie dadzą się opisać w języku klasycznej (tzn. dynamicznej) fizyki. W obrębie tej ostatniej takie pojęcia jak informacja, organizacja makroskopowa lub strzałka czasu nie mają żadnego znaczenia. Stanowi to wyraźny sygnał, że fizyczny paradygmat opisu świata da się sensownie zastosować tylko do niektórych jego aspektów.

istotną rolę, że pozwala zdefiniować pojęcie celowości w sposób tak obiektywny i ścisły, jak to tylko możliwe.

Kończąc tę krótką dygresję na temat "sensów" biologicznych (do tematu sensów charakterystycznych dla różnych poziomów rzeczywistości wrócę pod koniec książki) chciałbym wyraźnie podkreślić jedną rzecz. To co nazywam ewolucyjnym "celem" czy "sensem" organizmu żywego nie powinno być rozumiane teleologicznie. Ewolucja nie posiada żadnych zewnętrznie narzuconych celów czy kierunków rozwoju, a już z pewnością jej celem nie było wytworzenie człowieka. To co nazywam celem ewolucji jest wewnętrzną właściwością wypływającą z cybernetycznych mechanizmów leżących u jej podstawy. Ewolucja nie jest więc jak człowiek mający dojść do jakiegoś konkretnego punktu w terenie, z mapą i kompasem w ręku, kierujący się na widoczne na horyzoncie drzewo. Jest raczej jak tłum ludzi idących przez nieskończony labirynt, którego większość korytarzy kończy się ślepo, posiada zapadnie lub jest zaminowana, a tylko nieliczne korytarze bezpiecznie prowadzą dalej. Każdy z ludzi na każdym napotkanym rozgałęzieniu labiryntu rzuca monetą aby zadecydować, który z korytarzy wybierze. Nic więc dziwnego, że większość z nich grzęźnie w ślepych odnogach, ewentualnie ginie na minach lub w zapadniach, a tylko szczęśliwcy kontynuują dalej swą wędrówkę. Przy tym nawet oni nie mają pewności, czy następny wybrany korytarz nie okaże się śmiertelną pułapką. O ile więc człowiek z kompasem i mapą za cel stawia sobie dojście do danego konkretnego punktu w terenie, to dla człowieka w labiryncie celem jest po prostu: "iść dalej", a to, gdzie (i czy w ogóle) dojdzie, zależy w głównej mierze od przypadku (i od już przebytej drogi). Ilość możliwych dróg do wyboru jest przy tym praktycznie nieograniczona i tylko bardzo nieliczne z nich zostaną wykorzystane. Prawdopodobieństwo zatem, że w procesie ewolucji biologicznej na Ziemi powstanie właśnie gatunek *Homo sapiens*, ze wszystkimi właściwymi mu przypadłościami, równało się praktycznie zeru (gdyby "puścić" ewolucję biologiczną jeszcze raz od początku, prawie na pewno nie doprowadziłaby ona do powstania człowieka). Natomiast to, że w końcu na naszej planecie powstaną jakiegokolwiek istoty rozumne, było niewątpliwie obarczone skończonym prawdopodobieństwem.

\* \* \*

Drugi, po genetycznym, aspekt powstawania życia to aspekt strukturalny. W najprostszym przypadku polega on po prostu na wyodrębnieniu organizmu (osobnika) żywego z otaczającego go środowiska. Hipercykle same z siebie nie posiadały żadnej przestrzennie określonej struktury. Wchodzące w ich skład białka i kwasy nukleinowe nie były ze sobą na stałe związane. W roztworach wodnych (jak i w każdym innych roztworach) ma miejsce proces dyfuzji rozpuszczonych (lub zawieszonych) w nich substancji. Zatem jakiś enzym mógłby, zaraz po zakończeniu (przez inny enzym) jego własnej syntezy, odpłynąć swobodnie od macierzystego układu genetycznego (hipercyklu) i nie to, że zostać bezpowrotnie straconym, ale jeszcze wykonywać użyteczną robotę dla innego, konkurencyjnego układu. Poza tym, stężenie rozmaitych prostych związków organicznych (będących budulcem związków bardziej złożonych) w "bulionie pierwotnym" nie było zapewne zbyt

wielkie, stąd wynikała potrzeba gromadzenia ich w możliwie małej objętości, w najbliższym otoczeniu białek i kwasów nukleinowych tworzących hipercykl. Jak wspomniałem wcześniej, najprawdopodobniej długotrwałe fizyczne zbliżenie niezbędne było do połączenia w hipercykle cykli autokatalitycznych białek i kwasów nukleinowych, czyli do wykształcenia pierwotnego kodu genetycznego. Dodatkowo, wyraźne odgródkowanie wnętrza organizmu od otoczenia byłoby bardzo pomocne dla niwelacji rozmaitych niekorzystnych wpływów (zaburzeń) pochodzących z tego otoczenia. Wreszcie, aby dobrze wyodrębnić dany układ jako "osobnika", przydałaby się jakaś klarowna fizyczna granica pomiędzy nim, a środowiskiem. Z powodu wszystkich tych przyczyn (oraz, zapewne, paru innych) niezbędne było dla nowo powstających organizmów wytworzenie wokół siebie jakiejś otoczki (lub przynajmniej wyraźnej "granicy faz" pomiędzy wnętrzem i zewnątrz).

U wszystkich znanych nam dzisiaj istot żywych, taką otoczką, wyznaczającą granice tego, co zwiemy komórką, jest podwójna błona białkowo - lipidowa. Podwójna, bowiem składająca się z dwóch warstw lipidów. Cząsteczki lipidów zbudowane są z polarnej, hydrofilowej (chętnie kontaktującej się z wodą) "głowy" oraz hydrofobowego ("unikającego" wody) "ogona". W dwuwarstwie lipidowej "głowy" zwrócone są na zewnątrz, w kierunku fazy wodnej ("głowy" jednej z warstw kontaktują się ze środowiskiem zewnętrznym, a drugiej - z wnętrzem komórki), natomiast "ogony" - do wewnątrz, w kierunku styku obu warstw. Przekrój dwuwarstwy wygląda więc następująco: głowa-ogon-ogon-głowa. W warstwach lipidowych zanurzone są cząsteczki różnych białek, mogące wykonywać w obrębie błony rozmaite ruchy. Są to - dyfuzja w płaszczyźnie powierzchni błony, ruch obrotowy, przechodzenie z jednej warstwy lipidowej do drugiej itp.. Współczesny pogląd na ogólną budowę błony białkowo - lipidowej, przedstawiony powyżej, nosi nazwę modelu "płynnej mozaiki". Strukturę taką ma nie tylko błona otaczająca komórkę, ale także błony rozmaitych struktur wewnątrzkomórkowych, jak jądro, mitochondria, chloroplasty, retikulum endoplazmatyczne itp..

Ponieważ "zrąb" opisywanych wyżej błon białkowo - lipidowych, stanowiący o ich ciągłości i integralności, stanowią lipidy, wydaje się prawdopodobne, że to podwójne błony lipidowe (lub też, raczej, twory w jakiś sposób do nich analogiczne, to znaczy składające się z cząsteczek "wyposażonych" w polarną "głowę" i hydrofobowy "ogon") stanowiły osłonę pierwszych organizmów. Takie pęcherzyki, otoczone podwójną błoną lipidową (zwane liposomami) można dzisiaj wytworzyć sztucznie przy użyciu różnych metod fizycznych. Metody te (na przykład działanie ultradźwiękami na zawiesinę lipidów w wodzie, albo też przeciskanie takiej zawiesiny pod ciśnieniem przez milipory) nie przypominają raczej warunków panujących na naszej planecie niedługo po jej powstaniu (ani, tym bardziej, obecnie). Jest to jeden z powodów do przypuszczenia, że "protoplasty" lipidów, budujący pierwsze błony komórkowe, byli nieco od "współczesnych" lipidów odmienni.

Drugi powód stanowi fakt, że błony lipidowe są całkowicie nieprzepuszczalne dla wielu prostych związków organicznych, które pierwsze organizmy musiały pobierać ze środowiska jako budulec oraz, być może, źródło energii. Współczesne komórki posiadają w swoich błonach szeroki zestaw specyficznych nośników białkowych, przenoszących selektywnie wybrane substancje do i z komórki - pierwsze ustroje żywe, z oczywistych względów, takich nośników jeszcze nie miały. Ponieważ główną barierą dla przepływu większości substancji przez błonę lipidową stanowią długie

hydrofobowe ogony, w pra-błonach były one zapewne i krótsze, i mniej hydrofobowe. Dopiero później, po pojawieniu się nośników białkowych, owi hipotetyczni przodkowie lipidów mogli być wymienieni na bardziej "szczelne", "nowoczesne" lipidy. Współczesne błony białkowo - lipidowe mają bardzo skomplikowaną strukturę oraz pełnią wielorakie funkcje. Do tych ostatnich należy izolacja od środowiska zewnętrznego, transport różnych substancji organicznych i jonów, "zakotwiczenie" dla rozmaitych enzymów, przekazywanie sygnałów hormonalnych i pobudzenia nerwowego oraz (o czym za chwilę) produkcja energii. Podobnie jednak, jak to było w przypadku aparatu kopiowania i odczytu informacji genetycznej, cała ta złożoność budowy i funkcji nie musiała (i, oczywiście, nie mogła) powstać nagle z niczego, w jednym kroku - jest ona skutkiem długiego i skomplikowanego procesu ewolucji. Na początku były to zapewne proste, jednorodne pęcherzyki, utworzone spontanicznie na skutek jakiegoś procesu fizycznego. Mogły one już zawierać najprymitywniejsze systemy samopowielające się, uorganizowane przestrzennie w postaci tworów podobnych do koacerwatów (o których za chwilę).

Trzecim wreszcie powodem, dla którego można podejrzewać, że skład pierwotnych błon biologicznych był odmienny od obecnego, jest fakt, że pęcherzyki zbudowane ze "współczesnych" lipidów nie mają zdolności do "samodzielnego" pobierania "wolnych" lipidów z otoczenia, wbudowywania tych lipidów w same pęcherzyki, a w konsekwencji do wzrostu i, po osiągnięciu pewnej krytycznej wielkości, do podziału. Właściwości te byłyby wysoce pożądane dla pra-organizmów, jako że nie miały one jeszcze (co znowu wydaje się oczywiste) żadnych efektywnych mechanizmów kontroli wzrostu i podziału swoich osłonek lipidopodobnych. Czy jest jednak możliwe, aby zawieszona w wodzie pęcherzyki zbudowane z jakiegokolwiek powstałej spontanicznie substancji organicznej wykazywały powyższe cechy? Nie wiadomo. Jednakże silną pokusę, aby poważnie brać pod uwagę taką ewentualność, stanowią (wspomniane już przeze mnie) koacerwaty Oparina.

Jeżeli zawiesić w wodzie pewne substancje organiczne (np. gumę arabską, rozmaite białka) to cząsteczki tych związków będą przejawiać tendencję do skupiania się w kropelki. Takie właśnie, odkryte przez siebie kropelki, Oparin nazwał koacerwatami. Koacerwaty wchłaniają pozostające jeszcze w zawieszynie molekule substancji organicznych, przez co zwiększają swe rozmiary. Jeżeli wielkość kropelki przekroczy pewną, określoną przez wypadkową różnych procesów fizycznych granicę, to koacerwat stanie się niestabilny i ulegnie podziałowi na dwie kropelki potomne. Kropelki te dalej rosną, aż osiągną rozmiary niezbędne do następnego podziału. Dla obserwatora z zewnątrz zjawisko to do złudzenia przypomina zachowanie się żywych komórek.

Niewątpliwie, analogia koacerwatów Oparina z systemami żywymi jest raczej powierzchowna. Koacerwaty są prostym, acz niewątpliwie fascynującym zjawiskiem fizycznym, któremu tak daleko jednak do złożoności żywych ustrojów, jak, nie przymierzając, liczydłu do komputera. Jednakże, całkowite ich odłożenie *ad acta* mogłoby się okazać nieco przedwcześnie. Gdyby bowiem pierwsze systemy samopowielające się "przypadkiem" posiadały cechy strukturalne analogiczne do tych, jakie są udziałem koacerwatów, znakomicie ułatwiłoby to "start życiowy" takich systemów. Mogłyby one bowiem na razie "odłożyć" problem wytworzenia (skomplikowanego) systemu enzymatycznego sterującego wzrostem i podziałem otoczki na czas późniejszy, a

tymczasem "zająć się" pilniejszymi potrzebami, przede wszystkim wytworzeniem efektywnego aparatu genetycznego. Jest to bardzo istotne w myśl, wcześniej już sformułowanej zasady: "nie wszystko na raz".

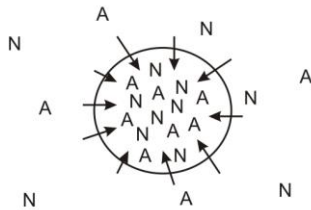
Na najwcześniejszym etapie koacerwaty (konsekwentnie używam tego terminu w szerokim znaczeniu, obejmującym wszelkie twory "koacerwatopodobne", a nie tylko stosunkowo wąską klasę obiektów opisanych przez Oparina) nie posiadały zapewne żadnej otoczki quasi-lipidowej. Od środowiska oddzielała je po prostu granica faz pomiędzy wnętrzem zbudowanym z białek, kwasów nukleinowych i być może innych związków, a otaczającą je wodą. Już taka prymitywna bariera mogła spełniać niektóre z wymienionych funkcji bardziej "profesjonalnej" otoczki. Środowisko wewnątrz koacerwatu mogło być, chociażby ze względu na ograniczoną dyfuzję, bardziej stabilne, niż środowisko zewnętrzne. Na skutek lepszej "rozpuszczalności" we wnętrzu koacerwatu, niż w wodzie, mogły się w nim preferencyjnie gromadzić monomery służące za budulec białek i kwasów nukleinowych, a mianowicie aminokwasy i nukleotydy. Związki te były ciągle zużywane na syntezę wspomnianych makromolekuł, co powodowało ich dalsze "pobieranie" przez koacerwat. Ponieważ budulcem takich koacerwatów był w dużej mierze polikatalon (zespół białek o przypadkowej sekwencji aminokwasów i szerokiej gamie aktywności katalitycznej), panowało w nich "środowisko" katalityczne sprzyjające namnażaniu zarówno białek, jak i kwasów nukleinowych. Prowadziło to do wzrostu rozmiarów koacerwatów i, w konsekwencji, do ich podziałów. Te z koacerwatów, w obrębie których wytworzyły się hipercykle, powodujące efektywniejsze powielanie białek i kwasów nukleinowych, mogły szybciej rosnąć i rozmnażać się, wygrywając rywalizację z innymi koacerwatami. Ze względu na dziedziczenie informacji o strukturze białek i kwasów nukleinowych (RNA) mogły też one ulegać doskonaleniu w procesie ewolucji. Predyspozycje tworów koacerwatopodobnych do bycia pierwszymi "nośnikami" życia podsumowuje rycina 2.13. Jeżeli ówczesne koacerwaty składały się wyłącznie z białek i kwasów i nukleinowych (o tym, że takie twory mogłyby być stabilne, przekonują mikrosfery Fox'a, pęcherzyki składające się z powstałych poza organizmami żywymi łańcuchów poli-aminokwasowych), to koacerwaty były po prostu strukturalnym przejawem istnienia hipercykli. Podkreśla to niesłychanie ścisły związek, jaki prawdopodobnie zachodził pomiędzy wyłonieniem się genetycznego i strukturalnego aspektu życia.

Trzecim istotnym aspektem powstania i rozwoju życia na naszej planecie jest jego aspekt energetyczny. Jak pokazała termodynamika, niezbędny warunek zaistnienia struktur dysypatywnych (do jakich należy zjawisko życia) stanowi rozpraszanie energii, i to przynajmniej z pewną minimalną szybkością, co prowadzi do produkcji entropii. Skąd się bierze energia, która "napędza" wszelkie procesy życiowe na naszej planecie, wytłumaczyłem w rozdziale poświęconym ewolucji fizycznej. Mówiąc krótko, bezpośrednim źródłem tej energii dla całej biosfery jest Słońce<sup>46</sup>. O ile teraz do bezpośredniej asymilacji energii słonecznej zdolne są tylko rośliny zielone, przekształcając część z niej w energię wiązań chemicznych w związkach organicznych, to na początku właściwie całe życie

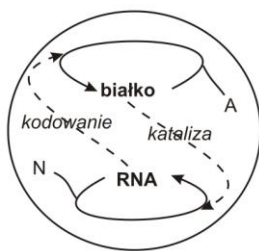
<sup>46</sup>Marginalnym źródłem energii dla organizmów żywych może być także rozpad izotopów radioaktywnych we wnętrzu Ziemi

czerpało energię prosto ze Słońca. Jak bowiem wspominałem, to promieniowanie ultrafioletowe emitowane przez naszą gwiazdę było prawdopodobnie głównym czynnikiem produkującym proste związki organiczne z mieszaniny gazów atmosferycznych (inny rozważany czynnik, wyładowania atmosferyczne, także swą energię czerpią, jak wszystkie zjawiska atmosferyczne, pośrednio ze Słońca). Jednakże, powstanie pierwszych układów samopowielających się zrodziło potrzebę nie tylko samego faktu przepływu energii, ale przede wszystkim jej przetwarzania w sposób skanalizowany, przebiegający pewnymi określonymi drogami, tak aby rozpraszanie energii i produkcja entropii nie była "celem samym w sobie", lecz służyła do napędzania procesów życiowych. Termodynamika nic nie mówi o szczegółowych mechanizmach transformacji energii przez struktury dysypatywne - podaje jedynie pewne niezbędne warunki konieczne do zaistnienia tych struktur. Z jej punktu widzenia życie nie różni się niczym istotnym od prądów konwekcyjnych czy wiru utworzonego przez wodę w zlewie. O ile więc termodynamika nierównowagowa jest ciekawa heurystycznie jako most rzucony pomiędzy fizyką a biologią, to do dokładnego opisu przemian energetycznych w organizmach żywych wydaje się ona zdecydowanie zbyt ogólnikowa. Zanim zatem przejdę do energetycznego aspektu biogenezy, przypomnę w skrócie, jak z przetwarzaniem i użytkowywaniem energii radzą sobie współczesne organizmy.

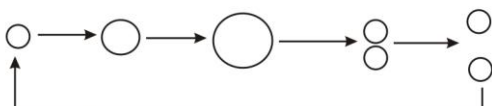
a) preferencyjne pobieranie aminokwasów (A) i nukleotydów (N)



b) środowisko katalityczne sprzyjające zaistnieniu hipercykli



c) wzrost i podziały



Ryc. 2. 13. Predyspozycje tworów koacerwatopodobnych do bycia pierwszymi "nośnikami" życia. Koacerwaty preferencyjnie wchłaniały z otoczenia aminokwasy i nukleotydy, fizycznie skupiały w małej przestrzeni białka i kwasy nukleinowe, umożliwiając powstanie hipercykli oraz ulegały wzrostowi i podziałom, co pozwoliło na dobór naturalny koacerwatów zawierających "lepsze" hipercykle.

\* \* \*

Nie popadając w ryzyko wielkiego uproszczenia, można powiedzieć, iż uniwersalnym "nośnikiem energii" w żywej komórce jest związek chemiczny zwany ATP (kwas adenozynotrójfosforowy). Jego "uniwersalność" bierze się stąd, że (prawie) wszystkie procesy produkujące łatwo dostępną energię "zbiegają" się właśnie w momencie syntezy ATP, natomiast (prawie) wszystkie procesy wymagające dopływu energii do swojego zajścia czerpią ją z rozkładu (hydrolizy) tego związku. Mówiąc krótko, reakcje dostarczające i zużywające energię "kontaktują się" ze sobą poprzez wspólny "akumulator" tej energii, właśnie ATP.

Do takich procesów wytwarzających<sup>47</sup> energię łatwo dostępną dla organizmów żywych należy oddychanie tlenowe i beztlenowe (fermentacja) u zwierząt, grzybów i licznych bakterii, fotosynteza u roślin zielonych, sinic i niektórych bakterii, chemosynteza u pewnych innych bakterii oraz "pseudo - fotosynteza" u bakterii halofilnych. Natomiast procesy zużywające energię (napędzane przez hydrolizę ATP) to synteza białek, wielocukrów, tłuszczów itp., transport przez błony biologiczne substancji organicznych oraz jonów nieorganicznych, skurcz mięśnia, przewodzenie impulsów nerwowych, ruch chromosomów w trakcie podziału komórki, ruchy cytoplazmy w ogólności, ruchy witek oraz rzęsek, wydzielanie rozmaitych substancji na zewnątrz komórki, bioluminescencja (wytwarzanie światła) oraz wiele innych zjawisk.

ATP jest nukleotydem zawierającym trzy grupy fosforanowe (o jego relacji do nukleotydu A, opisanego przy okazji omawiania budowy kwasów nukleinowych, powiem za chwilę). Powstaje on na skutek przyłączenia grupy fosforanowej do ADP (kwas adenozynodwufosforowy, który, jak można łatwo obliczyć, zawiera dwie grupy fosforanowe). Proces ten wymaga dostarczenia energii<sup>48</sup>. Natomiast przemiana odwrotna, hydroliza (rozkład) ATP na ADP i fosforan (grupę fosforanową) wyzwala duże ilości energii. Energia ta może być albo rozproszona w postaci ciepła, albo też przekazana innemu procesowi (np. reakcji chemicznej) potrzebującemu jej do swego przebiegu. Jeżeli zatem potraktujemy system ATP + ADP jako swego rodzaju baterię (akumulator) żywej komórki, to synteza ATP z ADP odpowiadałaby ładowaniu tej baterii, natomiast hydroliza ATP sprzężona z wykonaniem jakiejś pracy (chemicznej, mechanicznej, osmotycznej itp.) - jej rozładowaniu. O tym, jak komórka zapewnia sobie szybkość dopływu (syntezy) ATP dostosowaną do aktualnego zapotrzebowania na ten związek powiedziałem przy okazji dyskusowania zjawiska sprzężenia zwrotnego ujemnego.

ATP może być syntetyzowane poprzez przekazanie grupy fosforanowej na ADP z jakiegoś metabolitu pośredniego, będącego przejściowym etapem przemiany którejś z substancji organicznych, pobieranych jako pokarm. Ten sposób tworzenia ATP nazywa się fosforylacją

---

<sup>47</sup>W istocie, "wytwarzanie" energii polega tutaj po prostu na przetwarzaniu rozmaitych jej form w postać powszechnie dostępną dla wielorakich procesów w komórce.

<sup>48</sup>Ilość energii "zawartej" w ATP zależy od stosunku stężeń ATP i ADP. Problem ten omawiam zwięźle w książce "Metabolizm", RM-Fosze, Rzeszów 1995.

substratową. Ma on miejsce na przykład w glikolizie, czyli szlaku metabolicznym rozkładu glukozy (i innych cukrów prostych), będącym częścią zarówno oddychania tlenowego, jak i fermentacji. O ile jednak fosforylacja substratowa stanowi jedyny mechanizm produkcji ATP w tym ostatnim procesie, to oddychaniu tlenowym odgrywa ona rolę podrzędną, a w fotosyntezie zgoła w ogóle nie występuje. Zamiast niej, ma tam miejsce całkowicie odmienny rodzaj fosforylacji, nazwany w przypadku oddychania tlenowego fosforylacją oksydacyjną, a w przypadku fotosyntezy - fosforylacją fotosyntetyczną. Także ogólna zasada produkcji energii w procesie "pseudo-fotosyntezy" u bakterii halofilnych jest bardzo podobna. Ponieważ wszystkie te procesy nie różnią się pomiędzy sobą co do istoty ich podstawowego mechanizmu, będę je określał wspólnym mianem fosforylacji błonowej (membranowej).

Istnienie fosforylacji błonowej zostało zaproponowane w latach sześćdziesiątych obecnego stulecia przez Petera Mitchella w ramach tak zwanej teorii chemiosmotycznej. Teoria ta jest jedną z najelegantszych i najplodniejszych koncepcji na poziomie biochemicznym<sup>49</sup>, nic więc dziwnego, że jej twórcy przyznana została nagroda Nobla. Wedle teorii chemiosmotycznej, pośrednikiem w syntezie ATP jest gradient (różnica stężeń) protonów, czyli jonów wodorowych H<sup>+</sup> w poprzek odpowiedniej błony białkowo - lipidowej, związanej w danym przypadku z produkcją energii. Może to być wewnętrzna błona mitochondriów lub błona komórkowa bakterii w procesie oddychania tlenowego, błona tylakoidów w chloroplastach dla procesu fotosyntezy lub też "purpurowa" błona komórkowa w przypadku "pseudo - fotosyntezy" u bakterii halofilnych.

Aby powstał gradient protonów, a więc różnica ich stężenia po obu stronach błony (oraz, związana z przeniesieniem ładunku dodatniego, jakim obdarzony jest proton, różnica potencjału elektrycznego) protony muszą ulec przepompowaniu z jednej strony takiej błony na drugą. Służy do tego pewien rodzaj białek, zwanych pompami protonowymi. W mitochondriach oraz bakteriach protony są pompowane na zewnątrz, odpowiednio, mitochondriów i bakterii, natomiast w przypadku chloroplastów - do wewnątrz gran tylakoidów. W przypadku oddychania tlenowego, pompy protonowe, będące częściami oddechowego łańcucha transportu elektronów (w którego skład wchodzi, między innymi, cytochromy), ulokowanego w wewnętrznej błonie mitochondrialnej, są napędzane przepływem elektronów przez ten łańcuch. Elektrony te zaś zostają przenoszone z ulegających rozkładowi substancji odżywczych (cukrów, tłuszczów, białek) na łańcuch oddechowy za pośrednictwem związków zwanych NAD i FAD. Elektrony (i jony wodorowe) ulegają w końcu przekazaniu przez łańcuch oddechowy na tlen, co prowadzi do powstania wody. Cała sekwencja przepływu elektronów wygląda zatem następująco: substancje pokarmowe → NAD (lub FAD) → łańcuch oddechowy → tlen. Protony pompowane są, jak powiedziałem, na etapie łańcucha oddechowego. Ponieważ (o czym za chwilę) gradient protonowy służy do produkcji ATP, jasne jest, w jaki sposób związki organiczne pobrane z pokarmem oraz tlen wdychany przez płuca (lub

---

<sup>49</sup>Obok kilku koncepcji tworzących podstawę genetyki molekularnej, takich jak model podwójnej helisy DNA, kod genetyczny lub teoria operonu.



analogiczne organa) służą do wytwarzania energii (i dlatego są niezbędne do życia dla większości organizmów cudzożywnych, łącznie z człowiekiem).

Proces pompowania protonów w procesie fotosyntezy (jej fazie "świetlnej") wygląda analogicznie. Tutaj także przepływ elektronów przez (fotosyntetyczny) łańcuch transportu elektronów napędza pompy protonowe, przenoszące protony przez błonę tylakoidów. Jednakże, w dwóch aspektach fotosynteza jest przeciwieństwem oddychania tlenowego. Po pierwsze, elektrony płyną w odwrotnym kierunku, to znaczy z wody (dwa protony i dwa elektrony zostają odłączone od tlenu) na NADP (związek bardzo podobny do NAD). Energii potrzebnej na rozbicie cząsteczki wody (uwalniany zostaje przy tym wolny tlen) i przekazanie elektronów na łańcuch fotosyntetyczny dostarcza promieniowanie świetlne - w jego pochłanianiu (absorbpcji) pośredniczy zielony barwnik nadający barwę roślinom - chlorofil. Po drugie, protony są pompowane do wewnątrz gran tylakoidów, tak że gradient protonowy jest przeciwnie "skierowany", niż w mitochondriach (większe stężenie protonów wewnątrz, niż na zewnątrz).

Proces pompowania protonów u bakterii halofilnych jest zasadniczo prostszy, niż w przypadku mitochondriów (oraz oddychających tlenowo bakterii) i chloroplastów. Jedyna obecna tutaj pompa protonowa (w poprzednich przypadkach były ich dwa lub trzy rodzaje, ułożone kolejno w łańcuchu oddechowym lub fotosyntetycznym) utworzona przez białko zwane bakteriorodopsyną, jest napędzana bezpośrednio przez promieniowanie świetlne. Pochłonięcie kwantu promieniowania (fotonu) prowadzi do zmiany konformacyjnej (ułożenia przestrzennego) w cząsteczce bakteriorodopsyny i związania protonu po wewnętrznej stronie błony komórkowej, zaś powrót do poprzedniego ułożenia przestrzennego jest połączony z przeniesieniem protonu na zewnątrz komórki. Za analogię może tu służyć oddanie strzału z kuszy. Dostarczona z zewnątrz energia jest potrzebna do napięcia kuszy, tak jak absorpcja kwantu promieniowania prowadzi do zmiany konformacyjnej bakteriorodopsyny. Po zwolnieniu spustu kusza powraca gwałtownie do swojego pierwotnego stanu, co jest połączone z wyrzuceniem strzały. Podobnie, bakteriorodopsyna podczas szybkiego "rozładowania" napięcia w swojej cząsteczce, jest zdolna do wykonania pracy w postaci przeniesienia protonu na drugą stronę błony, wbrew gradientowi stężeń protonów. Na podobnej zasadzie działają pompy protonowe obecne w łańcuchu oddechowym i fotosyntetycznym. Główna różnica polega na tym, że energia powodująca zmianę konformacyjną pompy zostaje dostarczona w postaci elektronów, przejętych od poprzedniego składnika łańcucha, a wyzwolenie tej energii (wypompowanie pewnej ilości protonów - liczba ta jest różna dla różnych pomp) związane jest z przekazaniem tych elektronów dalej, na następny składnik łańcucha. W ten sposób, elektrony przepływające przez, na przykład, łańcuch oddechowy, przechodzą kolejno przez trzy pompy protonowe i trzykrotnie powodują pompowanie protonów.

Jaki by jednak nie był mechanizm tworzenia gradientu protonowego, końcowy efekt we wszystkich opisanych powyżej przypadkach jest ten sam - różnica stężenia protonów (oraz ładunku elektrycznego) po obu stronach błony odpowiedzialnej za przetwarzanie (transformację) energii. Teraz następuje druga ("właściwa") faza fosforylacji membranowej, a mianowicie spontaniczny powrót protonów poprzez błonę na tę jej stronę, gdzie ich stężenie jest mniejsze, sprzężony z syntezą

ATP z ADP oraz fosforanu. Każdy rodzaj atomów, jonów i cząsteczek posiada naturalną tendencję, opisaną przez prawa termodynamiki, do przepływu z przedziału, gdzie ich stężenie jest większe do przedziału o mniejszym stężeniu. Dodatkowo, w przypadku obdarzonych ładunkiem jonów, ich ruchowi w poprzek błony sprzyja (odpowiednio "skierowany") potencjał elektryczny (dodatnio naładowane protony są przyciągane przez ujemnie naładowany przedział, gdzie ich stężenie jest mniejsze). Pompowanie protonów "pod prąd" gradientu stężeń oraz potencjału elektrycznego wymaga dopływu energii. Natomiast ich "powrót" w przeciwnym kierunku wiąże się z uwalnianiem energii, która może być zużytkowana na syntezę ATP. Reakcję tę katalizuje enzym zwany syntazą ATP. W mitochondriach jest ona, podobnie jak łańcuch oddechowy, usytuowana w wewnętrznej błonie mitochondrialnej - jej cząsteczki na zdjęciach spod mikroskopu elektronowego wyglądają jak "grzybki", których "kapelusze" skierowane są do wewnątrz mitochondriów. Syntaza ATP posiada kanalik prostopadły do powierzchni błony, przez który protony mogą wracać do wnętrza mitochondriów, co jest sprzężone z syntezą ATP (mechanizm tego procesu nie jest jeszcze dobrze poznany). Ponieważ wewnętrzna błona mitochondrialna słabo przepuszcza protony, w zasadzie ich główną możliwość powrotu do matriks mitochondrialnej stanowi przepływ przez syntazę ATP. Identycznie wygląda mechanizm fosforylacji membranowej w chloroplastach, bakteriach oddychających tlenowo oraz bakteriach purpurowych, z tym że w chloroplastach, ponownie, wszystko jest odwrócone. "Kapelusze" cząsteczek syntetazy ATP skierowane są na zewnątrz błon tylakiodów, i w tym też kierunku odbywa się powrotny przepływ protonów. Ogólna idea fosforylacji membranowej przedstawiona jest na rycinie 2.14 ("H<sup>+</sup>" oznaczone grubą czcionką oznacza przedział, w którym stężenie protonów jest większe).

Cały opisany powyżej mechanizm fosforylacji membranowej można przedstawić za pomocą następującej analogii. Weźmy wypełnione powietrzem pudełko i przedzielmy je na dwie połowy jakąś przegrodą. W przegrodę tę możemy wbudować pompkę powietrzną, napędzaną przez silniczek spalinowy, pompującą cząsteczki powietrza z lewej komory do prawej. Skutkiem tej operacji będzie podciśnienie w lewej komorze, nadciśnienie w prawej, zaś w poprzek przegrody - gradient stężenia gazów wchodzących w skład powietrza. Jeżeli teraz w przegrodzie zrobimy dziurkę, powietrze będzie z sykiem wracało z prawej komory do lewej. Na drodze przepływającego powietrza można z kolei ustawić wiatraczek połączony z dynamem i w ten sposób produkować energię elektryczną. W powyższym przykładzie energia chemiczna uwalniana przy spalaniu benzyny zostaje przekształcona w energię ciśnienia (a właściwie różnicy ciśnień) powietrza, ta zaś - w energię elektryczną.

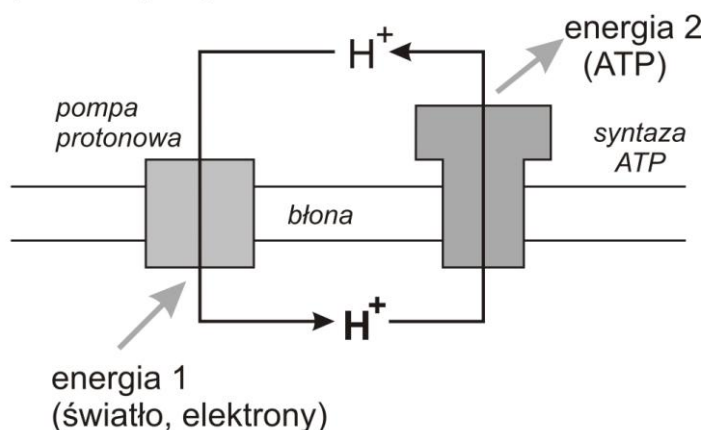
Podobne transformacje energii mają miejsce w fosforylacji błonowej. Energia chemiczna substratów oddechowych lub też energia promienista fotonów przechodzi tutaj w energię elektro-osmotyczną gradientu protonowego (czyli po prostu w energię związaną z różnicą stężeń protonów<sup>50</sup>), a następnie w energię chemiczną "zgromadzoną" w ATP. W przytoczonej analogii pompka powietrzna, której energii dostarcza silniczek spalinowy, odpowiada oczywiście pompom

---

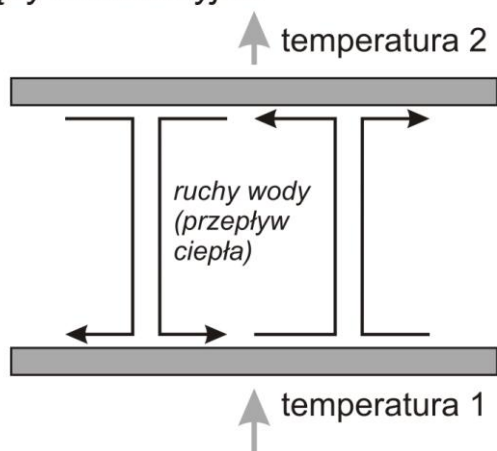
<sup>50</sup>Można by ją porównać do potencjalnej energii kamienia podniesionego ponad poziom gruntu: jej "rozładowanie" (upadek kamienia) może prowadzić do wykonania pracy lub produkcji ciepła.

protonowym łańcucha oddechowego lub fotosyntetycznego (napędzanym przepływem elektronów) lub też bakteriorodopsynie (bezpośrednio "korzystającej" z energii promienistej); gradient ciśnienia powietrza to gradient protonowy; wiatraczek z dynamem odpowiada syntezie ATP; zaś energia elektryczna to analog energii chemicznej ATP.

a) *fosforylacja membranowa*



b) *prądy konwekcyjne*



Ryc. 2. 14. Ogólny schemat fosforylacji membranowej i jej formalne podobieństwo do prostej struktury dyssypatywnej - prądów konwekcyjnych. Tak jak przepływ ciepła pomiędzy dwoma płytami o różnych temperaturach wymusza "wstępujące" i "zstępujące" prądy konwekcyjne w znajdującej się pomiędzy nimi wodzie, tak przekształcenie (transformacja) energii z jednej formy na inną w organizmach żywych powoduje "wstępujące" i "zstępujące" prądy protonów (jonów wodorowych) z jednej strony membrany związanej z produkcją energii na drugą.

W tym momencie chciałbym zrobić małą dygresję i wspomnieć o niezmiernie ważnej cesze energetyki organizmów żywych. U organizmów heterotroficznych na przykład, w pierwszym rzędzie zwierząt, energia która jest przekształcana w energię gradientu protonów, a następnie w energię zakumulowaną w cząsteczce ATP, pochodzi pierwotnie z energii wiązań chemicznych w cząsteczce substratu oddechowego, np. glukozy lub kwasu tłuszczowego. Dopiero "wysokoenergetyczne"

elektrony, przeniesione z takiego substratu na łańcuch oddechowy, służą do pompowania protonów wbrew gradientowi stężeń tych ostatnich. Otóż do pierwszych etapów chemicznego przekształcenia (a także - pobierania ze środowiska) substratów oddechowych przez organizmy żywe niezbędna jest energia w postaci ATP. A zatem, do dalszej produkcji ATP niezbędna jest już obecność pewnej ilości ATP, konieczna do aktywacji pierwszych reakcji prowadzących do wytworzenia tego związku. Stanowi to kolejny przykład dyskutowanego już wcześniej "błędnego koła", charakterystycznego dla istoty organizmów żywych. W tym konkretnym przypadku w bardziej naukowym żargonie należałoby mówić o "nieliniowości" organizmów żywych.

Wracając jednak do wiodącego tematu tego fragmentu książki, (niektóre) błony białkowo - lipidowe odgrywają kluczową rolę w produkcji (przekształcaniu) energii u organizmów żywych. Wcześniej, omawiając strukturalny aspekt powstawania życia na Ziemi, wspomniałem o konieczności posiadania przez pierwsze systemy samopowielające się otoczki pseudo - lipidowej. Trudno nie połączyć ze sobą tych faktów. Tym bardziej, że ogromna większość procesów leżących u podstawy życia nie może zachodzić spontanicznie - wymaga dostarczenia energii do swego przebiegu. Wydaje się zatem, że rodzące się życie musiało dosyć wcześnie "pomyśleć" o wejściu w posiadanie jakiegoś systemu produkcji tej energii.

Jak taki system mógł powstać? Spójrzmy jeszcze raz na najprostszy znany nam system przetwarzania energii w przypadku fosforylacji membranowej, ten obecny u bakterii halofilnych (patrz też rycina 2.14). Występują tu dwa składniki zapewniające ciągły obieg protonów. Są to: bakteriorodopsyna pompująca protony na zewnątrz komórki pod wpływem promieniowania świetlnego oraz syntaza ATP, "sprzęgająca" powrót protonów do wnętrza komórki z syntezą ATP. (W powyższym systemie protony krążą w "obiegu zamkniętym", rozpraszając w ten sposób energię - podobieństwo do "prądów wstępujących" i "zstępujących" w ruchu konwekcyjnym jest tutaj uderzające, co obrazuje rycina 2.14. Obserwacja ta jeszcze raz dobitnie unaocznia nam, że życie jest po prostu bardzo skomplikowaną strukturą dyssypatywną, mającą "na celu", z punktu widzenia termodynamicznego, jedynie efektywne rozpraszanie energii promieniowania słonecznego docierające do powierzchni Ziemi).

Usunięcie jednego z tych elementów z układu odejmuje całemu układowi sens jego istnienia. Z drugiej strony, powstanie obu składników (choćby w prymitywnej formie) jednocześnie na skutek zbiegu zdarzeń losowych wydaje się nieprawdopodobne. Po raz kolejny należy zatem postawić pytanie, czy istnieje jakieś funkcjonalne stadium przejściowe, które mogłoby być etapem pośrednim w procesie powstania najprostszego systemu energetycznego?

Okazuje się, że takie stadium, zawierające jeden tylko z dwóch wspomnianych składników, można sobie wyobrazić. Ponieważ do pełnienia funkcji produkcji energii niezbędne są oba składniki, ów hipotetyczny etap pośredni musiał być związany z jakimiś odmiennymi celami. Na szczęście nie musimy tu polegać wyłącznie na naszej wyobraźni - proces mogący być szukanym "brakującym ogniwem" istnieje do dziś - jest nim transport substancji organicznych i jonów przez błony białkowo - lipidowe.

Współczesne np. bakterie i mitochondria wykorzystują do tego celu nie co innego, jak gradient protonowy w poprzek otaczającej je błony (zwany także siłą protonomotoryczną). Transport rozmaitych substancji odbywa się obecnie za pośrednictwem specyficznych dla nich nośników białkowych - u zarania życia różne związki chemiczne przechodziły zapewne po prostu przez błonę pseudo-lipidową. Gradient protonowy może sprzyjać pobieraniu poszczególnych substancji z otoczenia w dwojaki sposób. Cząsteczki naładowane dodatnio (kationy) będą miały skłonność do gromadzenia się w ujemnie naładowanym (na skutek wypompowania protonów) wnętrzu pęcherzyka otoczonego błoną. Natomiast związki obojętne elektrycznie albo naładowane ujemnie ulegną selektywnemu przeniesieniu do środka pęcherzyka, jeżeli ich przejście przez błonę zostanie w jakiś sposób sprzężone z przeniesieniem protonu. Obecnie za owo sprzężenie odpowiedzialne są wyspecjalizowane nośniki białkowe - u zaraniu życia mógł to być jakiś prostszy mechanizm.

Dodatkowo, słabe kwasy (do których należy wiele prostych związków organicznych) mają skłonność do dysocjacji (uwolnienia jonu  $H^+$ ) w środowisku zasadowym, jakie panuje wewnątrz pęcherzyka, natomiast w środowisku z grubszą neutralnym (np. wodzie morskiej) wykazują większe preferencje do wiązania tego jonu. Jeżeli (jak to ma miejsce we współczesnych organizmach) słabe kwasy mogą one przechodzić przez błony tylko w formie neutralnej (nie podległej dysocjacji), to po przedostaniu się do wnętrza pęcherzyka znajdują się w swego rodzaju pułapce - dysocjują i nie mogą wydostać się na zewnątrz. Prowadzi to oczywiście do akumulacji takiego związku w pęcherzyku.

Wytworzenie gradientu protonowego, nawet nie służącego do syntezy ATP, mogło być dla pra-organizmów korzystne. Substancje organiczne, z których budowały one swe "ciała", występowały prawdopodobnie w oceanach w sporym rozcieńczeniu, które dodatkowo rosło w miarę ich zużytkowywania przez rodzące się życie. Palącą potrzebą stało się więc sprawne wychwytywanie rozmaitych związków z otaczającej wody. Gradient protonowy jest doskonałym do tego celu narzędziem. Do jego wytworzenia potrzebny był tylko jeden element - pompa protonowa. Trudno dociec, jaki rodzaj napędu do pompowania protonów mogły wykorzystywać pierwsze organizmy, chociaż ze względu na prostotę budowy i funkcji prawdopodobnym kandydatem jest jakiś analog wykorzystującej promieniowanie świetlne bakteriorodopsyny u współczesnych bakterii purpurowych. Funkcja energetyczna gradientu protonowego, czyli produkcja ATP, mogła wyłonić się później wraz z powstaniem jakiegoś prototypu syntazy ATP. Produkcja energii byłaby więc wtórna w stosunku do funkcji transportowej, która potrzebowała tylko obecności pompy protonowej.

Pozostaje jeszcze pytanie, jaka mogła być pierwotna funkcja ATP w komórce. Jest przecież również mało prawdopodobne, że układy samopowielające jednocześnie "nauczyły się" produkować ATP i wykorzystywać ten związek jako źródło energii. Należy sobie jednak uświadomić, że ATP jest identyczny z nukleotydem A wchodzącym w skład RNA. W procesie polimeryzacji tego ostatniego od ATP zostają oderwane dwie grupy fosforanowe i reszta cząsteczki z jedną pozostałą grupą fosforanową zostaje wbudowana w powstającą nić RNA. W analogii do ATP, istnieją także związki nazwane UTP, CTP i GTP, stanowiące "prekursory" cegiełek budujących nić RNA, a mianowicie omawianych wcześniej U, C i G. Co ciekawe, UTP, CTP i GTP także pełnią dzisiaj rolę nośników energii (analogicznie, jak ATP), chociaż "obsługują" one znacznie mniejszą liczbę reakcji, niż ATP, a

przez to nie są tak "uniwersalne". UTP, CTP i GTP są obecnie syntetyzowane z UDP, CTP i GDP przez przekazanie grupy fosforanowej z ATP, przy czym powstaje ADP. Pierwotnie jednak, prymitywna "syntaza ATP" mogła nie rozróżniać pomiędzy różnymi typami nukleotydów i używać gradient protonów do "ładowania" energetycznego każdego z nich. Energia do wiązania poszczególnych nukleotydów w nić RNA jest czerpana z odszczepienia z ich naładowanej formy XTP (gdzie "X" oznacza A, U, C bądź G) dwóch grup fosforanowych. Przed powstaniem nici kwasu nukleinowego do nukleotydów musi być zatem doprowadzona energia, poprzez syntezę XTP z XDP lub XMP (ten ostatni zawiera tylko jedną grupę fosforanową). Sugeruje to możliwość, że pra-organizmy żywe "nauczyły się" przekształcać energię i gromadzić ją w postaci XTP, mniej więcej w czasie, kiedy weszły w posiadanie aparatu do zapisu informacji genetycznej. W takim wypadku funkcja gromadzenia energii istotnie zwiększyłaby efektywność powielania informacji genetycznej w pierwotnych układach samopowielających się<sup>51</sup>. Tutaj widzimy, jak genetyczny, strukturalny i energetyczny aspekt biopoezy (powstania życia) niespodziewanie zazębiają się jeden z drugim i wzajemnie stymulują swoje własne powstanie. Wspólnym "wykładnikiem" aspektu strukturalnego i energetycznego jest błona zamknięta w pęcherzyk, aspekt energetyczny łączy z aspektem genetycznym użytkowanie "wspólnych" cząsteczek XTP<sup>52</sup>, natomiast przestrzenne ("strukturalne") skumulowanie w obrębie koacerwatów białek i kwasów nukleinowych mogło być niezbędnym warunkiem powstania hipercykli, a zatem pierwotnego aparatu genetycznego.

Energetyczny aspekt życia, podobnie jak jego aspekt strukturalny (a w przeciwieństwie do aspektu genetycznego) nie wiąże się bezpośrednio z cybernetyczną istotą życia. Tak jak aspekt strukturalny stworzył fizyczną barierę oddzielającą pierwotny aparat genetyczny (sprowadzający się właściwie do hipercykli) od środowiska, tak aspekt energetyczny napędzał cały układ, zapewniając jego efektywne funkcjonowanie jako struktury dyssypatywnej. Zresztą, prawie od początku pozostawał on pod kontrolą aparatu genetycznego (pompy protonowe to przecież białka kodowane przez kwasy nukleinowe), który kierował rozpraszanie energii na odpowiednie tory, włączając w ten sposób aspekt energetyczny do sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych tego pierwotnego układu samopowielającego. Stanowi to przesłankę na rzecz nadrzędności aspektu genetycznego nad dwoma pozostałymi, stanowiącymi jedynie szczególny przypadek materialnej realizacji ogólnych dyrektyw cybernetycznych.

\* \* \*

<sup>51</sup>Przeciwko takiej hipotezie zdaje się świadczyć fakt, że bardzo nieliczne współczesne organizmy wykorzystują prostszy niż ATP nośnik energii, a mianowicie pirofosforan, czyli dwie połączone grupy fosforanowe. Nie ma jednak pewności, czy jest to cecha pierwotnie prymitywna, czy też wtórnie uproszczona.

<sup>52</sup>Godny uwagi jest fakt, że nukleotyd A wchodzi także w skład innych związków ważnych dla metabolizmu komórki, takich jak NAD, NADP, FAD lub koenzym A. Dowodzi to jego "pierwotności" i uniwersalności.

Chciałbym teraz pokrótce zrekapitulować wszystko powiedziane powyżej, to znaczy przedstawić jak mogły wyglądać początkowe etapy ewolucji życia na Ziemi. Jako pierwsze stadium można sobie wyobrazić twór podobny do koacerwatu (być może, na skutek elementarnych zjawisk fizycznych, otoczony już błoną pseudo-lipidową), zawierający (zbudowany z?) samopowielające się krótkie łańcuchy białkowe o przypadkowej sekwencji aminokwasów. Taki zbiór prostych białek, który nazwałem polikatalonem, zdolny był do katalizowania najrozmaitszych reakcji chemicznych z autokatalizą włącznie. Przy okazji, korzystając ze wszechstronnych właściwości "enzymatycznych" polikatalonu, w koacerwacie namnażały się także nici kwasów nukleinowych (RNA). Na skutek syntezy białek i RNA z wchłanianych ze środowiska aminokwasów i nukleotydów, koacerwat rósł i ulegał podziałom. Oba wymienione rodzaje replikacji (powielanie się pęcherzyków oraz znajdujących się w nich łańcuchów białkowych i nici RNA) nie były ze sobą (na razie) skoordynowane i zachodziły całkowicie niezależnie. Jeżeli niektóre z białek w polikatalonie potrafiły działać jako prymitywne pompy protonowe, to prowadziło to do wytworzenia gradientu protonów i sprawniejszego pochłaniania substancji z otoczenia. Jak na razie układ był czysto fizyczny i nie wykazywał podstawowych cech organizmu żywego.

Inne białka w polikatalonie mogły być zdolne do przekształcania XDP w XTP, czerpiąc energię na ten proces z dysypacji gradientu protonowego. Z jednej strony, przypuszczalnie prowadziło to do powstania systemu produkcji energii, z drugiej zaś - do efektywnej syntezy kwasów nukleinowych (zapewne RNA). W tym wydaniu, zarówno wydajne namnażanie kwasów nukleinowych, jak i późniejsze wykształcenie się systemu kodowania i ekspresji informacji genetycznej, uważanego dzisiaj za kluczowy dla istnienia i ewolucji życia, pierwotnie mogło być "produktem ubocznym" pojawienia się prymitywnej "syntazy ATP". Proces produkcji energii w postaci ATP (a także CTP, GTP i UTP) mógł wejść do procesu biopoezy "kuchennymi drzwiami" jako skutek "nietypowego" wykorzystania gradientu protonowego, pierwotnie powodującego po prostu transport substancji poprzez błonę pęcherzyka. To umożliwiło z kolei, także jakby przypadkiem, pojawienie się "naładowanych energetycznie" monomerów wchodzących w skład RNA, a tym samym zaistnienie efektywnych cykli autokatalitycznych kwasów nukleinowych, a potem hipercykli. Pamiętać należy, iż powstanie życia wydaje się procesem celowym tylko *ex post* - w swojej istocie było to zjawisko wynikające z normalnych, nie obdarzonych żadnym celem procesów fizykochemicznych.

Wreszcie, zapewne najbardziej przełomowym krokiem w przebiegu biopoezy, było pojawienie się pierwotnego tRNA, sprzęgającego cykle autokatalityczne białek i kwasów nukleinowych (choć te ostatnie zapewne już wcześniej korzystały z katalitycznej "pomocy" niektórych białek wchodzących w skład polikatalonu) w omówione wyżej hipercykli. Jeśli ktoś chciałby koniecznie wyznaczyć pojedynczy moment powstania życia (jako kryterium można tu użyć omawianego wyżej paradygmatu cybernetycznego), to powyższe zdarzenie jest chyba najlepszym kandydatem. Przypuszczalnie pierwotny kod genetyczny posiadał znacznie prostszą postać od tej znanej obecnie. Jest prawdopodobne, iż był on oparty na dwójkach, a nie trójkach kodonowych i rozpoznawał nie pojedyncze aminokwasy, lecz ich grupy o podobnych właściwościach fizykochemicznych. Grup takich jest kilka: aminokwasy hydrofobowe, polarne, aromatyczne, kwasowe i zasadowe. Nawet obecnie, w

wysocze wyspecjalizowanych białkach, zamiana jednego aminokwasu na inny z tej samej grupy często nie wpływa istotnie na właściwości białka. W pierwotnych białkach być może różne aminokwasy z tej samej grupy były "używane" zamiennie. Dla kodowania pięciu grup aminokwasów wystarczyło pierwotnie pięć rodzajów tRNA, "rozpoznających" te grupy na podstawie ich właściwości fizykochemicznych. Spontaniczne powstanie takiego prostego kodu genetycznego nie wydaje się już skrajnie nieprawdopodobne, tym bardziej, że życie miało do dyspozycji wszystkie wody na kuli ziemskiej i dziesiątki (setki?) milionów lat na "przetestowanie" rozmaitych wariantów. Po zrobieniu tego decydującego kroku ewolucja życia stała się już procesem samonapędzającym się, a główny postęp polegał na różnicowaniu się i specjalizacji białek w polikatalonie, co teraz było równoznaczne ze wzbogacaniem się, powiększaniem i ulepszaniem zapisu genetycznego. Stanowiło to przykład sprzężenia zwrotnego dodatniego (nie związanego zresztą bezpośrednio ze sprzężeniem zwrotnym dodatnim będącym skutkiem autopowielania): sprawniejsze enzymy umożliwiały lepsze kodowanie i odczytywanie informacji genetycznej, to zaś pozwalało na produkcję większej ilości sprawniejszych i bardziej wyspecjalizowanych białek, w ich liczbie przede wszystkim właśnie enzymów.

Główną rolą aparatu genetycznego było zatem umożliwienie zróżnicowania oraz specjalizacji poszczególnych białek w polikatalonie, poprzez zapewnienie przekazu informacji o ich strukturze i funkcji z pokolenia na pokolenie. Odtąd bowiem wszelkie przypadkowe a korzystne zmiany w sekwencji aminokwasów w łańcuchu białkowym nie były ztracone po "śmierci" danego łańcucha (każdy związek organiczny w końcu ulega rozkładowi), lecz podlegały kumulacji jako zmiany w sekwencji nukleotydów w kwasie nukleinowym. Ponieważ, przy udziale enzymów (nawet tych niewyspecjalizowanych będących składowymi polikatalonu) kopiowanie bliźniaczej nici kwasu nukleinowego przebiega z (dosyć) dużą dokładnością, a także znacznie szybciej niż degradacja tego związku, informacja o budowie białek zostaje zachowana i ma zdolność do ewoluowania. W tym sensie można powiedzieć, że polikatalon "dobudował" sobie aparat kopiowania i odczytu informacji genetycznej w celu umożliwienia własnej ewolucji i specjalizacji<sup>53</sup>, stając się hipercyklem.

Często sądzi się, że "podmiotem" ewolucji jest kwas nukleinowy (obecnie głównie DNA), który "wykorzystuje" cały aparat enzymatyczny i w ogóle cały będący jego "nośnikiem" organizm do powielania i ekspansji samego siebie ("samolubne geny" Dawkinsa). Równie dobrze można by jednak utrzymywać, iż życie sprowadza się właściwie do zespołu enzymów, które (pierwotnie jako polikatalon) "wytworzyły" sobie zapis genetyczny w celu bardziej efektywnego powielania samych siebie. Enzymy katalizują bowiem powstawanie i/lub pobieranie z otoczenia nie tylko samych siebie lub swoich substancji budulcowych, ale także wszelkich innych składników organizmów żywych, odpowiedzialne są za całokształt struktury i funkcji tych organizmów. Taki punkt widzenia znajduje dodatkowe uzasadnienie, jeżeli cykle białkowe (polikatalony) rzeczywiście poprzedziły hipercykłe białek i kwasów nukleinowych.

---

<sup>53</sup>Pamiętajmy jednak, że istnieje konkurencyjny scenariusz przebiegu wydarzeń, a mianowicie "świat RNA", czyli powstanie w pierwszej kolejności samopowielających się nici RNA o pewnych właściwościach katalitycznych.



Niewątpliwie, informacja genetyczna zapisana w kwasach nukleinowych (obecnie głównie w DNA), kodująca sekwencję aminokwasów określającą strukturę wszystkich białek organizmu, stanowi niebywale istotny element pozwalający na zachowanie i powielanie jego tożsamości. Białka nie są jednak li tylko produktem systemu odczytu informacji genetycznej. Pełnią one, jako enzymy, bardzo istotną funkcję w katalizie poszczególnych etapów tego procesu. Na przykład, polimeraza DNA odpowiada za replikację, polimeraza RNA za transkrypcję, natomiast syntaza aminoacylo-tRNA oraz rybosomy - za translację. Mnóstwo innych białek pełni rozmaite role w celu utrzymania całego systemu (łącznie z zapisem genetycznym) przy życiu oraz jego powielenia. Podczas ewolucji aparat genetyczny został bowiem "obudowany" w system sprzężeń zwrotnych ujemnych, w którego funkcjonowaniu kluczową rolę grają właśnie białka. W zapisie, powielaniu i odczytywaniu informacji genetycznej biorą więc udział zarówno białka, jak i kwasy nukleinowe. Trzeba pamiętać, iż sekwencja nukleotydów w genach nie ma żadnego "sensu" bez kodu genetycznego, przyporządkowującego tej sekwencji odpowiednią sekwencję aminokwasów w kodowanym przez dany gen białku. Informacja genetyczna to nie tylko informacja zapisana w sekwencji nukleotydów w DNA, lecz także informacja o sposobie "odczytywania" tej informacji przez system zbudowany przede wszystkim z rozmaitych białek. Podobnie, informacja zawarta w tej książce to nie tylko określony ciąg liter, ale także znajomość przez Czytelnika języka polskiego oraz pewnych podstaw fizyki i biologii. Podmiotem ewolucji są zatem nie kwasy nukleinowe lub poszczególne geny, lecz całe samopowielające się układy, złożone w najprostszym przypadku z kwasów nukleinowych oraz białek.

\* \* \*

Przejdę teraz do enzymów oraz roli, jaką odegrał proces ich "wyłaniania się" z poszczególnych białek polikatalonu w ewolucji życia. Enzymy, jako biokatalizatory, odpowiedzialne są za przeprowadzanie większości przemian zachodzących w komórce na poziomie biochemicznym, czyli metabolizmu. Na czym polega proces katalizy enzymatycznej<sup>54</sup>? Wyobraźmy sobie kostkę cukru leżącą na stole w zamkniętym pokoju. Cząsteczki cukru będą reagować z tlenem zawartym w powietrzu, co doprowadzi w końcu do całkowitego utlenienia cukru, przy czym w procesie tym zostanie wytworzony dwutlenek węgla i woda oraz wydzielą się pewna porcja energii w postaci ciepła. Przemiana ta będzie jednak zachodzić bardzo wolno, zapewne przez długie lata. Możemy ją znacznie przyspieszyć podgrzewając kostkę cukru - w końcu zapali się ona, co spowoduje, że proces utleniania zakończy się w ciągu kilku minut, wydzielając gwałtownie dużą ilość ciepła (ta sama ilość ciepła, chociaż rozłożona na lata, zostanie wydzielona przy utlenianiu spontanicznym).

Dlaczego początkowe podgrzanie próbki tak bardzo przyspieszyło reakcję? Każda reakcja potrzebuje do swojego zajścia tak zwanej energii aktywacji. Polega to, mówiąc w pewnym

---

<sup>54</sup>Kataliza enzymatyczna oparta jest na tej samej głównej zasadzie, co kataliza nieorganiczna, różni się zaś od tej ostatniej między innymi wydajnością (enzymy z reguły znacznie bardziej przyspieszają katalizowane przez nie reakcje, niż katalizatory nieorganiczne) i specyficznością (enzymy katalizują tylko daną konkretną reakcję lub wąską grupę podobnych reakcji).

uproszczeniu, na tym, że reagujące ze sobą cząsteczki muszą zderzyć się ze sobą z pewną minimalną prędkością, aby zerwać stare i/lub utworzyć nowe wiązania chemiczne. W temperaturze pokojowej, tylko bardzo mała liczba cząsteczek nabywa, wskutek losowych zderzeń z innymi cząsteczkami, wystarczającej energii kinetycznej. Dlatego w tych warunkach spontaniczne utlenianie cukru zachodzi bardzo powoli. Początkowe podgrzanie kostki cukru dostarcza ilości energii kinetycznej (która jest wszak proporcjonalna do temperatury) wystarczającej do nadania wielu cząsteczkom odpowiedniej prędkości. Zachodząca reakcja (spalanie cukru) wytwarza duże ilości ciepła, tak że dalsze podgrzewanie nie jest potrzebne - reakcja (po przekroczeniu tzw. temperatury zapłonu) podtrzymuje się sama.

Reakcję można zatem przyspieszyć zwiększając temperaturę. Jednakże organizmy żywe nie mogą stosować tej metody przynajmniej dla dwóch powodów. Po pierwsze, wysoka temperatura towarzysząca reakcji spalania zniszczyłaby strukturę żywej komórki. Po drugie, nie leży w interesie tej komórki wytwarzanie efektywnych "fajerwerków" z płomieniem oraz produkcją dużej ilości ciepła, ale raczej gromadzenie powstającej energii (przynajmniej jej części) w jakiejś użytecznej formie. Organizmy heterotroficzne (cudzożywne), do których także my należymy, przeprowadzają dokładnie tę samą, opisaną wyżej reakcję, to znaczy utlenianie cukrów (np. glukozy) z udziałem tlenu do dwutlenku węgla i wody. Robią to jednak w temperaturze pokojowej, a przemiana przebiega w wielu etapach, z których każdy jest katalizowany przez odrębny enzym. Niektóre z tych etapów (fosforylacja membranowa, fosforylacja substratowa w glikolizie) prowadzą do syntezy ATP (uniwersalnego nośnika energii). W dalszym ciągu pozostaje jednak pytanie, jak enzymy przyspieszają szybkość reakcji.

Wspomniałem wcześniej, że do zajścia reakcji konieczne jest, aby energia kinetyczna cząsteczek była co najmniej równa energii aktywacji. Skoro nie można przyspieszyć ruchu cząsteczek (podnieść temperatury), a więc zwiększyć ilości energii kinetycznej do odpowiedniego poziomu, należy obniżyć energię aktywacji. Tak też czynią enzymy. Poprzez odpowiedni kształt swego centrum aktywnego oraz rozmieszczenie w nim ładunków enzymy powodują, że pewne wiązania chemiczne w cząsteczce ich substratu stają się o wiele bardziej podatne na zerwanie, co znacznie przyspiesza szybkość reakcji. Jako analogii zajścia reakcji chemicznej użyję wypadnięcia gumowej piłeczki ze szklanki. Piłeczka taka może w ogóle wypaść ze szklanki (zakładamy, że szklanka usytuowana jest pionowo, denkiem do dołu), tylko jeżeli tą ostatnią potrząsamy. Potrząsanie odpowiada zderzaniu się cząsteczek - powyżej temperatury zera bezwzględnego cząsteczki zawsze mają jakąś energię kinetyczną. Aby przyspieszyć (uprawdopodobnić) wypadnięcie piłeczki ze szklanki, możemy zwiększyć intensywność potrząsania. Odpowiada to wzrostowi temperatury. Możemy też jednak po prostu obniżyć brzegi szklanki, czyli energię aktywacji. To jest właśnie strategia stosowana przez enzymy.

Enzymy, przyspieszając zachodzenie reakcji chemicznych, zwiększają znacznie intensywność ogromnej ilości procesów w ustrojach żywych lub, po prostu, "rozpędzają" samo życie. Dzięki swojej specyficzności, katalizują tylko te reakcje, które są potrzebne dla komórki. Możliwość dziedziczenia wszelkich zmian w ich strukturze i funkcji miała przełomowe znaczenie, otwierając

drogę do szybkiego doskonalenia i specjalizacji systemu enzymatycznego w porównaniu ze słabo zróżnicowanym polikatalonem. Pociągnęło to za sobą ogromne usprawnienie wszystkich funkcji, wykonywanych dotychczas przez ten ostatni, takich jak synteza białek i kwasów nukleinowych, pompowanie protonów, synteza ATP, oraz przejście nowych zadań, jak transport przez błony, podział komórki i tysiące innych, które nawet trudno tu zwięźle wymieniść. Jest to jeszcze jeden powód, dla którego wytworzenie aparatu genetycznego można uznać z moment, w którym życie, po przedarciu się przez szereg "wąskich gardeł" na drodze do swego powstania, miało wreszcie otwartą drogę do zawładnięcia powierzchnią naszej planety.

\* \* \*

Na tym zakończę opis możliwego przebiegu biopoezy. Chciałbym jeszcze raz podkreślić, że przedstawiony wyżej proces powstawania życia na Ziemi stanowi w dużej mierze umysłową spekulację. Jest ona zgodna z faktami naukowymi, opiera się na nich, ale w wielu wypadkach wykracza poza nie. Niejednokrotnie już okazało się, że wyobraźnia natury znacznie przewyższa ludzką. Czy zatem narodziny życia miały rzeczywiście taki przebieg, jak przedstawiłem powyżej? W szczegółach - z pewnością nie. W ogólnym zarysie - być może<sup>55</sup>. Nie jest to w tym momencie najważniejsze. Nie o ścisłe realcjonowanie pewnego zjawiska historycznego chodziło mi bowiem, ale o pokazanie, że, przynajmniej w zasadzie, życie nie musiało powstać od razu, w jednym akcie jako twór wysoce skomplikowany, taki, jakim znamy go dzisiaj. Przeciwnie, do pomyślenia jest jego rozwój krok po kroku, etapami. Konieczność powstania wysoko uorganizowanego życia skokowo z materii nieożywionej na zasadzie "wszystko albo nic" budzi bowiem zdecydowany intuicyjny sprzeciw jako zdarzenie skrajnie nieprawdopodobne. Jeżeli, z drugiej strony, zgodzimy się, że zaawansowane "żywe" od "nieożywionego" dzieli szereg stadiów przejściowych, to możemy wyobrazić sobie powolny rozwój, wyłanianie się życia z materii nieożywionej, gdzie poszczególne etapy, przechodząc w miarę płynnie jedne w drugie, są mimo to w pełni funkcjonalne i zdolne do dalszej ewolucji. Używając nakreślonej uprzednio analogii, chodziło mi o pokazanie, że da się, wbrew intuicyjnym oczekiwaniom, tak przebudować będący w pełnym biegu samochód, dokładając doń "śrubka po śrubce", że nie tylko nie ulegnie on rozbiciu o najbliższe drzewo, ale w końcu uniesie się w przestworza. Niejednokrotnie zresztą ewolucjonizm borykał się z problemem "niemożliwych do pomyślenia" stadiów przejściowych, jako całkowicie niefunkcyjnych. O ile mi wiadomo, dla większości takich "paradoksów" zaproponowano w końcu prawdopodobne rozwiązania. Co do reszty, cóż, wyobraźnia natury nadal jest jeszcze znacznie bogatsza od ludzkiej.

Wydaje się zatem, co próbowałem uprawdopodobnić w niniejszym rozdziale, że życie mogło powstać spontanicznie. Dodatkowym powodem przedstawienia powyższej, w wielu punktach wysoce spekulatywnej, historii rodzenia się życia była próba obrazowego zaprezentowania tych aspektów życia, które wydają się najbardziej istotne dla zrozumienia jego istoty i właściwości, na czele ze

---

<sup>55</sup>W istocie, zostały zaproponowane rozmaite koncepcje odmienne, przynajmniej w szczegółach, od tej przedstawionej przeze mnie, na przykład wspomniany "świat RNA". Mogą one stanowić wyjaśnienie alternatywne albo uzupełniające. Z pewnością nigdy nie poznamy wszystkich szczegółów procesu powstawania życia.

zdolnością do, czy wręcz nieuchronnością - ewolucji. Sformułowana w poprzednim rozdziale cybernetyczna definicja życia nic bowiem nie mówi w kwestii, jak zawarte w niej pewne ogólne dyrektywy zostały zrealizowane w danym konkretnym przypadku życia na Ziemi. Przeprowadzone rozważania miały uzmysłwić, że chociaż aspekt genetyczny najbliżej dotyka paradygmatu cybernetycznego, to jednak w realnym, materialnym świecie rodzące się życie musiało "zadbać" także o realizację innych aspektów, niezbędnych do jego zaistnienia, w tym strukturalnego i energetycznego. Aspekty te, zrazu stanowiące proste procesy fizykochemiczne (np. wzrost i namnażanie się koacerwatopodobnych pęcherzyków), po przejściu pod kontrolę aspektu genetycznego (kontrola ta sprawowana jest za pośrednictwem odpowiedniej struktury i funkcji adekwatnych białek enzymatycznych) stawały się częścią skomplikowanej sieci sprzężeń zwrotnych ujemnych, podtrzymujących samonamnażanie się całego układu.

Tak doszliśmy do etapu pojawienia się pierwszych organizmów żywych. I w tym miejscu zakończymy nasze rozważania dotyczące ewolucji biologicznej. Powód jest prosty. Choć być może zabrzmi to paradoksalnie, przez całe następne ponad trzy miliardy lat historii rozwoju życia nic się już ciekawego, patrząc z perspektywy zrozumienia najważniejszych podstaw istoty fenomenu życia, nie wydarzyło. Proszę mnie źle nie zrozumieć. Oczywiście, życie wykształciło w tym czasie ogromną różnorodność form. Powstały Prokaryota (bakterie, sinice) i Eukaryota (organizmy jądrowe). Pojawiły się rośliny i zwierzęta, zarówno jedno-, jak i wielokomórkowe. Wytworzonych zostało wiele najrozmaitszych typów budowy, które stopniowo ulegały różnicowaniu i komplikacji. Życie wyszło z oceanów na ląd, opanowało powietrze, rozszerzyło swój zasięg z tropików na wysokie góry i strefę polarną. Wreszcie, powstał gatunek *Homo sapiens*, obdarzony świadomą swego istnienia psychiką i zdolny do wytworzenia kultury. Bogactwo form życia jest niewątpliwie imponujące. Jednakże, jak to dyskutowałem wcześniej, na poziomie biochemicznym i genetycznym podstawowe mechanizmy funkcjonowania wszystkich znanych nam organizmów żywych są właściwie identyczne. Różnice pomiędzy różnymi formami sprowadzają się w zasadzie do kodowania przez ich DNA odmiennych białek, w ich liczbie przede wszystkim białek regulatorowych.

Białka regulatorowe odpowiadają za kontrolę ekspresji informacji genetycznej, to znaczy sterowanie tym, które geny, kiedy i gdzie zostaną uaktywnione, w wyniku czego nastąpi synteza kodowanych przez nie białek. Cały rozwój osobniczy człowieka od zapłodnionej komórki jajowej do stadium dorosłego to skutek działania niezwykle skomplikowanego systemu białek regulatorowych (a pośrednio także, powstałych w wyniku ich działania, gradientów przestrzennych tzw. czynników morfogenetycznych). Białka takie występują jednakże już u bakterii. Ich działanie opisuje tutaj teoria operonu, za sformułowanie której Jacob i Monod otrzymali Nagrodę Nobla. Regulacja sprowadza się w tym przypadku do produkcji enzymów służących do rozkładu różnych substancji odżywczych w odpowiedzi na pojawienie się w tych substancji w środowisku. Cząsteczki cukru laktozy, żeby użyć omawianego już wcześniej przykładu, powodują inaktywację białka regulatorowego zwanego represorem, które w swej formie aktywnej hamuje syntezę mRNA kodującego trzy białka odpowiedzialne za transport i przekształcenie laktozy. W wyniku następuje synteza tych białek i rozkład tego cukru.

U Eukaryota, a w szczególności u organizmów wielokomórkowych, system funkcjonowania białek regulatorowych jest zdecydowanie bardziej złożony. On to determinuje przebieg rozwoju embrionalnego i w rezultacie stopień i rodzaj złożoności organizmu dorosłego. Generalnie rzecz biorąc, szybkość wzrostu skomplikowania struktury w procesie ewolucji była proporcjonalna do aktualnego poziomu komplikacji tej struktury. W analogii do ekonomicznego stwierdzenia, że pieniądz rodzi pieniądz, można powiedzieć, iż w ewolucji biologicznej struktura rodzi strukturę. Jakoż np. próg strukturalny konieczny do rozwoju form wielokomórkowych został przekroczony stosunkowo niedawno, niecały miliard lat temu. Od tego momentu obserwujemy burzliwą ewolucję organizmów tkankowych, roślin i zwierząt, w tempie lawinowym zwiększających swój poziom organizacji. Ale to już całkiem inna historia. Nie należy zapominać, że całe bogactwo i złożoność świata żywego to tylko wariacje na temat pewnych podstawowych mechanizmów stanowiących o istocie życia, wytworzonych ponad trzy i pół miliarda lat temu w procesie biopoezy.

### 3. EWOLUCJA SIECI POJĘCIOWEJ

#### 3.1. WSTĘP

Niniejsza część książki, mimo iż opiera się na faktach naukowych, musi być, biorąc pod uwagę obecny stan wiedzy, uważana za pracę na poły filozoficzną<sup>56</sup>. Dlatego też, jak to wielokrotnie bywało w historii wzajemnych relacji pomiędzy nauką i filozofią, zapewne okaże się, iż wiele zaproponowanych tu szczegółowych tez i opinii przyszła nauka zweryfikuje jako uproszczone, naiwne lub wręcz fałszywe. Prawdopodobnie dalszy rozwój neurofizjologii i teorii świadomości postawi problemy i zaproponuje wnioski, których, dysponując naszym obecnym aparatem pojęciowym, nawet nie przeczuwamy. Dlatego też szczegółowych rozwiązań prezentowanych w tej części książki nie należy brać zbyt dosłownie; bardziej istotne są ogólne przesłanki i konkluzje. Pracę tę napisałem z przekonaniem, iż jej zasadnicza idea, dotycząca konotacyjnego znaczenia pojęć oraz ewolucji sieci pojęciowej w rozwoju ontogenetycznym i filogenetycznym jest słuszna. Jeżeli się mylę, to być może zasługą niniejszego wywodu będzie przynajmniej jasne postawienie problemu.

Wyjdę od założenia materialnego podłoża psychiki. Przyjmuję, iż jest ona pochodną fizjologicznej aktywności układu nerwowego człowieka. Zakładam także (co potem postaram się uzasadnić), że treścią świadomości są (szeroko rozumiane) pojęcia i ich zespoły, tworzące sieć pojęciową. Prześlę wreszcie przypuszczalną ewolucję tejże sieci w rozwoju osobniczym (ontogenetycznym) i ewolucyjnym (filogenetycznym) człowieka.

W poniższych rozważaniach pewnych terminów, takich jak "pojęcie", "sens" czy "denotacja" używam w znaczeniu nieco odmiennym, niż to utrwalone w wieloletniej tradycji filozoficznej. Unikam przy tym ich doraźnego i zwięzłego definiowania - sędzę, iż najlepszy kontekst służący dookreśleniu tych terminów stanowi cała niniejsza książka. Ogólnie rzecz biorąc bowiem, preferuję coś, co można by nazwać "definiowaniem poprzez użycie". Na dłuższą metę wydaje mi się ono być bardziej efektywne. Zdaję sobie sprawę, iż takie podejście może początkowo spowodować pewne trudności w lekturze. Niemniej, żywię nadzieję, że rzeczy nabiorą jasności, kiedy wspomniane terminy zostaną uwikłane w najrozmaitsze relacje z innymi terminami (pojęciami) i przez to lepiej "zlokalizowane" semantycznie.

---

<sup>56</sup> Szerszy kontekst filozoficzny związany z poruszonym tutaj tematem omawiam w książce "Absolut - odniesienie urojone".

### 3.2. CO TO JEST SIEĆ POJĘCIOWA?

W niniejszym artykule będę się posługiwał pojęciem pojęcia w jego obiegowym znaczeniu, dookreślając je jednak w pewnych aspektach. Pojęcie rozumiem zatem jako pewną jednostkę znaczenia, sensu. A ponieważ wszystko, co dociera do naszej świadomości i stanowi jej treść musi coś znaczyć, wszystko to jest pojęciem lub zespołem pojęć. Pojęcie traktuję zatem jako "jednostkę" świadomości, myśli. Pogląd mój można wobec tego nazwać koncepcją "myślenia pojęciowego", w opozycji do "myślenia językowego" Wittgensteina. Pojęciu odpowiadają wszelkie rodzaje bytów, jakie możemy postrzec, pomyśleć, wyobrazić sobie, wreszcie ogarnąć na jawie, we śnie lub w transie mistycznym, religijnym, względnie narkotycznym. Pojęciem jest drzewo, centaur, Juliusz Cezar, kategoria, anioł, miłość, sprawiedliwość oraz całe mnóstwo "obiektów" tak mglistych i niedookreślonych, że nie znajdujemy dla nich nazw językowych. Pojęcia to nie tylko "byty jednostkowe", jak, na przykład, nazwy językowe w zdaniu, to także twory bardziej złożone, odpowiadające całym zdaniom, koncepcjom i ideom. Nie ma bytów nie będących (w naszej świadomości) pojęciami. W prezentowanym tu, szerokim rozumieniu pojęcia, pojęciami są każde, nawet najbardziej mgliste sensory. Mówiąc o świadomości lub psychice (a ściślej - o ich zawartości), mówimy zatem, niejako z definicji, o zespołach pojęć.

Taki, wypełniający naszą świadomość, będący jej treścią zespół pojęć powiązanych pomiędzy sobą pewnymi określonymi relacjami, wykazujący pewne specyficzne cechy będę nazywał siecią pojęciową. Pojęcia w sieci pojęciowej nie posiadają ostrych granic pomiędzy sobą: jedne przechodzą płynnie w inne. To tak, jak ze wzgórzami w krajobrazie; chociaż "istnieją" poszczególne wzgórza, to nie ma żadnych ostrych granic pomiędzy nimi. Sieć pojęciowa jest zatem tworem ciągłym (w przeciwieństwie do, na przykład, języka, który składa się z dyskretnych, "skwantowanych" nazw). O tożsamości danego pojęcia decydują dwie cechy. Jedna to dookreślenie, stopień wyodrębnienia sensu pojęcia, "natężenie" jego znaczenia w "polu semantycznym". Cecha ta decyduje o tym, jak jasno i wyraźnie dane pojęcie jawi się w naszej świadomości, jak bardzo wydaje się nam ono oczywiste i jednoznaczne. Druga właściwość różnicująca pojęcia to fakt, z jakimi innymi pojęciami łączy się dane pojęcie w sieci pojęciowej, do jakich innych pojęć odnosi się ono semantycznie (i w jaki sposób), jakie inne pojęcia je "definiują". Ta cecha decyduje o tym, co dane pojęcie znaczy. Ponieważ znaczenie pojęcia jest określone tylko i wyłącznie poprzez kontekst semantyczny, odniesienie do innych pojęć, mówimy tu o znaczeniu przez konotację (w przeciwieństwie do znaczenia przez denotację, gdzie znaczenie realizowałoby się poprzez bezpośrednią odpowiedniość pojęć i desygnowanych przez nie obiektów). Pojęcia "definiujące" dane pojęcie są z kolei same "definiowane" przez następne pojęcia i tak dalej; w końcu wszystkie pojęcia są "definiowane" przez wszystkie pojęcia, odpowiedni kontekst znaczeniowy dla danego pojęcia stanowi cała sieć pojęciowa. Poniżej pokażę, jak konotacyjność pojęć w obrębie sieci pojęciowej wynika ze struktury sieci nerwowej w mózgu ludzkim. Należy jeszcze wspomnieć, iż pierwsza z wymienionych cech pojęcia jest wtórna w stosunku do drugiej, a mianowicie dookreślenie, "natężenie semantyczne" danego

pojęcia jest pochodną ilości relacji z innymi pojęciami, bogactwa jego powiązań konotacyjnych w sieci pojęciowej.

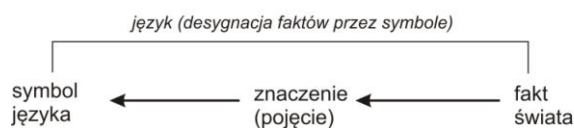
Jeżeli "wymiary" przestrzeni semantycznej zobrazować w postaci "osi znaczeniowych" (wyznaczających w tej przestrzeni coś w rodzaju kartezjańskiego układu współrzędnych), to pojęcia powstają poprzez "polaryzację" na tych osiach w odniesieniu do innych pojęć. Przykłady prostych osi znaczeniowych to: ciepły - zimny, jasny - ciemny, duży - mały, dobry - zły. Należy zaznaczyć, iż osie znaczeniowe, podobnie jak pojęcia, są tworamii ciągłymi, zarówno "wzdłuż" osi, jak i "pomiędzy osiami", przy odgraniczaniu jednej osi od drugiej. Poza tym rodzaj polaryzacji (przeciwstawne końce osi) są także określone przez pojęcia. Manifestuje się tu konotacyjność sieci pojęciowej (pojęcia są określane przez osie pojęciowe, a osie przez pojęcia). Pojęcia zróżnicowane za pomocą jednej tylko osi znaczeniowej mają swoją wyraźną "antytezę", lustrzane odbicie, jak to ma miejsce w parze pojęć: szybki - wolny. Pojęcia określone przez wielką liczbę takich osi nie mają z reguły jednoznacznej antytezy, to znaczy pojęcia opisywanego przez przeciwny biegun na każdej z tych osi - po prostu taka kombinacja znaczeń nie determinuje żadnego realnego, lub chociażby możliwego do wyobrażenia obiektu. Trudno byłoby sobie na przykład pomyśleć rzecz będącą pod każdym względem przeciwieństwem słonia (musiałaby to być rzecz "mała", bez trąby, nieożywiona, nieszara i tak w nieskończoność). Istnienie osi znaczeniowych nie implikuje zatem wniosku, że każde pojęcie ma swoje przeciwieństwo. Prawomocne pozostaje jednak stwierdzenie, że sensory pojawiają się w momencie "rozwarstwienia", polaryzacji "pustki semantycznej" na osiach znaczeniowych.

Nazwy języka odpowiadają tym pojęciom w sieci pojęciowej, które są najbardziej jasne, jednoznaczne, najlepiej dookreślone. Pojęcia mgliste, ledwo uchwytnie, z trudnością poddające się interpretacji nie posiadają swych odpowiedników w warstwie językowej. Poza tym sam język, twór pozornie tak autonomiczny i dyskretny, jest w swej głębszej warstwie również zbudowany z pojęć, które leżą u podstawy nazw językowych. Rozumieć to należy w ten sposób, że zarówno sam symbol (np. ciąg liter składających się na wyraz), jego znaczenie (zbiór sensów, które ten symbol desygnuje), jak i relacja korespondencji pomiędzy nimi (tzn. symbolem i jego znaczeniem), są ograniczone tylko i wyłącznie do (zbudowane są z) sieci pojęciowej. Sieć pojęciowa zatem to struktura ogólniejsza i bardziej pierwotna od języka. Dlatego to właśnie pojęcia, a nie nazwy i zdania języka są treścią naszej świadomości. Język służy pierwotnie komunikacji pomiędzy dwoma świadomościami, dwoma sieciami pojęciowymi. Powstanie języka usprawniło potem, oczywiście, sam proces myślenia, jako że język jest doskonałym instrumentem do operowania całością sieci pojęciowej (będącym wszakże jej częścią). Stąd wzięły się zapewne koncepcje "myślenia językowego". Prawdopodobnie zresztą niemożliwe jest powstanie wyższych form myślenia i świadomości, będących domeną człowieka, bez udziału języka. Nie zmienia to jednak faktu, że podstawowym "tworzywem" procesów psychicznych są pojęcia.

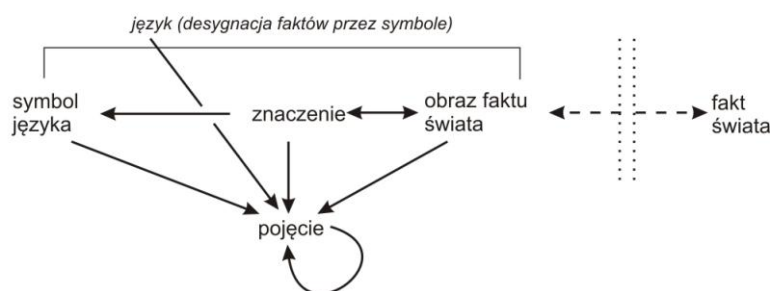
Różnicę pomiędzy powszechnie przyjętym poglądem na temat wzajemnej relacji języka i pojęć, a koncepcją prezentowaną w niniejszym rozdziale (oraz, obszerniej, w mojej książce "Absolut - odniesienie urojone") ukazuje Rycina 3.1. W obiegujowej wersji język to pewien system dyskretnych znaków denotujących rozmaite (również dyskretnie) aspekty ("fakty") świata. Pojęcia, lub znaczenia,



a. pogląd tradycyjny: język nadrzędny w stosunku do pojęć



b. sieć pojęciowa : pojęcia nadrzędne w stosunku do języka



Ryc. 3. 1. Porównanie tradycyjnego poglądu na relację pomiędzy pojęciami a językiem z poglądem reprezentowanym w niniejszej pracy. (a) Tradycyjnie język uważany jest za zespół znaków denotujących fakty świata. Pod nazwami kryją się ich znaczenia, które można utożsamić z pojęciami. (b) W niniejszej pracy przyjęto, że podstawowym "składnikiem" subiektywnej strony świata są pojęcia. Z nich to zbudowany jest nasz obraz świata, język ze swoimi elementami (nazwami i związanymi z nimi znaczeniami) a także wszelkie inne znaczenia dostępne naszemu umysłowi, w tym to, co bardziej potocznie jest uważane za pojęcia. Relacja (oparta o biologiczną funkcjonalność) ustanawiająca odpowiedniość pomiędzy faktami świata a ich obrazem w umyśle jest w pewnym sensie dwustronna, jako że już posiadany obraz świata współwarunkuje swoją własną rozbudowę wraz z obiektywną rzeczywistością.

stanowią semantyczną podszewkę poszczególnych nazw językowych, określając ich sens. Język jest tu nadrzędny w stosunku do pojęć, grających jedynie rolę elementu całego systemu językowego. W proponowanej przeze mnie koncepcji ten zasadniczy schemat w istocie rzeczy nie ulega zmianie. Natomiast sfera pojęć rozrasta tu się na tyle, by objąć wszystko, co leży po "subiektywnej stronie rzeczywistości", zatem nie tylko potocznie rozumiane znaczenia nazw językowych, lecz także inne, mgliste pojęcia nie posiadające nazw oraz utworzony w naszym umyśle obraz faktów świata, a wreszcie całą strukturę języka wraz z jego dyskretnymi nazwami i relacją denotacji. Nieco upraszczając, pozornie "ostre" (dyskretne) znaki językowe oraz jednoznaczna ponoć relacja denotacji, tak w istocie, na głębszym niejako (podstawowym) poziomie, zbudowane są po prostu z ciągłych z natury pojęć. Wszystko, czego w jakikolwiek sposób jesteśmy w stanie osiągnąć bezpośrednio naszym umysłem, to rozmaite fragmenty sieci pojęciowej. W tym ujęciu, sieć pojęciowa okazuje się być tworem nadrzędnym, o wiele bardziej ogólnym od języka. Na schemacie położono także nacisk na to, iż relacja pomiędzy faktami świata a ich obrazami w umyśle (sieci pojęciowej) to nie prosta dwuczłonowa denotacja, przyporządkowanie na zasadzie jedno-jednoznacznej, lecz wynik stopniowego, zrazu "na chybił trafił", dopasowywania ok sieci pojęciowej do rozmaitych aspektów

obiektywnej rzeczywistości, odbywającego się w trakcie ewolucji biologicznej i rozwoju osobniczego. W tym momencie jednak nieco za bardzo wybiegłem naprzód, cofnijmy się więc do określenia "fenomenologicznej" istoty sieci pojęciowej, bez zagłębiania się we wnioski płynące z jej biologicznej genezy.

Uwaga świadomości w danym momencie jest skupiona oczywiście tylko na bardzo małym fragmencie posiadanej przez nas sieci pojęciowej. Jednakże rozumienie właśnie używanych pojęć opiera się na jej całości. Sieć pojęciowa nie jest tworem jednolitym. Zawiera ona mniej lub bardziej wyróżnione i spójne wewnętrznie obszary, jak poszczególne dyscypliny naukowe, religia czy wreszcie sfera pojęć potocznych. Wiemy doskonale, chociażby z introspekcji, że posiadanej przez nas obecnie sieci pojęciowej, z całym jej bogactwem wiedzy, informacji i zdolności myślenia, nie dostaliśmy gotowej w momencie urodzin; przeciwnie, na samym początku nie dysponowaliśmy prawie żadnymi pojęciami. Potem, w ciągu naszego życia rosła nasza wiedza o świecie, rozwijał światopogląd, zwiększało "rozumienie" różnych aspektów rzeczywistości, wytworów kultury, nauki i sztuki, zmieniało i wzbogacało znaczenie "tych samych" nazw językowych. Jest zatem oczywiste, że w czasie życia nasza sieć pojęciowa musiała ewoluować w rozwoju osobniczym (ontogenetycznym). Wiemy, iż gatunek *Homo sapiens* powstał w ewolucji biologicznej z przodków zwierzęcych. Długi ciąg naszych antenatów zawiera małpy (niektórzy mówią o "wspólnym przodku z małpami", co jest oczywistą hipokryzją; gdyby ten przodek żył obecnie, z pewnością by go zaliczono do małp), ryby trzonopłetwe oraz, sięgając jeszcze wcześniej, jakieś bliżej nieokreślone organizmy jednokomórkowe, by wspomnieć tylko nielicznych. O ile u małp można by się doszukiwać jakichś zaczątków świadomości, to trudno to powiedzieć o wymoczkach. Zatem świadomość, razem z leżącą u jej podstawy siecią pojęciową, musiała podlegać rozwojowi w trakcie ewolucji biologicznej. Wreszcie, o ile świadomość stworzyła kulturę, naukę i religię, to sama była przez nie w ogromnym stopniu kształtowana. Zatem rozwój sieci pojęciowej musiał przebiegać równoległe z rozwojem cywilizacji.

Analizując istotę, strukturę i rozwój sieci pojęciowej analizujemy, czym jest świadomość. Analizując sieć nerwową dowiadujemy się czegoś o sieci pojęciowej. Te dwa założenia stanowią podstawę dalszej części artykułu.

Aby uniknąć nieporozumień, muszę zastrzec, że nie traktuję sieci pojęciowej jako tworu w jakiś sposób absolutnego czy "obiektywnego", jak to z reguły czyni filozofia w odniesieniu do, na przykład, ducha i materii, lecz jedynie jako wygodny model, pozwalający opisać interesujące nas aspekty omawianego problemu.

### 3.3. SIEĆ NERWOWA JAKO PODŁOŻE SIECI POJĘCIOWEJ.

Skąd się bierze konotacyjna struktura sieci pojęciowej? Jak zaznaczyłem wcześniej, zakładam materialne podłoże świadomości. Przyjmuję zatem, iż sfera psychiczna jest w jakiś sposób pochodną fizjologicznej aktywności mózgu. Jednostkę funkcjonalną mózgu stanowi komórka nerwowa (neuron), która wraz z innymi komórkami tworzy sieć nerwową. Działalność pojedynczej komórki w obrębie tej sieci polega na percepcji bodźców od innych komórek za pomocą wypustek zwanych dendrytami, przetworzeniu tych bodźców przy udziale już posiadanej przez komórkę informacji (pamięci) oraz ewentualnym przekazywaniu przetworzonego impulsu do innych komórek za pomocą wypustki zwanej aksonem (neurylem). Akson jednej komórki nerwowej łączy się z dendrytami innych komórek za pomocą synaps. Jest rzeczą oczywistą, że różne komórki nerwowe, spełniając odmienne role, wchodząc w skład odmiennych ośrodków w mózgu, muszą różnić się między sobą. Na czym więc owe (funkcjonalne) różnice polegają? Możemy wyróżnić ich dwie odrębne kategorie.

Pierwsza z nich to różnice wewnętrzne. Każda komórka nerwowa ma charakterystyczną dla siebie funkcję logiczną transformującą bodźce do niej docierające na bodźce przesyłane dalej. Mówiąc prościej, każda komórka robi odmienny użytek z danego zestawu impulsów, który do niej dociera. Jedną daną kombinację sygnałów wzmacnia, wysyłając na wyjściu silny sygnał, inna na tę samą kombinację wejściową nie reaguje wysłaniem żadnego impulsu. Przez zestaw, kombinację wejściową rozumiem to, jakie dendryty, jak silnie i w jakim następstwie czasowym są pobudzane, natomiast przez odpowiedź na wyjściu to, czy i w jaki sposób (chodzi tu o modulację czasową) impuls zostaje przesłany przez akson dalej. Sposób przyporządkowania każdemu sygnałowi na wejściu jakiegoś sygnału na wyjściu stanowi właśnie o specyficzności danej komórki (należy przy tym podkreślić, iż odpowiedź poszczególnego neuronu, a zwłaszcza zespołu neuronów, na dany zestaw bodźców nie jest ściśle zdeterminowana; da się tylko określić prawdopodobieństwa pewnych określonych reakcji).

Ideę swoistego przetwarzania, transformacji bodźców przez komórkę nerwową rozważymy na bardzo prostym przykładzie. Załóżmy, iż nasza komórka ma tylko dwa wejścia (dendryty) A i B, jedno wyjście (akson) C, oraz że owe wejścia i wyjście mogą znajdować się tylko w dwóch stanach: 1 (sygnał obecny) i 0 (brak sygnału). Należy zaznaczyć, iż utożsamianie dendrytów i aksonów z wejściami i wyjściami jest pewnym uproszczeniem; należałoby raczej mówić o synapsach ulokowanych na dendrytach i aksonie. W tym (bardzo uproszczonym) przypadku nasza komórka może wykonywać jedną z wielu funkcji logicznych. Niech będzie nią: jeżeli nie-A i B to C; innymi słowy, sygnał na wyjściu C (aksonie) pojawi się tylko wtedy, jeżeli zostanie pobudzony dendryt (wejście) B i nie zostanie pobudzony dendryt (wejście) A. Inna komórka może realizować inną funkcję logiczną, np.: jeżeli A lub B to C. Oczywiście wraz ze wzrostem ilości wejść (dendrytów i ulokowanych na nich synaps) i różnorodności ich stanów (rodzajów pobudzenia) ilość możliwych funkcji logicznych transformujących sygnały z wejść w sygnał na wyjściu niepomiaralnie rośnie. Rodzaj realizowanej

funkcji może się zmienić pod wpływem przeszłych doświadczeń (pobudzeń). Nazywamy to pamięcią. Pamięć dotyczy zarówno poszczególnych neuronów, jak i ich zespołów. Może ona się wiązać z tworzeniem lub selekcją istniejących połączeń pomiędzy aksonami i dendrytami (synaps) lub też ze zmianami informacji zapisanej w białkach i kwasach nukleinowych w ciele komórki. Jej fizjologiczne (lub może biochemiczne) podłoże nie jest jeszcze do końca poznane.

Czy funkcja logiczna realizowana przez daną komórkę nerwową określa jednoznacznie jej rolę i znaczenie w obrębie całej sieci nerwowej, czy całkowicie determinuje jej swoistość i specyficzność? A jeżeli nie, to czy cecha ta nie jest tu chociaż czynnikiem decydującym? Odpowiedź na oba pytania jest negatywna. To, co przede wszystkim określa "znaczenie" danego neuronu (lub zespołu neuronów) w "kontekście" funkcjonalnym sieci nerwowej i całego mózgu to ich połączenie za pomocą dendrytów i aksonów z innymi neuronami (zespołami neuronów). Należy podkreślić, że komórek nerwowych realizujących daną konkretną funkcję logiczną może być (i zapewne jest) w obrębie mózgu wiele; komórki te mogą w rozmaitych ośrodkach pełnić odmienne role, uczestniczyć w rozmaitych procesach oraz być podłożem (razem z innymi komórkami) rozmaitych procesów psychicznych. Natomiast w całym mózgu istnieje (zapewne) tylko jedna jedyna komórka łącząca się dokładnie z tymi, a nie innymi komórkami (zespołami komórek) w dokładnie taki, a nie inny (pod względem funkcjonalnym) sposób. Widzimy zatem, iż różnice wewnętrzne pomiędzy komórkami (w charakterze realizowanych przez nie funkcji logicznych) są zupełnie niewystarczające do określenia swoistości i indywidualności ich roli w mózgu<sup>57</sup>. Przynajmniej równie istotne są różnice zewnętrzne, dotyczące otoczenia danej komórki w sieci nerwowej, jej kontekstu znaczeniowego, czyli tego, z jakimi innymi konkretnymi neuronami jest ona połączona i w jaki sposób. Funkcja logiczna takiej komórki wyjętej z tego otoczenia traci sens, staje się ona pustą strukturą, która, mogąc dotyczyć dowolnych realnych treści, w efekcie nie dotyczy żadnych. Informacja "zawarta" w danym neuronie jako elemencie sieci nerwowej jest zatem sumą informacji o jej wewnętrznej "strukturze logicznej" i informacji o jej funkcjonalnej "lokalizacji" w obrębie sieci nerwowej (a więc, *de facto*, o strukturze całej sieci nerwowej). Pierwsza związana jest z pamięcią statyczną i lokalną, zapewne o podłożu biochemicznym; druga - z pamięcią globalną, która być może częściowo jest pamięcią dynamiczną, polegającą na krążeniu pewnych sygnałów w obwodach neuronalnych. Tylko ten pierwszy rodzaj informacji i pamięci może być zachowany po zburzeniu struktury sieci nerwowej, a więc ewentualnie zapisany i przekazywany genetycznie. Zatem dziedziczeniu podlega jedynie struktura pojedynczych neuronów i stosunkowo bardzo prostych sieci nerwowych. Struktura sieci bardziej skomplikowanych,

---

<sup>57</sup> Np. neuron (lub prosta sieć neuronów) odpowiedzialny za "widzenie" ruchu (porównaj następujący poniżej przykład z zębą) przekazuje impuls dalej, jeżeli przed chwilą nie odbierał sygnałów od receptora (komórki światłoczułej), a teraz taki sygnał odebrał lub odwrotnie, natomiast nie reaguje na nieprzerwany ciąg sygnałów, ewentualnie ich brak. Jeżeli jednak taki neuron wyjęlibyśmy z właściwego mu miejsca w sieci nerwowej i umieścili w ośrodku odpowiedzialnym za odczuwanie bólu i związany z tym odruch bezwarunkowy, na przykład cofanie ręki po dotknięciu gorącego przedmiotu, doprowadziłoby to do opłakanych skutków. Po włożeniu ręki do ogniska czulibyśmy ból przez ułamek sekundy, po czym nic w ogóle. Z tak działającym układem nerwowym byłibyśmy spisani na straty przez ewolucję.

przede wszystkim tych związanych z psychiką ludzką, musi więc ewoluować w trakcie rozwoju osobniczego poprzez nabywanie nowych doświadczeń.

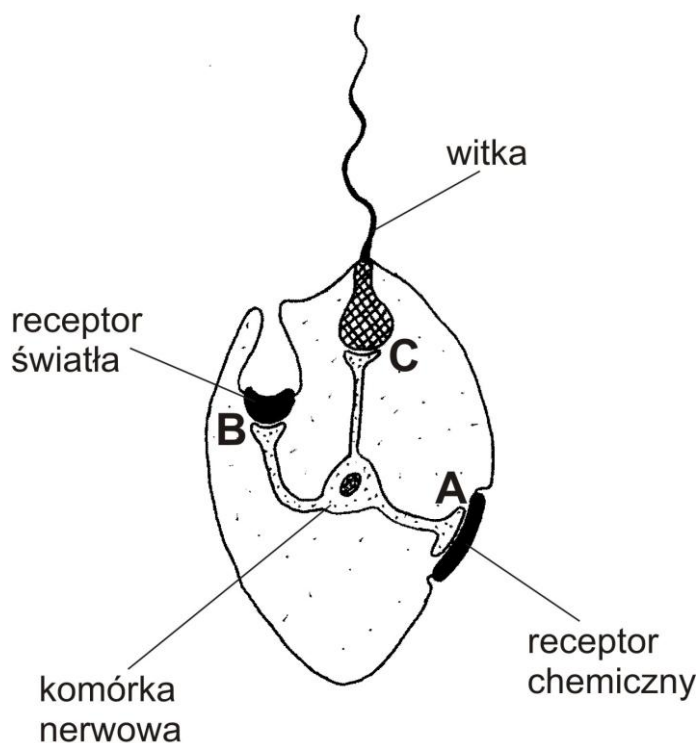
Ideę relatywności znaczenia wewnętrznej funkcji logicznej danej komórki nerwowej w odniesieniu do jej otoczenia "semantycznego" zilustruję na prostym przykładzie<sup>58</sup>. Jak wspomniałem wcześniej, komórka nerwowa łączy się z innymi neuronami za pomocą swoich dendrytów (wejścia) i aksonu (wyjście). Może ona ponadto odbierać (za pośrednictwem dendrytów lub aksonów<sup>59</sup>) impulsy od receptorów, reagujących na bodźce ze środowiska (np. chemiczne, dźwiękowe, świetlne) oraz wysyłać przy pomocy aksonu sygnały do efektorów (mięśnie, gruczoły itp.). Wyobraźmy sobie fikcyjny, kilkukomórkowy organizm wodny, zawierający tylko jedną komórkę nerwową, realizującą naszą funkcję logiczną: jeżeli nie-A i B to C, przedstawiony na rycinie 3.2. Organizm ten może odżywiać się obecnymi w wodzie substancjami organicznymi, a przy ich braku produkować budulec i energię w procesie fotosyntezy, do którego potrzebne jest światło. Załóżmy, iż wejście A naszej komórki nerwowej połączone jest z receptorem wrażliwym na obecność substancji organicznych w wodzie, wejście B z receptorem reagującym na światło, natomiast wyjście C przesyła impulsy do witki - organu ruchowego, która jest zdolna kierować cały organizm w kierunku światła. Rozważany organizm odżywałby się zatem substancjami organicznymi, kiedy byłyby one dostępne, natomiast przy ich braku płynąłby w kierunku źródła światła. Funkcjonalny sens takiego działania jest jasny i oczywisty. Sens ten polega jednak nie tylko na postaci funkcji logicznej realizowanej przez komórkę nerwową, ale przede wszystkim na jej kontekście znaczeniowym, na przyporządkowaniu jej wejściom i wyjściom konkretnego znaczenia. W skomplikowanej sieci neuronalnej tym znaczeniem jest to, z jakimi neuronami i w jaki sposób jest dany neuron połączony; o funkcji tych "sąsiednich" neuronów decyduje z kolei ich "kontekst znaczeniowy", i tak dalej, aż rozpatrywana sieć połączeń i relacji ogarnie system obejmujący cały układ nerwowy i wszystkie połączone z nim receptory i efekторы. Dopiero ten system wyznacza, w ostatecznej instancji, adekwatny kontekst funkcjonalny, układ odniesienia. Jakakolwiek zmiana tego kontekstu zmienia tożsamość funkcjonalną danej komórki. Jeżeli w naszym przykładzie z kilkukomórkowym organizmem wodnym za A podstawimy obecność złota w środowisku, za B obecność drapieżnika, a za C podążanie w jego kierunku, to biedne stworzonko, przy braku złota w wodzie (co jest zjawiskiem raczej powszechnym) podążałoby w paszczę pierwszego napotkanego drapieżnika. Trudno byłoby takie zachowanie uznać za celowe i korzystne.

Analogia ta odnosi się doskonale do bardziej złożonych sieci neuronalnych. Prowadzi ona do wniosku, iż struktura skomplikowanych sieci nerwowych nie może być dziedziczona. Zapis genetyczny dotyczyć może bowiem struktury funkcjonalnej neuronu, ale nie skomplikowanej sieci połączeń, nabywanej w doświadczeniu osobniczym. Zresztą, ilość informacji zawartej w mózgu

<sup>58</sup> Przykład ten został zaczerpnięty z książki autora "Absolut - odniesienie urojone"

<sup>59</sup> Poza węchem i wzrokiem, neurony czuciowe to tak zwane neurony pseudojednobiegunowe, odbierające sygnały od receptorów za pomocą aksonów obwodowych i przekazujące je dalej za pośrednictwem aksonów ośrodkowych.

dorosłego człowieka znacznie przewyższa ilość jego informacji genetycznej. Nie znaczy to, że nic w strukturze sieci nerwowej nie jest dziedziczone. Przede wszystkim, u prymitywnych organizmów cała ich sieć nerwowa wraz z jej "kontekstem znaczeniowym", czyli pewnym bardzo niedoskonałym odwzorowaniem środowiska, jest zdeterminowana w genomie. U organizmów wyższych, łącznie z człowiekiem, genetycznie zakodowany jest sposób integracji danych pochodzących od receptorów (np. ich porządkowanie w funkcjonalne struktury, które potem, *ex post*, odbieramy jako związki przestrzenne, czasowe lub przyczynowe), organizacja ośrodków mózgu odpowiedzialnych za funkcje "wegetatywne" (odczuwanie zimna, głodu itp.), a także predyspozycje komórek nerwowych i złożonych z nich sieci do selektywnego tworzenia oraz likwidowania połączeń, a także do nabywania pamięci. To jednak, co nas najbardziej interesuje, a mianowicie sieci neuronalne odpowiedzialne za skomplikowany system zachowań, będące podłożem pamięci i świadomości, formują się w trakcie życia osobniczego w procesie uczenia się.



Ryc. 3. 2. Wyimaginowany organizm wodny z jedną tylko komórką nerwową, której wejście (dendryt) A połączony jest z chemicznym receptorem rozpuszczonych w wodzie substancji odżywczych, wejście (dendryt) B z receptorem światła, natomiast wyjście (akson) C - z ruchliwą wicią. Komórka nerwowa realizuje funkcję logiczną: "jeżeli nie-A i B to C". Skutkiem tego, przy braku substancji odżywczych i w obecności światła, organizm podąża w jego kierunku.

Porównanie struktury sieci pojęciowej i sieci nerwowej prowadzi do jednego ważnego wniosku. W obu przypadkach znaczenie, sens elementu sieci (pojęcia lub komórki nerwowej, względnie zespołu takich komórek) odbywa się przez konotację, to znaczy przez odniesienie do

innych elementów. Ogólna struktura obu sieci jest zatem analogiczna. Wydaje się to poniekąd zrozumiałe, ponieważ sieć pojęciowa jest "skutkiem" funkcjonalnej struktury i aktywności sieci nerwowej. Jednakże, stwierdzenie to ma daleko idące implikacje dotyczące podłoża i natury świadomości (psychiki) ludzkiej. Struktura sieci nerwowej, narzucając niejako ogólną strukturę sieci pojęciowej, znacznie zawęża zakres możliwości dotyczących istoty świadomości. Konstatując ogólne podobieństwo pomiędzy siecią pojęciową i nerwową, należy jednocześnie unikać zbyt daleko idących analogii. W szczególności, naiwnością byłoby przypuszczenie, iż jedna komórka nerwowa (lub chociażby prosty ich zespół) odpowiada jednemu pojęciu. Pojęcie jest zapewne pochodną skomplikowanej struktury funkcjonalnej sieci nerwowej, niekoniecznie dającej się dokładnie zlokalizować przestrzennie w obrębie mózgu. Jest to struktura dynamiczna, zmieniająca się w czasie pod wpływem docierających do niej impulsów, struktury będące podłożem różnych pojęć częściowo się wzajemnie przenikają itp. Szczegóły rozpracuje zapewne w przyszłości nauka (neurofizjologia i teoria świadomości); na szczęście nie są one istotne dla dalszego rozumowania.

Powstaje pytanie, w jaki sposób sieć pojęciowa może być tworem ciągłym, skoro leżąca u jej podstawy sieć nerwowa składa się z dyskretnych neuronów. Odpowiedzią jest ogromna liczba neuronów budujących nawet w miarę proste sieci nerwowe, jak na przykład kora wzrokowa kota. Skomplikowanie sieci nerwowych "odpowiedzialnych" za procesy myślenia i świadomość musi być jeszcze znacznie większe. Tak jak plamy na fotografii uważamy za twory ciągłe, chociaż składają się one z dyskretnych ziaren, ponieważ ziarna te są o kilka rzędów wielkości mniejsze, niż rozmiary plam, tak "dyskretność" poszczególnych komórek nerwowych gubi się na poziomie funkcjonowania mózgu i psychiki jako całości.

### 3.4. EWOLUCJA SIECI POJĘCIOWEJ W ROZWOJU OSOBNICZYM

Pora przejść do ewolucji sieci pojęciowej w rozwoju osobniczym (ontogenetycznym) człowieka. Jak wspomniałem wyżej, ewolucja ta jest równoległa do ewolucji sieci nerwowej. Detale tej ostatniej nie będą nas jednak teraz interesować. Poprzestanę na fakcie, iż ewolucja ta polega na tworzeniu się nowych połączeń nerwowych (wypustek oraz synaps), zaniku części istniejących, biochemicznym zapisie pamięci, powstawaniu impulsów krążących w obwodach neuronalnych, selekcji istniejących połączeń i być może na innych, nie znanych nam procesach. Wszystkie te zjawiska zachodzą w mózgu, którego ogólny plan budowy oraz predyspozycje do wyżej wymienionych zmian są zakodowane genetycznie.

W momencie urodzenia człowiek nie posiada prawie w ogóle sieci pojęciowej. Ma on jednak załączki rozwoju, ośrodki krystalizacji tej sieci (to, czy stanowią one już pewną bardzo prostą sieć pojęciową, jest w dużej mierze kwestią semantyczną). Są to pierwotne "osie znaczeniowe", określane przez znaczenia, "wartości" czysto biologiczne. Takimi osiami znaczeniowymi są na przykład: "ciepło - zimno", "sytość - głód", "poczucie bezpieczeństwa - jego brak"<sup>60</sup>. Biorą się one stąd, że mamy w mózgu odpowiednie ośrodki, odbierające sygnały od właściwych receptorów i informujące o stanie rzeczy pierwotny "czynnik wartościujący" - ośrodek przyjemności, w zależności od sytuacji pobudzając go lub nie. Wspomniane osie różnicują napływające z otoczenia bodźce, segregują je na pewne kategorie, będące zaczątkami pierwszych pojęć. Segregacja, różnicowanie pojęć odbywa się wobec już istniejących osi znaczeniowych. Z kolei, powstające pojęcia tworzą podwaliny nowych osi semantycznych.

Istniejące osie znaczeniowe stanowią sito oraz interpretator bodźców pochodzących z receptorów<sup>61</sup>. Odebrane przez narządy zmysłów wrażenia to tylko pęk nieuporządkowanych sygnałów, który się jawi jako zupełny bezsens, jeżeli nie przyłożyć do niego odpowiedniego "klucza" czy "algorytmu" interpretującego. Ogromna większość zwierząt ma wiele, często wszystkie takie algorytmy dekodujące bodźce zmysłowe zakodowane genetycznie. U człowieka owe genetyczne predyspozycje sprowadzają się do wspomnianego semantycznego załączka, ośrodka krystalizacji

<sup>60</sup> Owo "poczucie bezpieczeństwa" noworodka ma bardzo niewiele wspólnego z obiektywną oceną sytuacji. Sprowadza się ono do potrzeby percepcji "czynnika zapewniającego bezpieczeństwo", np. głosu matki. Dla niemowlęcia poczucie bezpieczeństwa zapewnia każdy bodziec kojarzący mu się z zaspokojeniem głodu, ciepłem itp.. Zdolność do skojarzenia takiego, skądinąd "neutralnego" bodźca, z zaspokojeniem potrzeb biologicznych zapewnia właśnie pierwotna oś znaczeniowa "poczucia bezpieczeństwa". U naszych przodków miało to dla noworodka dalej idące implikacje, na przykład obrona przed drapieżnikami, pasożytami itp.

<sup>61</sup> Sygnały te podlegają wstępnej integracji przez odpowiednie ośrodki w mózgu. Dosyć dokładnie poznano mechanizmy organizacji przestrzennej w korze wzrokowej kota (na przykład neurofizjologiczne podstawy postrzegania ruchu) i korze słuchowej nietoperza. To jednak, że mózg dostaje od organów zmysłowych gotowe obrazy nie znaczy jednak, że cokolwiek z tych obrazów rozumie.



sensów, do kilku osi znaczeniowych, które potem są rozbudowywane w trakcie gromadzenia doświadczeń. Powstawanie pojęć, ich przyporządkowywanie fenomenom świata zewnętrznego zachodzi przez indukcję, poprzez wielokrotną koincydencję podobnych zespołów bodźców. Jeżeli dany układ bodźców wielokrotnie wywoła ten sam efekt, wejdzie w te same interakcje z już istniejącą siecią pojęciową, to zostanie on węń wbudowany jako nowe pojęcie. Zatem właśnie wrażenia ze świata zewnętrznego są "substratem" dla nowo budowanych pojęć. Wrażenia te podlegają konfrontacji najpierw tylko z pierwotnymi osiami znaczeniowymi, a potem z już posiadaną siecią pojęciową, są "odnoszone" w stosunku do niej. W ten sposób determinowane jest ich znaczenie, określane przez już istniejący zespół znaczeń zawarty w sieci pojęciowej.

W miarę rozwoju sieci pojęciowej powstają nowe, wtórne osie znaczeniowe na bazie pojęć już istniejących. Kolejne zespoły bodźców są w odniesieniu do tych pojęć lokowane w sieci jako nowe pojęcia. W ten sposób tworzone są w sieci pojęciowej odwzorowania indywidualnych, "realnych" obiektów świata zewnętrznego. Nazwijmy takie pojęcia, bezpośrednio korespondujące z prostymi "faktami" rzeczywistości, pojęciami pierwotnymi. Ogólne, abstrakcyjne pojęcia wtórne tworzą się (niejako na wyższym poziomie) w zbliżony sposób do pojęć pierwotnych, jako skutek "percepcji" przez umysł wielu podobnych zespołów pojęć w stosunku do nich szczegółowych (mogą to być zarówno pojęcia pierwotne, jak i pojęcia wtórne na niższym szczeblu "hierarchii ogólności").

Prześledźmy, jak przebiega początkowy etap ewolucji sieci pojęciowej noworodka. Jak wspomniałem, genetycznie ma on "wszczepione" najprostsze osie semantyczne o znaczeniu czysto biologicznym. Jeżeli teraz poprzez indukcję (wielokrotna koincydencja bodźców) głos, zapach i dotyk matki zostanie skojarzony z ciepłem, zaspokojeniem głodu i poczuciem bezpieczeństwa (na przykład przez to, że pierwszy regularnie słyszany w życiu głos niemowlę kojarzy z poczuciem bezpieczeństwa), to taka kombinacja bodźców słuchowych, smakowych (mleko), zapachowych, dotykowych stanie się załączkiem pojęcia "matka"<sup>62</sup>.

W miarę gromadzenia doświadczeń pojęcie matki zostaje wzbogacone o nowe elementy, uzupełnione przez bodźce wzrokowe, powiązane z innymi pojęciami, dookreślone. Zwróćmy uwagę na ten fakt: u noworodka "to samo" pojęcie "matka" różni się istotnie od tego pojęcia u człowieka dorosłego. "Ośrodkiem krystalizacji" pierwszych pojęć są popędy: zaspokojenia głodu,

---

<sup>62</sup> Odwołajmy się do bardzo prostej analogii. Przyporządkujmy przeciwstawnym biegunom osi pojęciowych "sytość - głód", "ciepło - zimno", "zaspokojenie poczucia bezpieczeństwa - jego brak" wartości binarne 1 i 0 (analogia ta jest uproszczona chociażby dlatego, że osie te są ciągłe, mogą zatem na nich występować dowolne wartości pomiędzy 0 i 1). W tej sytuacji "definicją" rodzącego się pojęcia "matka" będzie ciąg znaków: 111. Przykład ten pokazuje dobitnie, że system pojęciowy niemowlęcia jest skrajnie ubogi. W ten sam sposób jednak, poprzez podanie odpowiedniej sekwencji wartości binarnych, można by określić wszystkie pojęcia, nawet w najbardziej skomplikowanej sieci pojęciowej. Pamiętać jednakże należy o trzech rzeczach. Po pierwsze, jak wspomniałem przed chwilą, "realne" osie znaczeniowe nie są dyskretne, lecz ciągłe; nigdy nie jest się w sposób absolutny sytym lub głodnym, sytość może występować w rozmaitych stopniach upośrednienia. Po drugie, tak jak osie semantyczne definiują pojęcia, stanowią odniesienie dla ich znaczenia, tak same osie są określane przez pojęcia; jest to wyraz konotacyjnej natury sieci pojęciowej. Po trzecie wreszcie, relacje pomiędzy pojęciami (oraz osiami znaczeniowymi) w sieci pojęciowej to skomplikowany system współzależności, którego nie da się przedstawić w liniowej sekwencji inaczej niż arbitralnie, tak jak nie da się w sposób liniowy opisać piany złożonej z baniek mydlanych.

bezpieczeństwa, poznawczy. Ten ostatni z przedmiotu podatnego na manipulację czyni załączek pojęcia "zabawka". U niemowlęcia sieć pojęciowa jest bardzo uboga - owych kilka pojęć wypełnia cały jego świat. Na samym początku są to być może tylko dwa pojęcia. Nazwijmy je w uproszczeniu "matka" i "brak matki". Potem, w miarę percepcji coraz to nowych bodźców, pojęcia te ulegają rozwarstwieniu na wiele pochodnych, na przykład "matka" dzieli się na "matka właściwa", "niańka", "ojciec" itp., w miarę jak niemowlę zaczyna rozróżniać poszczególne osoby zaspokajające jego głód i poczucie bezpieczeństwa. Brzmi to nieco groteskowo, ponieważ używanie nazw językowych dla tych ledwo ukształtowanych pojęć jest nieuprawnione. Albowiem, jak wcześniej zaznaczyłem, normalnie nazwy językowe odpowiadają pojęciom najlepiej dookreślonym, o największym natężeniu "pola semantycznego". Poza tym, omawiając psychikę noworodka, cofamy się niejako introspekcyjnie wstecz, w czasy, kiedy jeszcze nie posiadaliśmy języka (ponieważ język to także forma sieci pojęciowej i to dosyć skomplikowana, jest to poniekąd oczywiste).

Pytanie, czy rozwój psychiki noworodka wygląda dokładnie tak, jak to zostało przedstawione, nie jest istotne. Ścisły opis nie jest możliwy chociażby ze względu na bardzo słabą przystawalność rodzących się załączków pojęć do sfery języka. Chodzi więc tu raczej o przedstawienie głównej zasady, a nie o ścisłe relacjonowanie faktów. Ogólne cechy rozwoju sieci pojęciowej, o które mi chodzi, to: "rozwarstwianie się" pojęć istniejących na pojęcia bardziej szczegółowe, lokowanie nowych pojęć w sieci pojęciowej przez indukcję, wielokrotną percepcję wrażeń lub pojęć szczegółowych, wreszcie dookreślanie pojęć już istniejących. Procesy te są ściśle ze sobą powiązane, stanowią właściwie rozmaite przejawy jednego i tego samego procesu. Ponieważ znaczenie pojęć w sieci pojęciowej realizuje się poprzez relację konotacji, każde pojęcie w tej sieci jest "definiowane", mniej lub bardziej bezpośrednio, przez wszystkie inne pojęcia. Wbudowywanie nowych pojęć do sieci oznacza zatem lepsze dookreślenie pojęć już istniejących. "Rozwarstwianie się" pojęć dotychczas jednolitych zachodzi jako skutek pojawienia się nowych osi semantycznych. Pojawianie się takich osi jest jednoznaczne z pojawieniem się nowych znaczeń, a więc nowych pojęć. W stosunku do tych osi odnoszone są pojęcia już istniejące, co powoduje lepsze ich dookreślenie.

Zespół reakcji niemowlęcia, jego repertuar zachowań jest równie ubogi, jak jego obraz świata wyznaczany przez posiadaną siatkę pojęć. Można powiedzieć w uproszczeniu, iż system zwany niemowlęciem jest zdolny przejawiać tylko jeden z dwóch stanów na wyjściu (proszę mi wybaczyć tę cybernetyzację bezbronno przeciw oseska). Albo nie robi nic, kiedy wszystkie jego potrzeby są zaspokojone, albo reaguje krzykiem, kiedy odczuwa głód, jest mu mokro albo brak mu dającej poczucie bezpieczeństwa obecności matki. Wybór któregoś z tych stanów zależy od pobudzenia pierwotnego "czynnika wartościującego", ośrodka przyjemności (lub też, co jest równoważne, od braku pobudzenia "ośrodka przykrości"). Ewolucja stopnia skomplikowania systemu percepcji, obrazu świata (sieci pojęciowej) oraz systemu zachowań zachodzi w rozwoju ontogenetycznym równolegle. W szczególności, zarówno zdolność do postrzegania rozmaitych aspektów świata, jak i adekwatnego reagowania na nie, wymaga możliwości ich rozpoznania, zinterpretowania i "zrozumienia" (zarówno w sensie biologicznym, jak i psychologicznym) w oparciu o posiadaną sieć znaczeń (sieć pojęciową).

Pierwszym głównym rysem ewolucji sieci pojęciowej w rozwoju ontogenetycznym człowieka jest z pewnością jej przyrost ilościowy, związany z przybywaniem nowych pojęć i dookreślaniem pojęć już istniejących. Rozwój sieci pojęciowej nie startuje, bo nie może, z zupełnej pustki semantycznej, jakieś znaczenia muszą bowiem wyznaczać sens nowo tworzonych pojęć. Jednakże kilka wrodzonych, biologicznych osi znaczeniowych stanowi załazek świadomości tak niezmiernie mały w porównaniu z ogromem sieci pojęciowej dorosłego człowieka (a przy tym brak tym osiom "naoczności" pojęć), że praktycznie można powiedzieć, iż ta ostatnia rozpoczyna swą ewolucję od niczego w chwili narodzin.

Moment ten uważam za początek rozwoju sieci pojęciowej, a zatem powstawania psychiki i świadomości, ponieważ wiąże się on z gwałtowną ekspozycją płodu na sygnały ze świata zewnętrznego. Płód w łonie matki, podłączony do jej krwioobiegu pępowiną i owinięty w błonę łożyska, nie odbiera ze swego otoczenia praktycznie żadnych bodźców<sup>63</sup>, jest zatem pozbawiony "substratu" dla tworzenia pojęć. Jego środowisko jest skrajnie niezmiennie, ma on zapewniony stałą temperaturę, nieustający dopływ substancji odżywczych i tlenu oraz odpływ zbędnych produktów przemiany materii. Dlatego płód, o ile trudno określić, kiedy staje się człowiekiem pod względem biologicznym, pod względem psychicznym zaczyna zdobywać atrybuty człowieczeństwa dopiero po urodzeniu. Z drugiej strony, "człowieczeństwo" płodu może być wyznaczane poprzez jego zdolność do wytworzenia psychiki. To samo da się jednak powiedzieć o plemniku i komórce jajowej, zanim połączą się one w zygotę.

Chciałbym tutaj wyraźnie odroźnić sieć pojęciową, której moim zdaniem (choć, jak wspomniałem, problem jest częściowo umowny) noworodek praktycznie nie posiada, lub też posiada w znikomym stopniu, od wrodzonych "osi znaczeniowych", względnie mechanizmów integracji bodźców w struktury przestrzenne, czasowe, przyczynowe itp.. Pierwsza jest już jakimś, choćby bardzo ubogim, obrazem świata zewnętrznego, pozostałe natomiast - pewnym zbiorem predyspozycji, ram dla kształtowania obrazu tego świata. Różnica jest trochę podobna do różnicy pomiędzy informacją genetyczną jakiegoś organizmu, w połączeniu z mechanizmami odpowiedzialnymi za tworzenie jego struktur przestrzennych i funkcjonalnych (kod genetyczny, translacja, transkrypcja, regulacja embriogenezy), a gotowym organizmem, powstającym w interakcji tego zapisu genetycznego ze środowiskiem fizycznym. Informacja genetyczna bowiem "sama w sobie" nic nie znaczy - ma ona tylko sens w odniesieniu do rzeczywistości fizycznej w której (i z której) ten organizm powstaje. W genach może być zakodowany szereg enzymów katalizujących reakcje prowadzące do syntezy chlorofilu, ale to, że związek ten ma barwę zieloną i umożliwia proces fotosyntezy, jest cechą rzeczywistości fizycznej.

Udział czynnika środowiskowego jest znacznie większy przy powstawaniu sieci pojęciowej, niż w czasie rozwoju osobniczego organizmu biologicznego, a wpływ wrodzonych mechanizmów -

---

<sup>63</sup>Pewnymi wyjątkami wydają się być zmiany poziomu hormonów i substancji odżywczych we krwi lub bicie serca matki. Jednakże, stopień różnorodności i skomplikowania tych "bodźców" jest tak mały w porównaniu z bogactwem wrażeń odbieranych po urodzeniu, że można te pierwsze, bez ryzyka zbytniego uproszczenia, zaniedbać.

znacznie mniej zdeterminowany. Roślina, mając do dyspozycji pewien ograniczony zestaw prostych substancji chemicznych oraz warunków fizycznych zawsze wytworzy chlorofil, przy czym cała ogromna różnorodność pozostałych czynników pozostaje dla niej nieistotna. Przy optymalnej temperaturze, składzie gleby, nasłonecznieniu itp. rozwinie się w pełni, przy niedoborze któregoś z tych elementów wyrośnie karłowata, albo po prostu zginie. Na tym się jej plastyczność kończy. Natomiast ilość i różnorodność cech środowiska istotnych, jako rozmaite bodźce zmysłowe, dla rozwijającej się sieci pojęciowej człowieka jest niepomiarowo większa, a bogactwo możliwych dróg jej kształtowana - daleko bardziej rozległa.

W pewnym sensie świat zewnętrzny (przynajmniej pewne jego aspekty) jest w jakiś sposób "wpisany" zarówno w mechanizmy odczytywania informacji genetycznej i embriogenezy, jak i mechanizmy poznawcze naszych mózgów. Dokonała tego ewolucja biologiczna, "odpowiedzialna" przecież za jak najsprawniejsze funkcjonowanie organizmów żywych w rzeczywistości fizycznej (oraz biologicznej, obejmującej relacje z innymi organizmami żywymi). Jednakże taki wrodzony zapis musi dopiero ulec realizacji. W procesie embriogenezy jest to budowanie odpowiednich struktur organizmu z materii fizycznej, zaś w przypadku rozwoju sieci pojęciowej - tworzenie tejże sieci z "substancji" napływających wrażeń. Jak powiedziałem przed chwilą, analogia jest niezbyt dokładna, albowiem różnorodność dostępnych fizycznych elementów środowiskowych jest raczej ograniczona, natomiast wielorakość możliwych wrażeń - ogromna. Oczywiście bodźce zmysłowe także mają naturę fizyczną, ale ich percepcja na poziomie neuro-psychicznym jest zupełnie odmienna (ze względu na stopień złożoności struktury wrażeń) od "percepcji" fizykochemicznych cech otoczenia na biochemicznym oraz fizycznym poziomie funkcjonowania organizmów żywych.

Ogólna zasada jest jednak ta sama: tak jak organizm powstaje dopiero po 'konfrontacji' zapisu genetycznego z rzeczywistością fizyczną, budując swoje ciało z jej składników, tak sieć pojęciowa tworzy swoją „substancję” z napływających wrażeń, używając do tego celu pewnych algorytmów w postaci wrodzonych mechanizmów integracji bodźców. Zresztą, tylko najprostsze i najbardziej generalne dyrektywy rozbudowy sieci pojęciowej są wrodzone (jako pierwotne osie znaczeniowe) - reszta powstaje stopniowo jako część tejże sieci, określając ramy dla kierunków i charakteru jej dalszego rozwoju. Generalnie, sieć pojęciowa bezwzględnie wymaga wrażeń zmysłowych dla swego powstania i rozwoju, jako że jest ona z tych wrażeń budowana.

Drugim aspektem ontogenetycznego rozwoju sieci pojęciowej jest pojawienie się w niej pewnej "nadmiarowości" względem czysto "naocznego" przedstawiania świata. O ile pojęcia pierwotne są prostą pochodną obróbki bodźców docierających od narządów zmysłów, to pojęcia wtórne (ogólne, abstrakcyjne) powstają na bazie pojęć pierwotnych lub innych pojęć wtórnych i dlatego ich związek ze światem jest bardziej pośredni, a zatem, przynajmniej potencjalnie, bardziej dowolny. Dlatego pojęcia wtórne mogą, choć nie muszą, być oderwane od świata realnego. Owa nadmiarowość sieci pojęciowej jest nieodłącznie związana z procesami myślenia, czyli z autonomiczną dynamiką, aktywnością układu nerwowego. To nic innego, jak właśnie ta aktywność, związana z integracją, asocjacją i koordynacją danych od receptorów, zapisów pamięciowych i sygnałów do efektorów, prowadzi do powstawania pojęć wtórnych.

Skoro praktycznie całą sieć pojęciową nabywamy w rozwoju osobniczym, musi ona powstawać w procesie uczenia się. Uczyć można się na wiele sposobów: przez obserwację, metodą prób i błędów, przez naśladownictwo, wreszcie za pośrednictwem przekazów językowych, tak ustnych, jak i pisemnych. To, jakie drogi uczenia są człowiekowi dostępne, zależy od stopnia rozwoju jego sieci pojęciowej. Niemowlę, posiadające zaledwie jej zaczątki, zdolne jest jedynie do biernego obserwowania otaczającej rzeczywistości. Elementy tej rzeczywistości stopniowo nabierają dla niego różnego znaczenia, w zależności od tego, jaki mają związek z zaspokojeniem czysto biologicznych popędów (zaspokojenia głodu, poczucia bezpieczeństwa itp.). Mając pewne rozeznanie świata można zacząć na nim eksperymentować, na przykład przemieszczać się w nim lub poruszać rozmaite przedmioty. Pomaga to w rozwoju przestrzennego obrazu świata i poznaniu jego właściwości. Uczenie się metodą prób i błędów jest właściwie metodą czynnej percepcji, gdzie "obserwuje" się własne, początkowo czysto przypadkowe działania i reakcję świata na nie. Zdobywanie wiedzy przez naśladownictwo rodziców lub innych osób dorosłych wymaga już pewnego rozumienia właściwości świata, a więc operowania pojęciami wtórnymi.

Opanowanie systemu sztucznych symboli, jakim jest język etniczny, ogromnie zwiększa efektywność procesów uczenia się. Język, sam będąc w umyśle ludzkim częścią sieci pojęciowej, ogromnie usprawnia posługiwanie się ową siecią. Nazwy językowe pomagają w "identyfikacji" pojęć. Reguły składniowe są użyteczne w ich odpowiednim uporządkowaniu. Język, jako powszechna konwencja społeczna, pozwala na "przekładanie" na siebie sieci pojęciowych różnych osobników. Nowe informacje, pojęcia, lokowane są w istniejących strukturach semantycznych i składniowych języka (a przez to, leżącej u jego podstaw sieci pojęciowej), nie ma zatem potrzeby uczenia się ich metodą prób i błędów. Przyspiesza to fenomenalnie proces uczenia się, rozbudowy sieci pojęciowej. Dodatkową oczywistą zaletą języka jest fakt, iż pozwala on na przekaz informacji na dystans, zarówno w czasie, jak i w przestrzeni.

Dany język nie tylko stymuluje rozwój sieci pojęciowej i obrazu świata w niej zawartego, ale także, poprzez swoją strukturę, ten obraz w jakiś sposób kształtuje. Struktura świata jest jedna, natomiast każdy język ma nieco odmienną strukturę. Struktura języka porządkuje w dany konkretny sposób sieć pojęciową, a więc także utworzony w jej obrębie obraz świata. Znane są języki, które nie znają czasowników w naszym rozumieniu, a więc znaczenie czasowości w ich obrazie świata jest odmienne niż w naszym. Języki, w których istnieją nazwy dla tylko dwóch kolorów lub trzech liczb w oczywisty sposób warunkują widzenie świata. W jeszcze innych językach nazwy obiektów są składowymi przysługującymi im cech, na przykład zarówno ręka, jak i drzewo mają w swych nazwach człon oznaczający rozgałęzienie. Odmierna struktura oznacza odmienną logikę języka i sieci pojęciowej (oraz widzianego przez ich pryzmat świata). Zatem ostateczna postać sieci pojęciowej zależy w dużej mierze od tego, w jakim języku etycznym ona powstawała.

Nazwom językowym przypisuje się większe znaczenie, niż mają one w rzeczywistości. Hipostazy są tego najbardziej jaskrawym przykładem; jednakże, w zasadzie każda nazwa jest hipostazą. Nazwy języka często (poprzez swą skwantowaną, dyskretną naturę) absolutnie ostro wyodrębniają i określają aspekty rzeczywistości, które wcale tak dobrze wyodrębnione i określone nie

są. Dotyczy to przede wszystkim terminów ogólnych, ale także nazw bytów indywidualnych. Każdy człowiek, uważany za byt indywidualny, zmienia się w czasie, jest zatem w danej chwili kimś innym, niż sekundę, tydzień czy dwadzieścia lat wcześniej. W jego ciele zachodzą przemiany fizjologiczne, w jego mózgu gromadzenie doświadczeń, przemieszcza się on także w przestrzeni (to, że "ten sam" człowiek zachowuje swoją tożsamość w różnych miejscach przestrzeni wcale nie jest oczywiste!). Przypisywanie mu jednoznacznej nazwy indywidualnej stanowi przez to nadużycie. Mówiąc inaczej, nazwa "Jan" zastosowana do danego konkretnego człowieka wcale nie jest nazwą bytu indywidualnego, lecz nazwą ogólną, kategorią, odnoszącą się do zbioru "stanów" postaci zwanej Janem z różnych momentów czasowych, nawet po amputowaniu mu kończyny itp.. Przy tym przyporządkowanie, zaklasyfikowanie tych stanów do kategorii "Jan", a przede wszystkim wyróżnienie tej kategorii, jest cechą naszego umysłu. Można by przecież położyć nacisk na fakt współwystępowania w jednym momencie czasowym "chwilowych stanów" rozmaitych osób i stworzyć z nich podstawową kategorię, na przykład "chwilowa wspólnota ludzka", natomiast cesze ciągłości stanów jednej osoby w następujących po sobie momentach czasowych nadać znaczenie drugorzędne. To zatem, że uważamy Jana za byt indywidualny, jest sprawą całkowicie arbitralną<sup>64</sup>.

Za taki stan rzeczy odpowiedzialne są mechanizmy w naszym mózgu integrujące wrażenia zmysłowe w taki a nie inny sposób. Fizycy, opisując zachowanie się zbioru cząstek, często używają tak zwanej przestrzeni fazowej, raczej niż zwykłej trójwymiarowej przestrzeni. Przestrzeń fazowa dla jednej cząstki jest sześciowymiarowa: trzy wymiary określają przestrzenne współrzędne położenia cząstki, natomiast trzy pozostałe - współrzędne wektora jej momentu pędu. Dla układu wielu cząstek ilość wymiarów opisującej ten układ przestrzeni fazowej jest równa ilości cząstek pomnożonej przez sześć. Dla ludzkiego mózgu przestrzeń taka jest zupełnie niewyobrażalna (tak jak, na przykład, czterowymiarowa czasoprzestrzeń, i to do tego jeszcze zakrzywiona!); jej cechy przewidujemy posługując się odpowiednim formalizmem matematycznym. Fizycy nie wymyślili jednak przestrzeni fazowej po to, aby zwykłych śmiertelników wpędzać w poczucie niższości, ale dlatego, że do pewnych celów jest ona bardziej użyteczna, niż zwykła przestrzeń trójwymiarowa. Pamiętajmy, że to właśnie użyteczność była głównym powodem, dla którego ewolucja ukształtowała nasze widzenie świata w kategoriach czasu i przestrzeni. Nic więc w zasadzie nie stoi na przeszkodzie, aby jakieś nieznanne nam istoty odbierały świat w kategoriach przestrzeni fazowej. Oznacza to, iż przestrzeń fazowa byłaby dla nich sposobem widzenia rzeczywistości pierwotnym, "naocznym", natomiast przestrzeń Euklidesową musiałyby sobie przybliżać znacznym wysiłkiem umysłu i matematyką, tak jak my przybliżamy sobie przestrzeń fazową. "Świat" takich istot (to znaczy jego obraz w sieci pojęciowej tych istot) byłby całkowicie odmienny od naszego.

---

<sup>64</sup>To, że jedne kategorie wydają się nam naturalne, a inne tak groteskowe, że sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem, wynika z pewnych struktur poznawczych naszego mózgu ukształtowanych w czasie ewolucji biologicznej. Ewolucja utrwaliła takie struktury, które porządkowały odbierane przez nas wrażenie w kategorii przydatne dla przeżycia gatunku. W relacjach społecznych, na przykład, taką kategorią jest pojęcie osobnika, indywidualium. Nazwa ta funkcjonuje bardzo dobrze w odniesieniu do ludzi. Gdy zastosujemy ją jednak do kolonii jamochłonów, składającej się z częściowo odseparowanych od siebie osobników, traci ona swą jasność i klarowność.

Tak zwane "fakty" świata, tak jak ogólny sposób jego widzenia, są pochodną naszego aparatu poznawczego (którego częścią jest także język). To, że nawet najbardziej podstawowe cechy ludzkiego oglądu rzeczywistości wcale nie muszą być oczywiste, widać doskonale przez porównanie człowieka z innymi zwierzętami. Weźmy za przykład zmysł wzroku. Podstawową cechą naszego widzenia jest percepcja obrazu. Jeżeli patrzymy, na przykład, na obraz "Mona Liza", to widzimy na nim wzór pewnych barwnych plam, składających się na portret pewnej postaci kobiecej w czerni, krajobrazu w tle i przede wszystkim najszlachetniejszego i najbardziej zagadkowego na świecie uśmiechu. Oczywiście fascynacja uśmiechem kobiety w żałobie ma przede wszystkim korzenie kulturowe (i to przede wszystkim rodem z kultury śródziemnomorskiej). To, że w ogóle dostrzegamy na obrazie jakąś postać, wynika stąd, że sami jesteśmy ludźmi - Marsjanin nawet tej informacji prawdopodobnie nie byłby w stanie odczytać. Niepodważalne się jednak wydaje, że na portrecie istnieje "obiektywnie" jakiś rozkład plam barwnych, który potrafi odebrać każdy organizm dysponujący zmysłem wzroku (organizm taki mógłby ewentualnie posiadać organ wzroku o mniejszej rozdzielczości, co spowodowałoby, że plamy te byłyby dla niego bardziej niewyraźne i rozmyte).

Spójrzmy teraz na Mona Lizę oczami żaby. Żaba postrzega przede wszystkim ruch, dlatego wiszący na ścianie portret pozostałby dla niej tylko równomiernym ciemnym tłem. Natomiast przelatująca na tle obrazu mucha, którą my z ledwością byśmy zauważyli, wyzwoliłaby w mózgu żaby gwałtowną reakcję jako jedyny postrzegany przez nią obiekt! Omawiany płaz ma bardzo podobnie zbudowane do nas oko, wrażliwe na podobny zakres promieniowania elektromagnetycznego, skupiające obraz na siatkówce przy pomocy soczewki (to podobieństwo wcale nie musi występować w przypadku istot z innych planet - na pewno nie występuje w przypadku owadów)<sup>65</sup>. Zatem ten sam przestrzenny rozkład sygnałów świetlnych powoduje w obu przypadkach podobny rozkład przestrzenny pobudzenia komórek światłoczułych na dnie gałki ocznej. Powodem, że żaba i człowiek postrzegają zupełnie co innego, jest całkowicie odmienny sposób integracji sygnałów pochodzących z siatkówki przez ich mózgi. Mówiąc w wielkim uproszczeniu, mózg ludzki ma większą skłonność do wytwarzania obrazów w oparciu o natężenie bodźców odbieranych z różnych rejonów siatkówki. Natomiast mózg żaby jest predestynowany do rejestracji pochodnej natężenia tych bodźców po czasie<sup>66</sup>. Innymi słowy, odbiera on nie tyle intensywność pobudzenia jakiejś grupy komórek światłoczułych, co zmianę tej intensywności, czyli fakt, że z danego receptora sygnał przed chwilą docierał, a teraz nie, lub odwrotnie. Wynika stąd, że mózg niekoniecznie widzi to samo, co widzi oko. Sygnały pochodzące z siatkówki mogą być zatrzymywane, lub w najrozmaitszy sposób integrowane i przetwarzane. Dotyczy to oczywiście także pozostałych zmysłów. Mechanizmy tej obróbki tkwią tak

<sup>65</sup> Owady odbierają zakres barw od ultrafioletu do pomarańczowej, podczas gdy człowiek - od fioletu do czerwieni. Mają one zupełnie niepodobne do naszego oko złożone, zbudowane z oczek prostych, czyli ommatidiów. Widzą one wreszcie polaryzację światła, niedostrzegalną dla nas.

<sup>66</sup> Różnica pomiędzy żabą a człowiekiem wcale nie jest tak drastyczna, jak zdawałby się sugerować ten uproszczony opis. Człowiek także ma pewną preferencję do postrzeganiu ruchu, szczególnie w mroku i na obrzeżu pola widzenia.

głęboko w najbardziej podstawowych kategoriach naszego myślenia i oglądu świata, że chętnie uważamy je za cechy samego świata.

Nawet przy "normalnym" widzeniu, to znaczy przy widzeniu zwłaszcza obrazu, grupowanie pewnych zespołów bodźców w "fakty" jest pochodną integracji tych bodźców przez nasz umysł. Możemy wyobrazić sobie istoty nie posiadające w opisie swojego świata kategorii odpowiadających dobrze naszym pojęciom przestrzeni, czasu lub przyczynowości. Być może byłyby one gorzej przystosowane do życia w rzeczywistym świecie i poznawania go. Nie możemy jednak wykluczyć, że robiłyby to równie dobrze jak my lub nawet lepiej. Miałyby one odmienną od naszej logikę i nawet "rzeczywistość" znaczący dla nich coś innego. Nie jesteśmy w stanie znaleźć najbardziej elementarnego faktu naszego umysłu, o którym moglibyśmy powiedzieć, że jest obiektywnym faktem świata. Oczywiście, pewną zbieżność, podobieństwo pojęć musiałaby narzucić ewolucja biologiczna jako warunek czysto instrumentalnej sprawności w rzeczywistości fizycznej. Ale podobieństwo nie oznacza tożsamości.

Wróćmy teraz do językowego aspektu naszego widzenia świata. Normalnie (co znajduje swą kulminację w filozofii wczesnego Wittgensteina) zakłada się niezależne i całkowicie autonomiczne istnienie faktów świata oraz nazw językowych. Zgodnie jednak z prezentowaną tu koncepcją, fakty są konstytuowane przez nasz język (oraz leżące u jego podstawy struktury poznawcze naszego mózgu) z docierającego do nas "chaosu", czy raczej "bezsensu" wrażeń. To, czy Jana uznamy za fakt, czy nie, zależy od sposobu integracji tych wrażeń. Fakty są tworem naszego umysłu, a nie obiektywnie istniejącymi kategoriami świata. Język posługuje się zatem nazwami nie posiadającymi dobrze określonych desygnatów. Pogląd ten jest w oczywistej opozycji do filozofii wczesnego Wittgensteina, w której jedyna możliwa i konieczna struktura nazw desygnuje zbiór istniejących autonomicznie (poza naszym umysłem) faktów.

"Faktotwórcza" rola języka rzutuje na całą naszą kulturę, naukę, religię (to ostatnie jest może najbardziej oczywiste), sferę potoczną, kształtuje formę i treść ludzkiego myślenia. Naukę różni od np. filozofii czy religii metodologia, zapewniająca przystawalność struktur językowych do struktur świata. Przystawalność ta jest jednak daleka od doskonałości i to różni realną naukę od naszych wyidealizowanych wyobrażeń o niej. Błąd hipostazy polega tutaj na naiwnej wierze w realne i "ostre" istnienie takich obiektów opisywanych przez naukę, jak orbital elektronu, siła grawitacji czy gatunek biologiczny, będących pojęciami ogólnymi, ale także planeta Ziemia i dany konkretny osobnik glona lub kanarka. Określenie "realne" nie oznacza w tym wypadku istnienia poza naszą psychiką w ogóle, czego bynajmniej nie zamierzam negować, lecz istnienie w formach, kategoriach lub nawet wartościach będących tworem ludzkiej świadomości. Nie podzielam przy tym skrajnego poglądu Kanta, że "rzeczy same w sobie" są całkowicie niepoznawalne. Gdyby nasze kategorie nie miały nic wspólnego z realnymi strukturami świata, nie przetrwalibyśmy jako gatunek biologiczny, a tym bardziej nie osiągnęlibyśmy tak spektakularnych sukcesów w naukach przyrodniczych, które są przecież naszym udziałem.



Z drugiej strony jednak, wczesny Wittgenstein oraz wielu współczesnych optymistów epistemologicznych traktuje świat jako układankę zwaną puzzle. Elementy tej układanki, jeżeli odpowiednio je do siebie dopasować (czemu służą między innymi reguły logiki), na jej awersie dają kompletny obraz świata rzeczywistego. Jeżeli każdy z tych elementów zostałby na odwrotnej stronie opatrzonej odpowiadającą mu nazwą, to po ukończeniu układanki otrzymalibyśmy na jej rewersie całkowity językowy opis świata. Do takiego właśnie wniosku prowadzi "absolutna" (zakładająca desygnowanie autonomicznie istniejących faktów) istota nazw języka. Przedstawiona tutaj koncepcja sieci pojęciowej proponuje odmienne podejście. Według niej widzimy świat jako niewyraźne kształty za zamgloną szybą. Stopień zamglenia tej szyby można zmniejszyć poprzez rozbudowę aparatu pojęciowego i poprzez zwiększenie jego przystawalności do świata realnego, znajdującego się za szybą. Służy temu przede wszystkim metodologia nauk przyrodniczych. Aby szyba stała się zupełnie przezroczysta, trzeba by zbudować aparat pojęciowy o nieskończonym stopniu skomplikowania, co jest oczywiście niemożliwe. W celu opisu kształtów za szybą pomocne mogłoby być podzielenie obszaru szyby na różnego koloru kwadraciki. Natomiast ta sama operacja przy użyciu trójkącików okazałaby się być może znacznie gorsza. Twierdzenie jednak na tej podstawie, iż świat składa się z kwadracików, byłoby co najmniej nieostrożne. Myślę, że analogia jest jasna - opis świata przy użyciu języka, tak jak obrazu za szybą z zastosowaniem kwadracików, ma, jak każde przybliżenie, granice swojej stosowalności. Być może głównym celem tego rozdziału jest pokazanie tych granic.

Inną analogią odwzorowania świata przez sieć pojęciową może być sieć pajęczna pokrywająca jakąś rzeźbę (niech rzeźbą tą będzie, powiedzmy, Wenus z Milo). Im ta sieć jest gęstsza i bardziej przylega do rzeźby, tym "opis" rzeźby w kategoriach nitek sieci pajęcznej i ich połączeń możemy uznać za bardziej adekwatny. Jakkolwiek jednak gęsta ta sieć by nie była, nigdy nie potrafi ona wyjaśnić, czym jest kamień, z którego rzeźba jest zbudowana. O ile zatem możemy tworzyć coraz lepsze modele świata w naszej sieci pojęciowej, to próby docieczenia jego "istoty" będą ewidentnie jałowe z tej prostej przyczyny, że "substancja" sieci pojęciowej jest odmienna od "substancji" świata zewnętrznego<sup>67</sup>.

Wedle filozofów preferujących myślenie językowe *modo* wczesny Wittgenstein, poznane od nieznanego dzieli wyraźna granica - poznane to już gotowa część naszej wiedzy, ujęta w struktury językowe i odtąd po wieki prawdziwa, natomiast nieznanne to cała reszta czekająca na takie ujęcie. Natomiast zgodnie z koncepcją sieci pojęciowej, w naszym obrazie świata nic nie jest całkowicie prawdziwe lub fałszywe. Poznanie to ciągły proces polegający na dookreślaniu (lub raczej współdookreślaniu) pojęć, a rozwój odległych rejonów sieci pojęciowej może przedstawić w nowym świetle lub też całkowicie zmienić te elementy naszej wiedzy, które dotychczas uważaliśmy za niepodważalne i oczywiste. Proces poznania zachodzi tu więc stopniowo i nigdy nie prowadzi do całkowicie pewnej, absolutnej wiedzy. Nawet logika, tak zdawałoby się absolutny i autonomiczny probierz jedności przynajmniej najbardziej podstawowych cech naszego umysłu (języka) z jednej

<sup>67</sup>Nie oznacza to bynajmniej powrotu do klasycznej dychotomii ducha i materii. Sieć pojęciowa jest pochodną funkcjonowania materii, chociaż do opisu tej pierwszej potrzebne są jeszcze pewne dodatkowe pojęcia, na przykład cybernetyczne; to samo dotyczy zresztą zjawiska życia.

strony, a obiektywnej rzeczywistości - z drugiej, okazuje się tylko ewolucyjnie ugruntowanym mechanizmem obróbki bodźców ze środowiska przez nasz mózg.

Wróćmy jednak do ewolucji sieci pojęciowej w rozwoju osobniczym. Skoro noworodek nie ma właściwie sieci pojęciowej, jest oczywiste, że nie posiada on świadomości, którą obdarzony jest człowiek dorosły. Zatem świadomość ta musi pojawić się w trakcie rozwoju osobniczego. Jednocześnie, jej powstanie nie jest jednorazowym aktem. Musi ona rozwijać się stopniowo, równoległe z ewolucją psychiki i sieci pojęciowej. Wytlumaczenie tego, czym jest świadomość z punktu widzenia neurofizjologii, proponuję w następnym rozdziale. W ramach koncepcji sieci pojęciowej jest to utworzenie w jej obrębie, obok obrazu świata zewnętrznego, także obrazu samej siebie, wejście na pewien meta-poziom, spojrzenie z zewnątrz, dostrzeżenie swego istnienia. W psychice nieświadomej procesy "myślenia" zachodzą na poziomie sieci pojęciowej, a ich "pole widzenia" obejmuje tylko obraz świata zewnętrznego w tejże sieci. Wraz z pojawieniem się świadomości pole to zaczyna obejmować także sieć pojęciową związaną z samym "aparatem poznawczym". Powstaje rozróżnienie na "ja", czyli obszar sieci pojęciowej, który poznaje zarówno świat (jego obraz w sieci pojęciowej), jak i sam siebie, oraz na "świat", obszar sieci pojęciowej, który jest poznawany, ale sam nie stanowi części aparatu poznawczego. Stąd bierze się skrajne przeciwstawienie w naszej psychice świadomości i świata zewnętrznego. Dopiero na poziomie sieci pojęciowej okazują się one jednakie kategorialne, jako że oba są tej sieci częściami (w zależności od sposobu ujęcia, pojęciami lub zespołami pojęć).

Kształtowanie się świadomości jest ściśle związane z ilościowym rozwojem sieci pojęciowej, powstawaniem pojęć wtórnych, procesami uczenia się i opanowaniem języka. Wyłania się ona stopniowo i dokładnego momentu jej powstania nie da się w sposób niearbitralny określić. Można oczywiście stosować rozmaite testy, na przykład rozpoznawanie przez dziecko własnej twarzy w lustrze. Jednakże testy takie są zdolne badać tylko nieliczne aspekty świadomości, a kryteria klasyfikacji rozmaitych reakcji jako świadome lub nieświadome są arbitralne i nieweryfikowalne (np. rozpoznawanie własnego odbicia w lustrze stwierdzono u niektórych ptaków, które trudno posądzać o posiadanie świadomości).

Powyżej opisałem cztery główne aspekty ewolucji sieci pojęciowej w rozwoju osobniczym człowieka: wzrost ilościowy, powstanie nadmiarowości, uczenie się oraz wytworzenie świadomości. Podobne aspekty wyróżniłem w następnym rozdziale, przy omawianiu biologicznej ewolucji sieci pojęciowej. Sugeruje to, iż, w pewnym sensie, ontogenetyczny rozwój sieci pojęciowej jest powtórzeniem jej rozwoju filogenetycznego, podobnie jak to sugerowano dla embrionalnego i ewolucyjnego rozwoju cech morfologicznych. Nie uważam jednak, aby, poza zauważeniem pewnych zbieżności, koncepcja ta okazała się płodna heurystycznie (tak jak nie stała się taką teoria rekapitulacji), chociażby dlatego, że większość naszych przodków miała zdecydowaną część sieci pojęciowej zakodowaną genetycznie, podczas gdy niemowlę startuje w rozwoju tej sieci prawie od zera.

Opisany powyżej proces tworzenia sieci pojęciowej zachodzi na drodze konotacyjnej. Nowe pojęcia są wbudowywane w oparciu o już istniejące pojęcia (osie znaczeniowe). Także znaczenie

pojęć, odpowiadających obiektom świata, jest określane poprzez ich relacje do innych pojęć. Odwzorowanie świata w sieci pojęciowej na drodze denotacyjnej odpowiadałoby bezpośredniemu przyporządkowaniu konkretnych pojęć pewnym faktom rzeczywistości. Nie do wyobrażenia jest jednak żadna fizyczna więź pomiędzy fenomenem materialnym a jego reprezentacją w świadomości, żaden mechanizm ustanawiający jednoznaczność relacji reprezentacji. Człowiek nie wie bowiem, bo nie może, jakie zespoły bodźców podczas swego życia napotka. Aby sygnały z otoczenia jawiły się w świadomości jako sensory, konieczny jest tłumaczący je klucz. Klucz taki, przynajmniej u człowieka, nie jest wrodzony (nawet jednak pewne wrodzone mechanizmy, jak np. przestrzenna i czasowa integracja danych zmysłowych, występujące u człowieka oraz, w szerszym zakresie, u zwierząt, powstały w procesie uczenia się, tyle że w rozwoju ewolucyjnym, a nie osobniczym). Jak wspomniałem, tworzy się on na zasadzie indukcji, poprzez wielokrotną percepcję podobnych zespołów bodźców. Aby desygnat pojęcia był z nim "z góry" związany więzią denotacyjną, w genotypie musiałyby być zakodowane pojęcia dla wszystkich fenomenów, jakie człowiek mógłby kiedykolwiek doświadczyć lub pomyśleć, a uczenie się polegałoby po prostu na ich selekcji. Jest to oczywistym absurdem. Zatem, wbrew wrażeniu opartemu na jednoznacznym przyporządkowaniu nazw języka i faktów świata, odpowiedniość pomiędzy światem i jego obrazem w ludzkiej świadomości daleka jest od jednoznaczności i oczywistości.

Doprowadziło to, w momencie gdy człowiek zwrócił się ku filozofii, do powstania "ewolucyjnej pułapki świadomości". Nasza świadomość została tak przez proces ewolucji w "obiektywnie" istniejącym świecie ukształtowana (bo inaczej nie mogła), że nie jest w stanie nawet istnienia tego świata w sposób absolutny dowieść. Nie ma bowiem żadnego sposobu na sensowne orzekanie o prawdziwości "hipotezy" o istnieniu czegoś takiego, jak zewnętrzna rzeczywistość. Każda konsekwentna analiza pojęcia "świat" prowadzi do absurdu, implikuje wniosek, że pojęcie to jest pojęciem pustym, pozbawionym desygnatu - "świat zewnętrzny" jest w żaden sposób nie do odróżnienia od pewnego obszaru naszej sieci pojęciowej. Niemniej jednak, "hipoteza świata zewnętrznego" jest bardzo użyteczna w rozumieniu operacyjnym, to znaczy w kategoryalizacji i manipulacji całym ogromnym spektrum dostępnych nam fenomenów. Cechuje ją więc użyteczność. I tylko w tym, instrumentalnym sensie możemy twierdzić o absolutnym istnieniu świata (to samo dotyczy zresztą absolutnego, niezależnego istnienia naszego umysłu). Podobnie, pytanie o istnienie lub nieistnienie bytów ogólnych sprowadza się do rozmaitych (nieświadomych) interpretacji sposobu tworzenia i istoty pojęć wtórnych. Nierozstrzygalność (lub raczej pozorność) problemów filozoficznych jest prostą pochodną naszej neurofizjologii.

Wspomniałem, iż tym, co stanowiło pierwotny "czynnik wartościujący", "motor aktywności poznawczej" był ośrodek przyjemności/przykrości w naszym mózgu. Ponieważ chodziło wtedy o najprostsze, biologiczne osie znaczeniowe, stwierdzenie to raczej nie budziło kontrowersji. Jak jednak sytuacja wygląda u dorosłego człowieka, we w pełni rozwiniętej sieci pojęciowej? Otóż w tym przypadku dalej, mniej lub bardziej pośrednio, wszelka aktywność i wartościowanie związane są z pobudzaniem ośrodka przyjemności/przykrości. Cechą właściwą człowiekowi wydaje się to, iż ośrodek ten mogą pobudzać nie tylko bodźce zaspokajające jego potrzeby biologiczne (zaspokojenie

głodu lub popędu płciowego), ale także "bodźce" natury poznawczej, artystycznej i, co najważniejsze, etycznej. Zatem jeden z głównych rysów człowieczeństwa na poziomie neurofizjologii to zdolność do czerpania satysfakcji z nauki, muzyki, sztuki, ale także z altruizmu, dobroci i bezinteresowności. Przełożenie etyki na język neurofizjologii nikogo nie powinno szokować - wszak nie przestaje ona być przez to etyką. Jednocześnie, dla uniknięcia nieporozumień, chciałem zaznaczyć, iż znany i ściśle zlokalizowany (przestrzennie i funkcjonalnie) ośrodek przyjemności w mózgu niekoniecznie wyczerpuje wszystkie funkcje tego, co nazywam funkcjonalnym (motywacyjnym) ośrodkiem przyjemności/przykrości<sup>68</sup>.

Jak wynika z dotychczas powiedzianego, sieć pojęciowa jest pochodną dwóch rzeczy. Pierwsza z nich, wrodzona, to podłoże do jej rozwoju w postaci zakodowanych genetycznie struktur mózgu, posiadające określone możliwości i predyspozycje. Druga to zespół wrażeń i doświadczeń napotkanych w ciągu życia. Na te dwa uwarunkowania nakłada się jeszcze przypadek, zdolny pokierować rozwojem sieci pojęciowej w sposób przynajmniej częściowo nieprzewidywalny. Nie ma na świecie, z powodu zmienności zarówno genetycznej, jak i fenotypowej, dwóch osobników o identycznie zbudowanym mózgu. Również doświadczenia życiowe różnych ludzi drastycznie różnią się między sobą. Te odmienności są jeszcze potęgowane przez stochastyczny charakter procesów neurofizjologicznych. Wydaje się zatem oczywiste, że nie ma na świecie dwóch identycznych sieci pojęciowych. Nie istnieje absolutna tożsamość znaczeń, ważna dla wszystkich świadomości, ani też idealna przekładalność sensów pomiędzy poszczególnymi psychikami. Jakkolwiek więc zrozumienie danego człowieka za pomocą komunikacji językowej może być bardzo dobre, nigdy nie stanie się ono całkowite, albowiem te same słowa i zdania kryją pod sobą u różnych ludzi nieco odmienne pojęcia. Wspólność języka nie dowodzi zatem wspólnoty pojmowania. Różnice te są oczywiście (statystycznie rzecz biorąc) większe pomiędzy ludźmi mówiącymi innymi językami i wychowanymi w różnych kulturach.

Nie zachodzi zatem idealna zgodność pojęć kryjących się pod tą samą nazwą językową u różnych ludzi. Dotyczy to nawet tak "ostrzych" pojęć, jak pojęcie liczby 2. Na pierwszy rzut oka twierdzenie to wydaje się dosyć skrajne. Spróbuję je zatem przeanalizować bardziej szczegółowo.

Zacznę od przypomnienia, że pojęcie liczby 2 nie było nam znane od urodzenia, że przyszedłszy do jego stopniowego zrozumienia i dookreślenia w trakcie rozwoju sieci pojęciowej, że jest ono abstrakcją pewnej powtarzającej się cechy obiektów świata zewnętrznego (np. dwa kamienie, dwa jabłka), wcale nie będących pojęciami ostrymi. W czasie rozwoju osobniczego nie nabywamy rozumienia pojęcia liczby 2 od razu i w jednym kroku. Dziecko, łącząc przez asocjację różne pojęcia i nazwy, tworzy *ad hoc* w swoim umyśle rozmaite "hipotezy". Jedne z nich zostają później "wzmocnione" przez to, że pasują do nich powtarzające się fakty, a inne, nie znajdujące potwierdzenia w dalszym doświadczeniu, zanikają. Jeżeli pokażemy dziecku dwa jabłka i dwie róże, mówiąc przy tym "dwa", to może ono dokonać różnych skojarzeń. Albo połączy nazwę "dwa" z liczbą pokazywanych obiektów, albo, na przykład, z ich czerwoną barwą. W zależności od tego, czy dalej

---

<sup>68</sup> Przepraszam za tę asekurację, ale znajduje ona usprawiedliwienie w naszej niewiedzy.

nazwa "dwa" będzie koincydować z dwoma przedmiotami, mogącymi mieć rozmaite kolory, czy też z dowolną liczbą przedmiotów o barwie czerwonej, jedna z tych "hipotez" zostanie potwierdzona, a druga obalona. Normalnie konsekwentnie prezentujemy dziecku dwa przedmioty w towarzystwie nazwy "dwa", tak więc stopniowo przychodzi ono do jakiegoś, ale z pewnością nie "całkowitego", pojmowania tej liczby. Częściowo alternatywną, a częściowo uzupełniającą możliwością wobec tworzenia hipotez *ad hoc* jest zapamiętanie przez dziecko różnych sytuacji, w których wypowiedana jest przy nim nazwa "dwa", oraz (nieuświadomiona) próba wyabstrahowania cechy wspólnej dla tych sytuacji. W miarę gromadzenia doświadczenia stopień rozumienia liczby dwa przez dziecko, poziom abstrakcyjności tego pojęcia rośnie. Na pewnym etapie dziecko może, na przykład, kojarzyć to pojęcie z dwoma podobnymi przedmiotami w przestrzeni, ale nie z dwoma następującymi po sobie w czasie zdarzeniami. Można wyobrazić sobie kulturę, która stosowałaby odmienny system nazw i pojęć dla liczenia fenomenów w czasie i przestrzeni (bez wątpienia nie pozostałoby to bez wpływu na pojmowanie świata przez tę kulturę). Na nieco innym etapie dziecko stosowałoby pojęcie liczby 2 do obiektów bardzo podobnych, na przykład dwóch kotów, ale nie do dwóch różnych obiektów (jeśli pokażemy mu na obrazku kurę i konia, to nie odbierze ono tego jako dwa zwierzęta). Jak widzimy, dookreślenie, zrozumienie, "abstrakcyjność" pojęcia liczby 2 mogą być stopniowane. To samo pojęcie u matematyka i u dziecka różni się tylko ilościowo. U dziecka pojęcie to jest ewidentnie nieostre. Gdyby było ono doskonale ostre u człowieka dorosłego, oznaczałoby to konieczność osiągnięcia w pewnym momencie życia osobniczego skoku jakościowego - nagłego i całkowitego "zrozumienia" liczby dwa. Taki moment jest jednak nie do wyśledzenia - przeciwnie, możemy obserwować wiele małych kroczków w postępującym procesie "zrozumienia" (nie jest to w sprzeczności z faktem, że istnieją momenty "olśnienia", w których rozumienie, dookreślenie danego pojęcia bardzo posuwa się naprzód - występowanie stopniowych, ewolucyjnych zmian nie oznacza, że muszą one cały czas zachodzić w jednakowym tempie). Nawet tak pozornie ostre pojęcie liczby 2 u przeciętnego człowieka da się dalej dookreślić, wyostrzyć - dowodem jest matematyka. Liczba 2 może to być w rozmaity sposób dalej definiowana, na przykład jako zbiór zbiorów posiadających cechę dwoistości (zawierających dwa elementy), jak chciał Frege, lub jako abstrakcja podwójnego użycia funkcji w "rachunku lambda" Church'a. Każde takie określenie liczby 2 przypisuje jej określone konotacje semantyczne, których brakowało innym ujęciom. "Ostre", idealne dookreślenie pojęcia liczby 2 jest tylko nie mającą nic wspólnego z faktami, ufundowaną przez nasz umysł ułudą.

Ściśle rzecz biorąc, pojęcie liczby chociażby dlatego nie może pretendować do absolutnej ostrości, ponieważ liczby nie mają właściwie czego "liczyć" w rzeczywistym świecie, albowiem byty jednostkowe w żaden idealny sposób nie istnieją. Obiekty makroskopowe nie istnieją, ponieważ, odejmując im po atomie, nie jesteśmy w stanie stwierdzić, kiedy nasz obiekt przestał być sobą, a stał się czymś zupełnie innym, podobnie jak w paradoksie tysego nie da się określić, wyrwanie którego z kolei włosa z głowy człowieka o bujnej czuprynie czyni go łysym. W przypadku dwóch barwnych plam, jednej czerwonej, a drugiej o odcieniu nieskończenie mało różnym od czerwieni, także nie potrafimy inaczej, niż arbitralnie odpowiedzieć na proste pytanie "ile mamy czerwonych plam?": jedną, dwie, czy może jedną z ułamkiem? Obiekty mikroskopowe natomiast - cząstki elementarne -

nie istnieją natomiast w sposób absolutny ze względu na nieoznaczoność mechaniki kwantowej. Funkcja falowa, określająca prawdopodobieństwo rejestracji np. elektronu w danym punkcie przestrzeni, czyni tę cząstkę niejako "rozmytą". Istnieje pewne, co prawda znikome prawdopodobieństwo, że nasz elektron znajduje się nie tu, gdzie prawdopodobieństwo jego znalezienia jest największe, lecz w sąsiedniej galaktyce. Dodatkowo, wedle mechaniki kwantowej wszystkie elektrony są sobie równoważne i wymienne, zachowując się jak rozmaite kopie, "przejawy" jednego elektronu. I gdzie się podziewa nasze absolutnie ostre pojęcie liczby, kiedy przychodzi odpowiedzieć na, tak zdawałoby się prozaiczne pytanie: "ile elektronów jest w tym pokoju?"?

Problem "ostrości" pojęć można całkiem niezłe naświetlić poprzez analogię z nożem. Czy nóż może być absolutnie, nieskończenie ostry? Oczywiście - nie, ponieważ w końcu, schodząc ku coraz to mniejszym skalom wielkości, napotykamy ziarnistość atomów (w ogromnej większości są to atomy żelaza) oraz nieoznaczoność kwantową ich powłoki elektronowej. Ziarnistości tej nie da się w żaden sposób "przeskoczyć" - krawędź noża nie może być ostrzejsza, niż pojedynczy szereg atomów (w rzeczywistości, nawet z grubsza nie zbliżono się do tego ideału). Nóż może się nam wydawać idealnie ostry w praktyce, do naszych celów, nie znaczy to jednak, iż jest on ostry absolutnie. Pod wystarczająco dużym powiększeniem (na jakie pozwala np. mikroskop skaningowy) ostrze w ogóle jeszcze nie używanej żyłki przypomina krajobraz złożony z wcale łagodnych pagórków.

Podobnie sytuacja ma się z pojęciami. Nie mogą być one "ostrzejsze", niż na to pozwala ziarnistość (rozdzielczość) sieci pojęciowej lub, jeżeli ktoś woli, sieci neuronalnej. W praktyce, pojęcia matematyczne (i logiczne) są dostatecznie ostre do wielu celów. Jednakże, o braku ich idealnej ostrości świadczy chociażby fakt, że w matematyce wciąż toczą się spory, jak ścisły (do jakiego stopnia sformalizowany) powinien być dowód matematyczny. Za przykład może służyć przypadek dowodu (w jego pierwszej wersji) słynnego twierdzenia Fermata przez A.J. Wileasa lub dowód hipotezy Keplera przez W.-Y. Hsianga. W obu przypadkach część matematyków uznawała przedstawiony dowód za wystarczający, podczas gdy inni widzieli w nim luki.

Dalszych przesłanek na rzecz poglądu o braku absolutnej ostrości pojęć dostarczają próby modelowania fenomenu uczenia się. Przeprowadzono w układzie elektronicznym, imitującym funkcjonalną strukturę naszej sieci nerwowej, symulację procesu uczenia się analogicznego do opisanego powyżej u dziecka<sup>69</sup>. Układ ten uczone rozpoznawania różnych liter lub ich sekwencji. Miał on identyfikować litery nawet w przypadku, kiedy brakowało im pewnych fragmentów. Otóż nauka ta przebiegała stopniowo. W miarę jej postępu (polegającego na tworzeniu i przede wszystkim selekcji połączeń w sieci elektronicznej w odpowiedzi na odpowiednią identyfikację litery lub jej brak) wzrastał procent poprawnego rozpoznawania danej litery. Nie było jednak żadnego wyraźnego punktu, przed którym układ nie rozpoznawałby tej litery w ogóle, a potem już zawsze poprawnie - przejście było ciągłe. Podobnie, dziecko stopniowo przychodzi do zrozumienia obrazów i pojęć, w tym pojęcia liczby dwa. Oczywiście nic takiego, jak "absolutne" zrozumienie liczby nie jest możliwe - w ostatecznej

---

<sup>69</sup> Scientific American, lipiec 1989.

instancji liczbę także należy uznać za sposób porządkowania świata przez nasz umysł, a nie za obiektywną cechę świata.

Na skutek uszkodzenia mózgu u człowieka dorosłego możliwa jest istotna regresja stopnia i abstrakcyjności pojmowania liczb. Dojść może do tego w przypadku urazu ośrodka odpowiedzialnego za orientację przestrzenną, znajdującego się w płacie skroniowym (ośrodek Gerstmann)<sup>70</sup>. U człowieka z takim defektem większość czynności umysłowych pozostaje nie zmienionych - jest on nadal normalnie inteligentnym osobnikiem. Nie jest jednak w stanie dokonać najprostszych abstrakcyjnych operacji dotyczących liczb, np. dodawania w pamięci. Potrafi on natomiast przeprowadzić elementarne kalkulecje posługując się obiektami materialnymi, na przykład palcami lub jabłkami. Nie można zatem powiedzieć, iż taki człowiek w ogóle nie rozumie pojęcia liczby, lecz że pojęcie to jest u niego bardzo związane z "naoczną" właściwością otaczającej go przestrzeni (pamiętajmy także, iż uszkodzony został ośrodek orientacji przestrzennej). Stanowi to kolejną przesłankę na rzecz tezy, iż nasze pojęcia nie są aż tak abstrakcyjne, jak skłonni byli byśmy sobie tego życzyć, i że ich korzenie tkwią we wrażeniach zmysłowych. Potwierdza to lokalizacja funkcji orientacji przestrzennej i rozumienia liczb w tym samym ośrodku.

Co więc się stało z "abstrakcyjną" częścią pojęcia liczby w opisanym przypadku? Ośrodek Gerstmann jest fragmentem kory mózgowej, a więc części mózgu odpowiedzialnej za asocjacje bodźców, pamięć i procesy myślenia. Jak proponowałem wcześniej, te właśnie procesy prowadzą do powstawania pojęć wtórnych, w których do "wrażeniowej" substancji pojęć pierwotnych dodają się mechanizmy integracji i asocjacji różnych impulsów w mózgu (powinienem tutaj dodać - lepiej późno, niż wcale - że różnica pomiędzy pojęciami pierwotnymi i wtórnymi jest płynna i arbitralna). Prawdopodobnie więc, większość pojęć wtórnych, dotyczących liczb i orientacji przestrzennej, nabytych w trakcie rozwoju osobniczego, została w opisywanym przypadku zniszczona na skutek uszkodzenia będącej ich podłożem sieci neuronalnej. Pozostają jedynie "głębiej" zlokalizowane w strukturze mózgu (lub może bardziej zdelokalizowane, "rozmyte" na dużym obszarze kory mózgowej) pojęcia pierwotne. U normalnego człowieka poglegają one obróbce i interpretacji przez pojęcia wtórne. W ostatniej instancji jednak, nasze "abstrakcyjne" rozumienie liczby dwa ciągle jeszcze jest uzależnione i nierozzerwalnie związane z umiejętnością liczenia na palcach!

Każde pojęcie znaczy przez konotację, a więc faktycznie przez odniesienie do wszystkich innych pojęć. Ponieważ zaś nie istnieją dwie identyczne sieci pojęciowe, nie istnieją też dwa doskonale identyczne znaczenia pojęcia "liczba 2", jakkolwiek różnice mogą być tak małe, że nierejestrowalne przez nasz umysł. Oczywiście nie znaczy to, że nie istnieje jednoznaczna cecha świata zewnętrznego, odpowiadająca naszemu pojęciu liczby 2, a tylko, że "odbicie", obraz tej cechy w rozmaitych umysłach nigdy nie jest idealnie taki sam. Jeżeli pokażemy różnym osobom zdjęcie jednego lub dwóch wyraźnych wzgórz, to oczywiście otrzymamy zbieżne odpowiedzi na pytanie: ile jest wzgórz na zdjęciu? Jeżeli jednak zdjęcie będzie przedstawiać jedno wzgórze z dwoma szczytami, przedzielonymi małą przełęczką, to udzielone odpowiedzi będą się między sobą różniły.

<sup>70</sup> Przykład ten zaczerpnąłem z książki Hoimara von Ditfurtha "Duch nie spadł z nieba".

Można oczywiście argumentować, że różne osoby rozmaicie pojmują pojęcie "wzgórze", a nie pojęcie "liczba 2". Ponieważ jednak to ostatnie pojęcie powstało (jak wszystkie pojęcia) na skutek indukcji, to nie może być ono absolutnie "czyste", ostre i pozbawione "zanieczyszczeń" empirycznych. Jakoż pojęcie liczby 2 odniesione do dwóch obiektów dyskretnych, na przykład dwóch atomów, nie jest tym samym pojęciem, co pojęcie liczby 2 zastosowane do tworów ciągłych (np. wzgórz), chociaż skłonność ludzkiego umysłu, a szczególnie nauki, do szatkowania świata na kategorie opatrzone etykietkami nazw językowych dokładnie te różnice zaciera.

Dwa różne pojęcia liczby 2 w różnych sieciach pojęciowych przypominają dwa nałożone na siebie jednakowe ośmiokąty, których środki pokrywają się, ale jeden jest obrócony względem drugiego tak, że jego kąty wypadają pomiędzy kątami tamtego. Wspólna przestrzeń ograniczona przez oba ośmiokąty jest zatem o wiele większa, niż obszary powierzchni znajdujące się w obrębie tylko jednego z nich, lecz nie drugiego. Jeżeli ośmiokąty potraktujemy w przenośni jako "oka" sieci pojęciowej, to wspólny obszar zakreśla sferę jednakowego rozumienia danego pojęcia. Tłumaczy to, dlaczego w ogromnej ilości przypadków rozumienie liczby 2 jest zbieżne dla dwóch różnych ludzi. Im większa liczba kątów występuje w tak nałożonych na siebie wielokątach, tym mniejsze ich obszary nie pokrywają się ze sobą (dla trójkąta powierzchnia tych obszarów jest największa). Jeżeli wzięlibyśmy dwa wielokąty o bardzo dużej liczbie kątów, to ze względu na ograniczoną rozdzielczość naszego oka potraktowalibyśmy je jako dwa idealnie pokrywające się koła. Podobnie, "rozdzielczość" naszej "introspekcji" może być zbyt mała, aby dostrzec różnice pomiędzy pojęciami liczby 2 w dwóch różnych sieciach pojęciowych (koło może w tej analogii oznaczać "realną" cechę świata (cokolwiek by to miało znaczyć), która się pod pojęciem liczby 2 kryje, natomiast opisany na tym kole wielokąt - przybliżenie, obraz tej cechy w sieci pojęciowej). Nie znaczy to jednak, że takie różnice w nich nie istnieją.



## 3.5. EWOLUCJA SIECI POJĘCIOWEJ W EWOLUCJI BIOLOGICZNEJ.

Pomimo, iż rozumiemy, na czym polega ewolucja biologiczna, często jest ona dla nas tworem zbyt abstrakcyjnym, aby w pełni zrozumieć jej konsekwencje. Wiemy, na przykład, że życie powstało na Ziemi jakieś 3.8 miliarda lat temu i w ciągu tego okresu jego rozwój od form najprostszych doprowadził do wyłonienia się gatunku istot rozumnych, człowieka. Aby jednak powstały istoty rozumne, powstać musiał także rozum i świadomość, i to z czegoś, co rozumem (świadomością) jeszcze nie było. Ponieważ ewolucja biologiczna jest procesem ciągłym, załączki myślenia także musiały kształtować się stopniowo. Aby w pełni uzmysłowić sobie fakt ewolucji biologicznej, posłużę się ideą Galerii Przodków. Jest to długi, prosty korytarz, w którym po lewej stronie wiszą na ścianie, w ciężkich dębowych ramach, jeden obok drugiego, portrety naszych przodków w linii męskiej. Na początku korytarza widzimy więc samego (samą) siebie, następnie swego ojca, dziadka, pradziadka itd. Spacerujemy sobie wzdłuż korytarza, przyglądając się kolejnym portretom. Niedługo po naszym pradziadku pojawiają się jacyś panowie przy szablach, w zbrojach, potem w sukmanach z dzirydami w rękę, następnie ubrani w skóry zwierzęce i uzbrojeni w maczugi, wreszcie całkiem nady z kamiennym tłuczkiem w dłoni, a potem nawet i bez niego. Po paru godzinach spaceru nasi antenaci w Galerii Przodków zaczynają z wolna pokrywać coraz większą ilością włosów (a może już sierści?!), ich sylwetki się pochylają, czoła i podbródki cofają, ich ręce stają się coraz dłuższe, a nogi krótsze i bardziej ugięte w kolanach. Wielkość ich puszeki mózgowej coraz szybciej maleje. Jednocześnie coraz częściej nasz kolejny przodek pozuje do portretu zwisając z gałęzi, zamiast, jak przedtem, stać na ziemi. Po jakimś czasie widzimy na drzewie stworzenie wielkości kota, z długim ogonem i chwytymi kończynami. Wtedy być może po raz pierwszy łapiemy się na refleksji, że przecież jeszcze nie tak dawno spoglądał na nas z portretu jakiś elegancko ubrany starszy pan ze wspaniałym wąsem i złotym zegarkiem na łańcuszku. Jego ojciec był bardzo do niego podobny, jego dziadek do jego ojca, pan z maczugą niczym się w sumie nie różnił (poza ubiorem) od pana z dzirytem itd., skąd się więc nagle wzięło to dziwne stworzenie? Ale przecież ono się nie pojawiło nagle, jego bezpośredni potomkowie byli do niego bardzo podobni. Nasz dziadek i to stworzenie przed nami różnią się przecież drastycznie, ale jednocześnie w naszej Galerii Przodków ojciec był zawsze podobny do syna! Zadziwieni tą jednocześnie sprzecznością i naocznością ruszamy dalej. Ponieważ zapowiada się przed nami długi spacer, przesiadamy się na rower. Na portretach w Galerii Przodków migają nam małe owadożerne ssaki z długim ryjkiem, potem widzimy pozbawione sierści i składające jaja gady ssakokształtne, podobne do dużych salamander labiryntodonty, wreszcie ryby trzonopłetwe. Tu być może doznamy następnego wstrząsu - jakoś trudno uwierzyć, że ta właśnie ryba z wybaluszonymi oczyma i tępym wyrazem pyska jest naszym przodkiem w prostej linii. Zmęczeni i przygnębieni przesiadamy się do samochodu. Czeka nas jeszcze długi ciąg jakichś grzebiących w mule robaków, jakichś osiadłych stworzonek filtrujących wodę, którym w końcu zarasta otwór gębowy, a jego funkcję przejmuje to, co dotychczas było odbytem, a wreszcie malowanych spod mikroskopu portretów coraz to prostszych organizmów jednokomórkowych. Po bardzo długiej i

męczącej podróży docieramy wreszcie do końca korytarza. Na portrecie po lewej widzimy obraz olejny przedstawiający jakąś mętną mieszaninę białek i kwasów nukleinowych. Na zaśnieżonej mosiężnej tabliczce pod obrazem czytamy: "Sir Hipercykl Eigena". Na próżno doszukiwalibyśmy tu się jakichkolwiek rysów podobieństwa z naszym pradziadkiem.

Wędrówka wzdłuż Galerii Przodków miała nam uświadomić, że, chociaż różnimy się od naszych antenatów bardzo drastycznie, to proces wyłaniania się naszego gatunku w trakcie ewolucji biologicznej był procesem ciągłym, a człowieka nie dzieli od nie-człowieka żadna ostra granica. Implikuje to bowiem, że podobnie było z powstawaniem świadomości, jednego z najważniejszych, jeżeli nie najważniejszego, atrybutu człowieczeństwa.

Zawróćmy teraz w naszej Galerii Przodków, aby przejść ją jeszcze raz, w przeciwnym kierunku, tym razem przyglądając się jednak nie wyglądowi zewnętrznemu naszych przodków, lecz z wolna rodzącej się w nich i rozwijającej sieci pojęciowej, która w końcu staje się podłożem tego, co nazywamy świadomością. Rozwój naszego ducha był bowiem, tak jak ewolucja ciała, procesem ciągłym.

Sieć pojęciowa jest "skutkiem" działalności układu nerwowego (sieci komórek nerwowych). Zatem o jakichkolwiek załączkach sieci pojęciowej możemy mówić dopiero u organizmów posiadających, najprostszą chociaż, sieć neuronalną. Pojawia się ona u jamochłonów (np. stułbii) w postaci luźnego zespołu "równouprawnionych" prymitywnych komórek nerwowych (lub, jak kto woli, komórek pełniących ich funkcję) i u robaków, u których następuje już koncentracja neuronów w pnie i zwoje, np. w okolicy "głowej". "Sieci pojęciowe" tych organizmów są skrajnie proste. Ich schemat jest w ogromnej większości wrodzony, a ich jedyną funkcję stanowi "przekodowywanie" bodźców docierających ze środowiska na zachowanie się zwierzęcia. Mają więc one "znaczenie" czysto biologiczne. Dla diskutowanego powyżej przykładu fikcyjnego organizmu z jedną tylko komórką nerwową, tym znaczeniem jest mechaniczne ("bezrefleksyjne") realizowanie funkcji logicznej: "jeżeli brak jest substancji organicznych w wodzie i widzisz światło, to podążaj w jego kierunku". Zresztą uproszczeniem byłoby mniemanie, że tego rodzaju "znaczenia" o kontekście czysto biologicznym są charakterystyczne tylko dla układu nerwowego. Przecież bakteria, produkująca enzymy rozkładające laktozę w odpowiedzi na pojawienie się tego cukru w środowisku, poprzez aktywację genów odpowiedzialnych za produkcję odpowiednich białek (teoria operonu), także odpowiada adekwatnie na pojawienie się substancji odżywczych w swoim otoczeniu. Zatem, "znaczenie" biologiczne można utożsamić z celowym zachowywaniem się organizmów żywych w ogóle (na różnych poziomach: biochemicznym, genetycznym, fizjologicznym, neuronalnym itp.). Jednakże, tylko sieć komórek nerwowych rozwinęła się w układ dostatecznie skomplikowany i "nadmiarowy", aby owo znaczenie biologiczne przekształciło się, wolno i niepostrzeżenie, w znaczenie psychologiczne, będące podstawą naszej świadomości. Dlatego też początków sieci pojęciowej należy doszukiwać się w prymitywnych układach nerwowych.

Jak wspominałem, u większości naszych przodków "osie znaczeniowe" (np. sytość - głód, zaspokojenie popędu przekazania własnych genów potomstwu - jego brak) są wrodzone, a ich znaczenie - wyłącznie biologiczne. Często zresztą zarówno zestaw bodźców, na jakie reaguje dany

organizm, jak i repertuar jego zachowań w odpowiedzi na nie, są skrajnie ubogie. Jakub von Uexküll jako przykładu użył kleszcza<sup>71</sup>. Nie jest to przykład reprezentatywny w diskutowanym tu kontekście, ponieważ kleszcz nie należy do naszej Galerii Przodków (jest przedstawicielem zupełnie innej gałęzi drzewa ewolucji), a poza tym, jako pasożyt, ma bardzo uproszczony behavior. Można jednak przypuszczać, że na jakimś etapie ewolucji nasi przodkowie dysponowali repertuarem zachowań o porównywalnym stopniu komplikacji.

Całe życie takiego kleszcza polega na wdrapaniu się na jakieś drzewo lub krzew, oczekiwaniu na przechodzące pod nim zwierzę (trwanie w pełnym bezruchu często przez kilkanaście lat), spadnięciu na nie i znalezieniu na jego ciele odpowiedniego miejsca do przyczepienia się i konsumpcji krwi (oraz, oczywiście, na spotkaniu osobnika odmiennej płci i przekazaniu genów potomstwu). Do realizacji tego zadania potrzebuje on bardzo ograniczonego zestawu bodźców (głównie zapachowych - woń kwasu masłowego wydzielana przez gruczoły potowe ssaków, termicznych oraz elementarnej wrażliwości na światło). Jego "świat", jego sieć pojęciowa jest zatem bardzo uboga. Dla kleszcza pojęcie "sarna" to kombinacja charakterystycznego zapachu, ciepłoty i zaspokojenia głodu. Dla nas "to samo" pojęcie jest definiowane przez miliony innych pojęć, dotyczących wyglądu i zachowania się sarny, jej pozycji systematycznej, budowy anatomicznej, fizjologii, biochemii, aspektów kulturowych (np. myśliwstwo) itp.. Wiemy, że sarna jest zbudowana z atomów, te zaś z jądra i elektronów, którymi rządzi mechanika kwantowa... Kontekstem semantycznym dla pojęcia sarny, czymś co je "definiuje", jest więc u człowieka cała jego sieć pojęciowa, złożona z ogromnej ilości pojęć - węzłów. U kleszcza sieć ta ma zaledwie parę węzłów. Nic więc dziwnego, że "psychika" kleszcza wydaje się zupełnie nieporównywalna do ludzkiej.

Kleszcz musi zachować pewien minimalny repertuar zachowań w celu dotarcia do swojego żywiciela. Takich problemów nie mają takie pasożyty wewnętrzne, jak przywra czy tasiemiec, których jajeczka lub larwy są bezwiednie połknięte przez żywiciela. Ich aktywność życiowa ogranicza się więc do zakotwiczenia w przewodzie pokarmowym żywiciela i produkcji jaj. Wydaje się, iż mówienie o sieci pojęciowej tasiemca jest już na granicy sensowności. Zwierzę to reprezentuje poziom, na jakim znajdowali się nasi wolnożyjący przodkowie w momencie powstawania układu nerwowego. Od tego momentu można mówić o rozwoju sieci pojęciowej.

Koewolucja układu nerwowego i sieci pojęciowej odbywała się na wielu płaszczyznach. Przede wszystkim był to rozwój ilościowy polegający na zwiększeniu liczby elementów obu układów: neuronów, receptorów i efektorów z jednej strony, a pojęć - z drugiej. Powstawanie nowych zmysłów i rozwój już istniejących sprzyjał wzrostowi ilości i różnorodności informacji o otoczeniu docierających do organizmu. Zatem, obok pierwotnego zmysłu chemicznego, pojawiły się inne: wrażliwość na światło, dźwięk, bodźce mechaniczne. Zarazem, już istniejące receptory podlegały stopniowemu różnicowaniu i ulepszaniu, tworząc tak czułe i sprawne narządy zmysłów, jak oko kręgowców, system echolokacji nietoperzy, receptory węchowe niektórych motyli rejestrujące pojedyncze molekuly feromonów płciowych czy "oko cieplne" grzechotnika. Do przetwarzania wrażeń pochodzących od

---

<sup>71</sup> Przykład ten jest cytowany przez Hoimara von Difturtha w książce "Duch nie spadł z nieba".

tych narządów potrzebny był bardziej rozbudowany układ nerwowy. Powodowało to, iż w sieci neuronalnej powstawało bogatsze i bardziej adekwatne do rzeczywistości odwzorowanie otoczenia. Pojęcia odpowiadające poszczególnym "obiektom" realnego świata stawały się lepiej dookreślone, ponieważ do ich "definiowania" służyła szersza (zarówno pod względem różnorodności, jak i rozdzielczości) gama wrażeń zmysłowych oraz ponieważ wrażenia te były efektywniej integrowane przez układ nerwowy. To, co my widzimy jako rybę ze wszystkimi szczegółami jej wyglądu i zachowania, dla jakiegoś prymitywnego organizmu wodnego może oznaczać po prostu "ruch w wodzie" sygnalizujący niebezpieczeństwo. Ulepszony obraz świata tylko o tyle był przydatny organizmom, o ile zwiększał ich szanse na przeżycie i pozostawienie potomstwa. Rozwój receptorów i układu nerwowego musiał zatem zachodzić równolegle z ewolucją efektorów (zwiększenie ich ilości, różnorodności i efektywności działania). Prowadziło to do powstania coraz bardziej rozwiniętego układu ruchowego, który wtórnie mógł spełniać także funkcje manipulacyjne (np. chwytne kończyny górne małp i człowieka). Ta "operacyjna" sprawność w rejestracji skomplikowanych zespołów bodźców ze świata i w adekwatnym reagowaniu na nie wymagała utworzenia w sieci nerwowej systemu, sieci zależności pomiędzy różnymi jej elementami w jakiś sposób korespondującej ze strukturą świata. To właśnie oznaczało powstanie i rozwój sieci pojęciowej.

Powiedziane powyżej można podsumować w następującej tezie: asocjacja bodźców ze środowiska z reakcjami organizmu na te bodźce, sprawna tylko instrumentalnie (tzn. ze względu na przeżycie organizmu, a nie jego zdolności "czysto poznawcze"), prowadzi w obrębie sieci neuronalnej do odwzorowania, w sposób mniej lub bardziej adekwatny, struktury świata. Odwzorowanie to jest zawsze niedoskonałe, a jego postać jest w dużej mierze uzależniona od fizjologii narządów zmysłowych oraz sieci neuronalnej. Istota, "substancja", treść pojęć pochodzi tyleż ze struktury świata, ile ze struktury zmysłów, sposobu porządkowania przez nie wrażeń. Człowiek, poznając świat, zapomina często, iż jego myślenie, sieć pojęciowa, a zatem kategorie, w których rozważa rzeczywistość, odzwierciedlają nie tylko "konieczne" cechy świata, lecz także akcydentalne (bo ukształtowane przez ewolucję) mechanizmy działania naszych receptorów i obróbki przez układ nerwowy danych z nich pochodzących.

Drugim aspektem równoległej ewolucji systemu nerwowego i sieci pojęciowej był wzrost "nadmiarowości" obu układów związany z faktem, że pewne ich elementy przestały odpowiadać za bezpośrednie "przekładanie" bodźców ze środowiska na reakcje organizmu, przejmując funkcje obróbki i integracji wrażeń zmysłowych, koordynacji ruchowej, gromadzenia pamięci, wreszcie asocjacji i koordynacji rozmaitych funkcji układu nerwowego. Spowodowało to oczywiście rozwój sieci pojęciowej - zwiększenie ilości i różnorodności odbieranych bodźców i przejawianych reakcji oraz ich integracja dostarczyły nowych wymiarów w przestrzeni semantycznej, nowych osi znaczeniowych różnicujących (definiujących) pojęcia. Wspomniana "nadmiarowość" systemu neuralno-pojęciowego dała możliwość powstania i rozwoju "wewnętrznej dynamiki" układu nerwowego, jego "autonomicznej aktywności", co w sferze psychicznej odpowiadało zaczątkom procesów myślenia. Jednocześnie, nastąpił stopniowy spadek "naoczności" wielu pojęć. Wszystkie pojęcia u organizmów, u których sieć pojęciowa pełni funkcję prostego przekładania bodźców ze środowiska na zachowanie się organizmu,

są pojęciami będącymi bezpośrednią pochodną struktury sygnałów pochodzących od receptorów zmysłowych. Odpowiadają one zatem poszczególnym faktom świata zewnętrznego, a skomplikowanie ich struktury odzwierciedla "rozdzielczość" receptorów i stopień integracji danych od nich docierających. Pojęcia takie nazywam pojęciami pierwotnymi. Pojęcia pierwotne są to zatem rozmaite "proste" obiekty i procesy świata zewnętrznego, widziane przez pryzmat zmysłów danego organizmu. Dlatego można dla nich użyć określenia "naoczne". Jednakże, pojawienie się w układzie nerwowym (i sieci pojęciowej) wspomnianych wyżej obszarów nadmiarowych doprowadziło do odejścia części pojęć od naoczności. Oznacza to, że znaczenie, forma tych pojęć nie jest już prostym odzwierciedleniem faktów świata, współkształtowanych przez fizjologię zmysłów. "Struktura" tych pojęć, które nazwałem pojęciami wtórnymi, jest tworzona w oparciu o pojęcia pierwotne, ale wynika także z mechanizmów działania pamięci, integracji i asocjacji procesów neurofizjologicznych, koordynacji różnych części układu nerwowego. Pojęcia wtórne są to więc wszelkiego rodzaju pojęcia ogólne i abstrakcyjne, oderwane, nie odpowiadające bezpośrednio prostym faktom świata realnego. Nie znaczy to, że ich struktura nie ma z tym światem nic wspólnego. Przeciwnie. Tworzą się one przecież poprzez integrację pojęć pierwotnych, a sposób tej integracji także nie jest zupełnie przypadkowy, ponieważ musiał przejść przez sito doboru naturalnego. Dobór ten "przepuszczał" tylko takie sposoby integracji, które jakoś odzwierciedlały strukturę świata, tym samym pozwalając na przeżycie w nim oraz sprawność w rozumieniu czysto instrumentalnym.

Pojęcia wtórne nie są zatem, bo nie mogą, całkowicie oderwane od świata. Różnią się one od pojęć pierwotnych tym, że ujmują rzeczywistość nie tylko poprzez pryzmat fizjologii zmysłów, ale także mechanizmów integracji i asocjacji bodźców z nich pochodzących, czyli szeroko rozumianych procesów myślenia. Ujmowanie świata w takie kategorie, jak trójwymiarowa przestrzeń, czas lub przyczynowość wynika zatem ze sposobu integracji danych zmysłów przez nasz mózg. Predyspozycje do takiego ujmowania świata (czyli sposób obróbki bodźców zmysłowych) są przypuszczalnie wrodzone (choć oczywiście nie są wrodzone pojęcia przestrzeni, czasu i przyczyny) O tym, że można to zrobić odmiennie świadczy fakt, że istnieją organizmy, o których przypuszcza się, że widzą świat w dwóch wymiarach. Nie znaczy to jednak, że ten sposób integracji danych zmysłowych jest zupełnie dowolny. Świat zewnętrzny musi mieć taką strukturę, która pozwala porządkować bodźce z niego docierające w obrębie kategorii przestrzeni, czasu i przyczynowości. Zatem "coś" tym pojęciom w rzeczywistości odpowiada.

Wnioski powyższe są w jakimś stopniu analogiczne z poglądami Immanuela Kanta. Filozof ten twierdził, że wrażenia docierające do nas od, z zasady niepoznawalnych, "rzeczy samych w sobie", ujmowane są przez nasz umysł w pewne aprioryczne kategorie, jak właśnie czas, przestrzeń czy przyczynowość. Jednakże kategorie te były w filozofii Kanta czymś absolutnym, podczas gdy struktury naszego myślenia ukształtowane przez ewolucję takimi oczywiście nie są. Poza tym Kant mówi o zupełnej niepoznawalności "rzeczy samych w sobie". W podejściu ewolucyjnym zmuszeni jesteśmy do uznania stopniowości poziomu poznania świata realnego. U organizmów o słabo rozwiniętym i zróżnicowanym układzie nerwowym poziom ten jest bardzo niski, wzrasta on wraz z rozwojem sieci nerwowej, receptorów i efektorów, osiągając szczyt rozwoju u człowieka. Szczyt w

rozumieniu dotychczasowych osiągnięć ewolucji, niewątpliwie można bowiem pójść dalej. Można też wybrać nieco inną drogę, wykształcając inne receptory (czułe, na przykład, na podczerwień czy ultradźwięki) i odmienne sposoby integracji docierających od nich sygnałów. Prowadziłoby to do ukształtowania nieco innego obrazu świata w sieci pojęciowej, obrazu jednak lepiej lub gorzej z tym światem korespondującego. Człowiek może pośrednio, przy pomocy rozwoju nauki i budowy odpowiedniej aparatury, zrekompensować brak pewnych zmysłów i wrodzonych sposobów widzenia świata, tworząc sobie ich "protezy". Jest przez to zdolny dalej doskonalić swój własny sposób poznawania rzeczywistości poprzez zdobywanie o niej wiedzy w sposób omijający częściowo konieczność zmysłowej naoczności<sup>72</sup>. W tym ujęciu, poznanie "rzeczy samych w sobie", chociaż niemożliwe w stopniu absolutnym, można względnie powiększać poprzez rozbudowę sieci pojęciowej i ciągłą weryfikację "przylegania" jej struktury do struktury świata zewnętrznego. Szczególnie przydatne są w tym celu, ze względu na posiadaną metodologię, nauki przyrodnicze.

Obraz świata utworzony w sieci pojęciowej nie jest zatem ani tegoż świata doskonałym odwzorowaniem, ani też dowolną strukturą zupełnie od świata oderwaną. Rozwój sieci pojęciowej następujący równolegle z ewolucją układu nerwowego prowadził do wzrostu ilości pojęć i lepszego ich dookreślenia, a zatem do coraz wierniejszego odwzorowywania coraz większej liczby aspektów rzeczywistości. Wszystkie pojęcia w jakiś sposób pochodzą od wrażeń ze świata realnego, jednakże związek pojęć wtórnych ze światem jest znacznie bardziej upośredniony niż pojęć pierwotnych. To, co w strukturze sieci pojęciowej nie jest odwzorowaniem aspektów rzeczywistości, bierze się z fizjologii zmysłów lub mechanizmów funkcjonowania układu nerwowego.

W tym ujęciu zagadką pozostaje, na przykład, status pojęć matematycznych dotyczących takich "obiektów" jak liczba, punkt, prosta oraz relacji pomiędzy nimi. Jednym z poglądów, nawiązujący do tradycji platońskich, jest idealistyczne założenie istnienia tych pojęć (obiektów, relacji) poza umysłem ludzkim, jak też światem materialnym. Rolą matematyka byłoby tam odkrywanie niezawisłej od świata i ludzi struktury matematyki. Jednakże hipoteza taka wydaje się nadmiarowa i niepotrzebna. Hipotezę konkurencyjną można sformułować w obrębie omawianej tutaj koncepcji sieci pojęciowej. Obiekty matematyczne i relacje pomiędzy nimi byłyby w tym ujęciu pojęciami w obrębie naszego umysłu reprezentującymi pewne aspekty świata realnego, po wyabstrahowaniu ich od przypadłości akcydentalnych. Pojęcia te stanowią klocki, które można układać w różne kombinacje, tworząc w ten sposób rozmaite systemy matematyczne. Systemy takie dają się tworzyć, ponieważ w jednych układach klocki, na skutek swych "wewnętrznych" właściwości<sup>73</sup> (struktury), pasują do siebie,

<sup>72</sup> Jako że pierwotnym "substratem" wszystkich pojęć są wrażenia pochodzące od receptorów, całkowite ominięcie zmysłowej naoczności nie jest oczywiście możliwe.

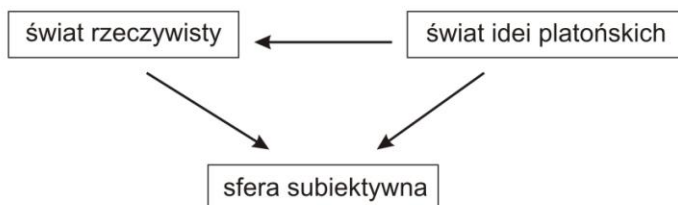
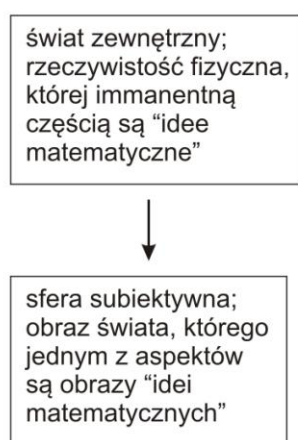
<sup>73</sup> "Wewnętrzna struktura" obiektów matematycznych nie oznacza optowania za koncepcją relacji wewnętrznych w opozycji do teorii relacji zewnętrznych. Na poziomie sieci pojęciowej takie rozróżnienie traci sens, ponieważ "wewnętrzne" właściwości pojęcia są niczym innym, jak pochodną "zewnętrznych" konotacji z innymi pojęciami. Autonomicznie wewnętrzne cechy pojęć nie istnieją. To zatem, czy relacje pomiędzy obiektami matematycznymi uznamy za wewnętrzne, to znaczy sprowadzalne do immanentnych właściwości tych obiektów, czy za zewnętrzne, a więc do nich nie redukowalne, jest kwestią konwencji. Co więcej, jeżeli do klocków matematycznych zaliczymy nie tylko obiekty matematyczne, takie jak funkcja, prosta, tensor, ale także relacje matematyczne, problem w

a w innych nie, dając tym samym albo wewnętrzną spójność układu, albo sprzeczność. Tylko niektóre z tych systemów używamy do opisu świata fizycznego, inne są od niego "oderwane". Ale to oderwanie jest tylko pozorne, stanowi introspekcyjne wrażenie naszego umysłu, ponieważ pojęcia matematyki, formujące jej klocki budulcowe (zarówno obiekty matematyczne, jak i relacje pomiędzy nimi), pochodzą ze świata. Podobnie jak tworzymy "nierzeczywiste" matematyki, moglibyśmy, posiadając odpowiednią wiedzę, tworzyć "nierzeczywiste" biologię poprzez projektowanie nie istniejących organizmów żywych zbudowanych z istniejących klocków: pierwiastków i związków chemicznych lub nawet komórek, tkanek i narządów. Prostim przykładem byłoby odmienne przyporządkowanie aminokwasów i trójek nukleotydów w kodzie genetycznym. Znowu, nie wszystkie kombinacje klocków doprowadziłyby do powstania "funkcjonującego" systemu, z powodu wewnętrznych właściwości klocków. Tak jak dowód na poprawność czy sprzeczność jest metodą weryfikującą systemy w obrębie matematyki, tak funkcjonalność lub niefunkcjonalność byłaby kryterium "wartościowania" budowanych organizmów. Nie ma zatem potrzeby przyjmowania istnienia matematyki poza strukturą świata i naszymi umysłami. Nawiasem mówiąc, ścisłość, siła i elegancja matematyki przemawia za tym, że wkład obiektywnych właściwości świata w kształtowanie pojęć matematycznych w naszym umyśle jest ogromny, nieporównywalny z żadną inną dziedziną ludzkiej wiedzy, podczas gdy subiektywne "zanieczyszczenie" tych pojęć strukturą naszych zmysłów i psychiki jest stosunkowo niewielkie. Z pewnością jednak nie jest możliwe zupełne usunięcie tego zanieczyszczenia (świadczy o tym chociażby dowód Gödla lub paradoks żółwia i Achillesa). Rycina 3.3 dokonuje porównania pomiędzy "platońską" koncepcją matematyki a punktem widzenia reprezentowanym w tej książce.

Nadmiarowość systemu nerwowego względem funkcji bezpośredniego przekładania odbieranego zestawu bodźców na behavior zwierzęcia nie da się oddzielić od trzeciej płaszczyzny wspólnego rozwoju układu nerwowego i sieci pojęciowej. Mianowicie, coraz większa część repertuaru zachowań oraz integracji i interpretacji wrażeń zmysłowych stawała się nie wrodzona, lecz nabyta w doświadczeniu osobniczym. Wiązało się to z rozwojem procesów zapisu pamięciowego. Zmiany te wzmagały istotnie elastyczność i dynamikę sieci pojęciowej; jej schemat w coraz mniejszym stopniu był determinowany genetycznie, w coraz większym zaś kształtowany przez proces uczenia się. Sprzyjała temu opieka nad potomstwem, kiedy to rodzice stanowili rodzaj buforu, osłonki behawioralnej dla młodego osobnika, niwelującej wszelakie zagrożenia ze strony środowiska, dostarczającej mu pokarmu oraz ułatwiającej nabywanie doświadczeń do czasu osiągnięcia przez niego dojrzałości. Umożliwiało to przyjście na świat młodego osobnika z "wrodzoną" siecią pojęciową złożoną z prostego systemu "biologicznych" osi znaczeniowych, o stopniu komplikacji porównywalnym z siecią pojęciową kleszcza lub tasiemca. Cała sieć pojęciowa była następnie budowana w czasie rozwoju osobniczego.

---

ogóle upadnie. Mówiąc zatem o "wewnętrznych" właściwościach obiektu matematycznego mam tylko na myśli przynależne mu osie znaczeniowe (lub konotacje z innymi pojęciami) określające istotę danego obiektu i jego możliwe relacje z innymi obiektami.

*a. byty matematyczne jako platońskie idee**b. byty matematyczne jako aspekty rzeczywistego świata*

Ryc. 3. 3. Porównanie platońskiego poglądu na wzajemne relacji pomiędzy światem idei matematycznych, światem rzeczywistym i sferą subiektywną z poglądem reprezentowanym w niniejszej pracy.

Ukształtowana w ten sposób sieć pojęciowa była zupełnie odmienna od sieci pojęciowej wrodzonej, zdeterminowanej genetycznie. Przede wszystkim mogła być od niej bogatsza i bardziej zróżnicowana. Po pierwsze, genetycznie może być zapisany schemat tylko prostej sieci nerwowej ze względu na konotacyjne znaczenie poszczególnych neuronów w tej sieci. Zatem większe sieci nerwowe mogą rozwinąć się tylko drogą uczenia się. Odbywa się to poprzez naśladowanie rodziców (jest to ich kolejna rola poza stworzeniem buforu behawioralnego pomiędzy młodym osobnikiem i otoczeniem) lub innych dorosłych osobników, albo też na drodze gromadzenia doświadczenia metodą prób i błędów. Zaletą takiego rodzaju uczenia się jest szybkość (cały proces zawiera się w życiu osobnika) oraz elastyczność i nadmiarowość, pozwalająca reagować adekwatnie na nieprzewidywalne i nigdy wcześniej nie napotkane sytuacje. Ewolucja wrodzonych schematów sieci nerwowych (i pojęciowych) to także uczenie się metodą prób i błędów. Wskutek mutacji powstają bowiem rozmaite warianty sieci nerwowych (pojęciowych), nieco inaczej "postrzegających" bodźce ze świata zewnętrznego, integrujących je i na nie odpowiadających (tworzące nieco odmienne obrazy tego świata), z których tylko najlepsze, najbardziej adekwatne do rzeczywistości są przepuszczane przez dobór naturalny. Jednakże ten sposób uczenia się jest o wiele powolniejszy (nabywanie



pamięci ewolucyjnej mierzone jest czasem geologicznym), mniej efektywny, a powstałe na jego skutek sieci pojęciowe są o wiele sztywniejsze i całkowicie niepodatne na korygowanie w trakcie rozwoju osobniczego. A przecież rozmaite osobniki tego samego gatunku mogą żyć w nieco odmiennych środowiskach i repertuar zachowań adekwatny w jednych warunkach może takim nie być w innych. Dlatego wrodzone sieci pojęciowe są o wiele gorzej przystosowane do zróżnicowanych i szybko zmieniających się środowisk niż sieci ukształtowane w rozwoju osobniczym. Brak konieczności posiadania genetycznego zapisu struktury całej sieci nerwowej stwarza możliwość do znacznie szybszej ewolucji układu nerwowego, w szczególności mózgu. Uczenie się, jako nabywanie doświadczeń w trakcie rozwoju osobniczego sprzyja także kształtowaniu się procesów myślenia jako autonomicznej aktywności sieci nerwowej. We wrodzonej, ściśle zdeterminowanej sieci nerwowej nie ma miejsca na elastyczną asocjację rozmaitych procesów i podejmowanie decyzji, nieodłącznie związane z procesami myślenia. Zaprogramowana genetycznie sieć pojęciowa jest zatem uboższa, bardziej sztywna, wolniej ewoluująca, pozbawiona autonomicznej aktywności i gorzej odwzorowująca świat rzeczywisty niż sieć pojęciowa powstała w procesie uczenia się.

W końcu, nakierowanie aparatu poznawczego na siebie samego doprowadziło do powstania samoświadomości, wyłonienia się w sieci pojęciowej podmiotu zdolnego do śledzenia procesów zachodzących w tejże sieci. Rozumieć to należy następująco. W trakcie ewolucji powstał w mózgu pewien "ośrodek" (mówię to w niejkiej przenośni, mając na myśli raczej ośrodek funkcjonalny, a nie anatomiczny), integrujący dane napływające na bieżąco od receptorów z zapisami pamięci, koordynujący rozmaite funkcje centralnego układu nerwowego i podejmujący decyzje o stymulacji efektorów. Ośrodek ten konfrontuje zatem sygnały z otoczenia z nabytą pamięcią, wiedzą, z ukształtowanym w sieci pojęciowej obrazem świata. W jego działaniu istotną rolę odgrywa autonomiczna aktywność sieci nerwowej. W ośrodku tym zachodzą więc procesy składające się na to, co nazywamy psychiką. Jeżeli wyodrębnimy go arbitralnie jako względnie dobrze izolowany system, to wejściami tego systemu będą receptory i ośrodki obrabiające sygnały od nich pochodzące. Otóż powstanie świadomości polegałoby na nakierowaniu części wejść tego systemu na siebie samego, czyli na samorozpoznaniu się procesów zachodzących we wspomnianym ośrodku. Procesy te "obrabiłyby" także same siebie, tak jak wcześniej obrabiały wyłącznie dane pochodzące od receptorów (lub, jak w czasie snu, z zapisów pamięciowych). Byłaby więc to relacja samostosowalności, analogiczna w jakiś stopniu do podobnej relacji zachodzącej w paradoksie kłamcy, antynomii klas Russella lub dowodzie Gödla, czy też do przedstawionej przeze mnie koncepcji pojęcia, gdzie "pojęcie" także jest pojęciem. Zważywszy fakt, że sieć nerwowa jest podłożem sieci pojęciowej, ta ostatnia analogia wydaje się nieprzypadkowa.

Zaproponowany powyżej proces ewolucji neurofizjologicznej doprowadziłby więc do powstania w sieci pojęciowej pojęcia "ego". Jak każdy tego rodzaju proces nie był on (a przynajmniej nie musiał być) zjawiskiem skokowym, jako że nakierowywanie wejść "ośrodka poznawczego" na samego siebie zachodziło wedle wszelkiego prawdopodobieństwa stopniowo. Żadna pojedyncza mutacja nie mogła bowiem doprowadzić od razu do powstania skomplikowanej struktury nerwowej będącej podłożem naszej świadomości. Być może konieczna była jakaś mała nieciągła, "jakościowa"

zmiana, ale dalszy proces musiał zachodzić przez gromadzenie stosunkowo nieznacznych mutacji. Zresztą nasz mózg ma prawdopodobnie zakodowaną genetycznie tylko pewną predyspozycję do wytworzenia świadomości, a nie samą świadomość. Uważam, że gdyby człowieka od urodzenia pozbawić dopływu jakichkolwiek bodźców aferentnych, nie tylko żadna świadomość, ale nawet psychika by w nim nie powstała, co zresztą wynika z powiedzianego w poprzednim rozdziale. Nie byłby on bowiem zdolny do wytworzenia bardziej skomplikowanej sieci pojęciowej, elementarnego obrazu świata, nie możnaby go zatem nazwać w żadnym psychologicznym sensie człowiekiem. Urodzenie się człowiekiem pod względem biologicznym (cielesnym) nie oznacza zatem bycia człowiekiem pod względem duchowym.

Powyżej powiedziane prowadzi do wniosku, że także świadomość rodziła się stopniowo w procesie ewolucji. Nie jest więc możliwe inaczej niż arbitralnie wyznaczyć momentu jej powstania, to jest wskazać jakiegoś naszego antenata w Galerii Przodków, który już świadomość posiadał, podczas gdy jego rodzice jeszcze nie. Skoro proces rodzenia się świadomości był ciągły, to prowokuje to pytanie, czy niektóre z żyjących obecnie zwierząt (na przykład szympansy lub delfiny) nie posiadają zaczątków świadomości. Osobiście uważam, że zaczątki takie są u nich obecne, i że tym, co zahamowało u nich rozwój świadomości na niskim poziomie, jest brak bardziej skomplikowanego systemu (języka) porozumiewania się (oraz brak tak doskonałego narzędzia manipulacyjnego, jakim jest chwytna ręka u człowieka, umożliwiającego realizację bardziej skomplikowanych rozkazów mózgu). Język, sam będąc częścią sieci pojęciowej, wpływa w sposób zasadniczy na możliwość jej rozwoju. Ułatwia on bowiem wydatnie proces operowania pojęciami w obrębie sieci pojęciowej. Wytworzenie przez przodków człowieka języka etnicznego w obrębie sieci pojęciowej zadziało jak sprzężenie zwrotne dodatnie, powodując lawinowy rozwój tejże sieci, łącznie z elementami ukierunkowanymi na jej samorozpoznanie. Jako że język jest częścią szeroko pojętej kultury, problemem tym zajmę się szerzej w następnym rozdziale.

Powstanie samoświadomości ma pewien rys wspólny z powstaniem życia: oba te procesy polegały na zaistnieniu relacji samostosowalności. W pierwszym samoodtworzącym się układzie żywym, hipercyklu Eigena, pewne białko (zespół białek) katalizowało kopiowanie (replikację) RNA kodującego to białko, będącego matrycą do jego syntezy. Zatem białko to katalizowało samoodtworzenie się. Świadomość, podobnie, powstała przez samorecepcję "ośrodka poznawczego" w mózgu, przez nakierowanie na samego siebie swoich wejść. W tym sensie świadomość jest tym w stosunku do życia, czym życie w stosunku do materii nieożywionej.

## 3.6. KULTURA A EWOLUCJA SIECI POJĘCIOWEJ

W poprzednich rozdziałach opisałem ewolucję sieci pojęciowej w rozwoju ontogenetycznym i filogenetycznym człowieka. Pozostał do omówienia jeszcze jeden aspekt tej ewolucji - aspekt kulturowy. Kultura towarzyszyła ostatniemu etapowi ewolucji biologicznej i jest obecna w trakcie praktycznie całego okresu rozwoju osobniczego człowieka. Odgrywa ona zatem ogromną rolę jako czynnik współtworzący sieci pojęciowe członków społeczeństwa, sama z kolei będąc przez te sieci kształtowana. Kultura jest pewną formą zbiorowego komunikowania się ludzi zarówno w przestrzeni, jak i w czasie, spoiwem czyniącym ze zbioru indywidualów skomplikowane "organizmy" społeczeństw o złożonej, zhierarchizowanej strukturze i wielorakich relacjach wewnętrznych. Ze względu na tak wyróżnioną pozycję kultury jej rola w kształtowaniu sieci pojęciowej wymaga osobnego potraktowania.

Zacząć należałoby od określenia, czymże właściwie jest kultura w omawianym tu kontekście, a więc jak ma się ona w stosunku do sieci pojęciowych ludzi żyjących w danej kulturze i tworzących ją. Interesuje nas zatem psychologiczny aspekt kultury (a nie, na przykład, jej aspekt materialny, tzw. wytwory kultury). W tym ujęciu stanowi ona coś w rodzaju trzeciego świata Poppera - zespołu wiedzy naukowej, wartości etycznych i estetycznych, języka, umownych konwencji itp., leżących poza światem materialnym (świat pierwszy) oraz naszą świadomością (świat drugi). Kulturze przysługiwałaby zatem byt samoistny, nieredukowalny do psychik uczestniczących w niej jednostek.

Koncepcja ta jest, niestety, nieuniknioną hipostazą, jako że reprezentuje podejście holistyczne, idealistyczne. Możliwe jest przyjęcie przeciwnego paradygmatu, redukcjonistycznego, głoszący że kultura nie istnieje poza ludzkimi umysłami, będąc sumą, średnią lub wypadkową znajdujących się w nich elementów, które wedle panujących powszechnie opinii na tę kulturę się składają. Podejście takie, rezygnując z bytów ogólnych, utrudnia jednak znacznie jakąkolwiek komunikację dotyczącą otaczającego nas zespołu zjawisk. Wydaje się, iż najrozsądniej jest wybrać stanowisko zwane konwencjonalizmem, wedle którego kultura jest umowną kategorią, powszechnie rozumianym pojęciem przyjętym ze względu na jego użyteczność w porządkowaniu dostępnego nam świata fenomenów, w jego opisywaniu i interpretacji.

W tym właśnie sensie chciałbym zaproponować model kultury w jej aspekcie psychologicznym w postaci sieci pojęciowej istniejącej poza świadomościami poszczególnych uczestników tejże kultury. Sieć taka zawierałaby w sobie przede wszystkim język etniczny, jakim się dana kultura posługuje, dalej - jej wiedzę i teorie naukowe, dzieła literatury, sztuki i muzyki istniejące w postaci zespołu ich odbiorów przez członków kultury, umowne symbole, wyznawany system wartości, wreszcie rozmaite wierzenia religijne. Oczywiście ilość informacji zawartej w sieci pojęciowej kultury znacznie przewyższa pojemność mózgu ludzkiego. Jest to pierwszy powód dla którego sieć owa istnieć może tylko poza jakąkolwiek świadomością, w sferze bytów abstrakcyjnych. Drugim powodem jest, wspomniany już przeze mnie, fakt, iż nie ma dwóch ludzi z identycznymi sieciami pojęciowymi, a zatem z jednakowymi systemami znaczeń. Sieć pojęciowa kultury musi się

zatem składać z pojęć bardziej mglistych niż pojęcia poszczególnych osobników, którzy dookreślają sobie owe pojęcia na swój własny użytek. A raczej, sieć pojęciowa kultury musi uwzględniać cały zakres systemów semantycznych członków tej kultury. Z drugiej strony, te systemy semantyczne w ogóle do siebie jakoś przystają, dają się na siebie w miarę dobrze przetłumaczyć, ponieważ rozwinęły się one w jednej kulturze. Zdolność do przekładania sensów pomiędzy różnymi kulturami zależy od stopnia ich podobieństwa oraz wzajemnej asymilacji. Tak czy owak, biologiczna natura człowieka narzuca wszystkim istniejącym na Ziemi kulturom pewne wspólne rysy, zapewniając im jakiś stopień podobieństwa. Są do pomyślenia cywilizacje pozaziemskie, z którymi nasza nie będzie miała nawet wspólnych znaczeń uwarunkowanych biologicznie (na przykład rozmnażające się bezpłciowo). Zawsze jednak pozostanie do wymiany wiedza czysto naukowa, ponieważ świat fizyczny jest jeden i struktury map pojęciowych nauki różnych cywilizacji muszą do struktur tego świata, a zatem do samych siebie, w jakimś stopniu przystawać.

Kultura, zdefiniowana powyżej jako pewien rodzaj sieci pojęciowej wyabstrahowanej z głów (umysłów) jej członków, stanowi we współczesnych społeczeństwach twór ogromnie rozwinięty i zróżnicowany. Ponieważ jednak to, co nazywamy kulturą, pojawiło się w naszej Galerii Przodków stosunkowo bardzo niedawno, musiała ona ewoluować poprzez stadia znacznie prostsze z jakichś załączków, które jeszcze kulturą nie były.

Początków kultury należy szukać w tworzeniu się sieci pojęciowej na drodze uczenia się i gromadzenia doświadczeń w trakcie rozwoju osobniczego, w przeciwieństwie do genetycznego przekazywania struktury sieci pojęciowej. Chodzi tu w szczególności o czerpanie informacji od rodziców i współplemieńców; najprostszym przykładem tego procesu jest naśladownictwo. Osobniki młodociane uczą się w ten sposób jak zdobywać pożywienie i unikać niebezpieczeństwa, wychowywać potomstwo i respektować zasady hierarchii. Także osobniki dorosłe mogą przyswajając sobie nowe formy zachowań od innych osobników. Już u małp zaobserwowano, że jeżeli jeden z członków stada wpadnie na pomysł mycia ziarna w wodzie, żeby oddzielić je od piasku, to po jakimś czasie czyni to całe stado. Zachowanie to jest oczywiście przekazywane następnym pokoleniom za pośrednictwem osobników młodych, jako ustalony schemat behawioralny danej populacji. Zespół takich zachowań może się z czasem wzbogacać, w miarę jak populacja odkrywa coraz to nowe możliwości sprawniejszego zdobywania pokarmu oraz wykonywania innych, ważnych biologicznie funkcji. Może to polegać na odkryciu prostych narzędzi, jak kamień służący wydrze morskiej do rozbijania muszli, kolec, którym niektóre żyły wydłubują owady ze szczelin kory, czy osławiony kij, pomocny szympansovi w strąceniu banana z dużej wysokości. Może to być znalezienie nowego rodzaju pożywienia, usuwanie pasożytów przez wzajemne iskanie u małp itd.

Wszystkie wspomniane wyżej rodzaje zachowań, chociaż często wcale skomplikowane i prowadzące do wzbogacenia sieci pojęciowej o nowe elementy, nie są jednakże jeszcze załączkami kultury. Spełniają one funkcje, które można obiektywnie uzasadnić ze względu na ich znaczenie biologiczne. Ich domeną jest zatem określona poza obrębem sieci pojęciowej - celowość. Zachowania te znaczą w sposób obiektywny, przynajmniej w kontekście mechanizmów cybernetycznych ustanowionych przez ewolucję biologiczną. Znaczeniom tym brakuje zatem tego,

co jest najbardziej immanentną częścią kultury - subiektywności (lub raczej intersubiektywności) i umowności.

Wyobraźmy sobie bliżej nieokreślone stado małp, w którym głośny okrzyk oznacza niebezpieczeństwo w postaci zbliżającego się drapieżnika. Powiedzmy, że małpy mogą wydawać głosy nieco wyższe lub nieco niższe, ale że wysokość głosu w danym razie jest kwestią przypadku - małpy krzyczą raz wysoko, raz nisko, bez względu na to, czy zbliża się lampart, czy ptak drapieżny. W pewnym jednak momencie jedna z małp (najlepiej wysoko stojąca w hierarchii, np. przewodnik stada) zaczyna reagować wysokim głosem na pojawianie się lamparta, a niskim na zbliżanie się orła. Ponieważ rozmaite drapieżniki wymagają odmiennych strategii ucieczki, rozróżnienie takie należy uznać za celowe biologicznie. Prawdopodobne jest zatem, że po jakimś czasie wszystkie osobniki w stadzie będą wysokim krzykiem ostrzegać przed lampartem, niskim przed ptakiem drapieżnym oraz odpowiednio reagować. Wytworzenie takiego wzorca zachowań jest już zalążkiem kultury.

Ale właściwie dlaczego? Co różni powyższy przykład od przykładów poprzednich, którym odmówiliśmy znamion kulturowych? Przecież i tu, i tam zachowanie służy realizacji "obiektywnych" celów biologicznych. Co zatem stanowi o istocie kultury?

Jak już powiedziałem - umowność. To, że wysoki głos ostrzegawczy został w powyższym przykładzie przyporządkowany lampartowi, a niski - ptakowi drapieżnemu, było kwestią przypadku. Równie dobrze mogło być odwrotnie i nie zmieniłoby to biologicznej celowości tego rodzaju zachowania. Jednakże w sieci pojęciowej "kultury" omawianego stada małp pojawiły się dwa pojęcia, dwa znaczenia: "wysoki krzyk - lampart - uciekaj na inne drzewo" i "niski krzyk - ptak drapieżny - uciekaj w głąb korony". Niski i wysoki głos można także uważać za najbardziej pierwotne nazwy, oznaczające "niebezpieczeństwo z nieba" i "niebezpieczeństwo z ziemi". Opisany przykład tworzenia się zalążków kultury jest zatem także przykładem powstawania zalążków języka - ich drogi były nierozdzielne prawie od samego początku.

Inny przykład kształtowania się początków kultury, pozbawiony "zanieczyszczeń" językowych, podaje Stanisław Lem. Tam, boląca prawa strona szczęki przywódcy stada małp powoduje, iż nadgryza on upolowane ptaszki lewą stroną, który to zwyczaj przejmuje od niego reszta stada, uznając go od tej pory za obowiązujący. To, co miało sens biologiczny, jako niedrażnienie bolących zębów, u przewodnika stada, traci ten sens u innych osobników. Celowa groteskowość tego przykładu pozwala nam dobitniej zrozumieć korzenie kultury. Historyjek takich można wymyśleć krocie. Na przykład, upadnięcie szamana na twarz ze strachu przed piorunem mogło być przez resztę plemienia uznane za oddanie czci jakiejś istocie nadprzyrodzonej i tym samym stworzyć zaczątki religii. Nie jest istotne, czy powyższe opisy rodzenia się elementów kultury są prawdziwe (z pewnością są one bardzo uproszczone). Chodzi tu bowiem przede wszystkim o pokazanie rodzenia się intersubiektywnego systemu znaczeń nie posiadającego żadnego bezpośredniego uzasadnienia w funkcjach biologicznych, a więc wyłaniania się z poziomu biologicznego nowego poziomu - kulturowego, którego w oparciu tylko o ten pierwszy nie da się wyjaśnić.

W kwestii, dlaczego powstała kultura można powiedzieć tyle, co o powstaniu życia - po spełnieniu pewnych warunków kultura powstać musiała, jako skutek rozwoju psychiki i relacji

społecznych. Procesowi temu sprzyjał język, kodyfikujący umowny system znaczeń kulturowych. Wraz z pojawieniem się samoświadomości przysłała potrzeba wiedzy nie tylko o świecie, ale także o samym sobie. Wiedza ta była konstruowana w sposób w dużej mierze przypadkowy z zastanych elementów - znaczeń, o ile świat wyrażał na nią milczącą zgodę obojętności. Wracając jednak do kontekstu niniejszego artykułu, staram się tu opisać, jakie mechanizmy doprowadziły do powstania sieci pojęciowej kultury. Mechanizm taki, jeżeli będziemy pamiętali o rozlicznych ograniczeniach narzuconych przez biologiczną i ewolucyjną "pożywkę" kultury, jest właściwie jeden - przypadek. Przypadek - oraz aktywny "materiał" kształtujący kulturę, jakim jest psychika ludzka.

Sieć pojęciowa kultury oczywiście nie startuje znikąd. Podstawą dla jej rozwoju jest zespół znaczeń czysto biologicznych. O ile jednak kultura musi uwzględniać fizyczne i biologiczne realia świata, to w zakreślonych przez nie granicach niczym już nie jest skrzepowana. Dalszy rozwój kultury jest oczywiście w dużym stopniu zdeterminowany, "skanalizowany" przez jej dotychczasową historię. Jest to zrozumiałe z punktu widzenia sieci pojęciowej - nowe znaczenia są do niej wbudowywane w oparciu o pojęcia już w niej istniejące. Sieć pojęciowa określa zatem, poprzez swoją strukturę, pewien ograniczony zakres dróg rozwoju, jakimi może podążać, natomiast przypadek decyduje o tym, która z tych dróg zostanie wybrana. Ewolucja sieci pojęciowej kultury jest zatem procesem kumulatywnym, "pamiętającym" swoją własną historię. Najbardziej paradoksalną cechą kultury jest fakt, iż całkowicie umowne i przypadkowe znaczenia stają się, kiedy już w tej kulturze zaistnieją, niepodważalne i, w jej obrębie, w sposób absolutny "prawdziwe". O sile wiary w znaczenia zrodzone z przypadku świadczyć może chociażby długa i niechlubna historia wojen religijnych.

Przypadkowość, umowność znaczeń kultury tłumaczy ogromną wielość i różnorodność kultur powstałych w historii ludzkości, pomimo jedności świata biologicznego i fizycznego, w jakim żyjemy. Dywergencję ewolucji kulturowej dostrzegamy w różnaitości wierzeń, filozofii, obrzędów, etyk, sztuk i języków. Im dalsze od siebie są kultury, tym bardziej ich pojęcia i znaczenia, sposoby widzenia świata są na siebie nieprzekładalne. Różnice te potęguje odmiennność języków etnicznych, których struktura ma także niebagatelny wpływ na kształtowanie widzenia świata (zgadzam się z tezą Quine'a o nieprzekładalności – „niezdeterninowaniu przekładu” - języków etnicznych). Całkowite zrozumienie jakiejś kultury przez człowieka wychowanego w innej kulturze jest z zasady niemożliwe ze względu na nieprzystawalność sieci pojęciowych tych kultur. Można oczywiście próbować "wczuć się" w wierzenia jakiegoś ludu, ale gdyby dla tego ludu najwyższym zaszczytem było złożenie siebie dobrowolnie w ofierze jego bóstwu, prawdziwe zrozumienie tej kultury równałoby się najwyższej ekstazie w momencie zostania takim "wybrańcem". Zresztą, człowieka z kręgu kultury śródziemnomorskiej, który z ochotą oddałby życie za jakieś egzotyczne bóstwo, podejrzewalibyśmy o chorobę psychiczną raczej, niż o zrozumienie.

Prostą pochodną rozbieżności ewolucji kultur jest fakt, że istniejące w ich obrębie sensory dotyczące religii, sztuki, relacji społecznych, języka są czysto intersubiektywne, znikają zaraz po opuszczeniu danej kultury. Dzieje się tak dlatego, że świat obiektywny jest neutralny wobec kultur - pozostawia im zupełną swobodę rozwoju, dopóki nie ignorują one najprostszyc faktów tego świata, na przykład tego, że trzeba się odżywiać i unikać drapieżników oraz chronić przed zimmem, aby

przeżyć. Większa część kultury ma zatem tylko tyle związku ze światem zewnętrznym, ile musi. Bez tego kultura nie mogłaby istnieć, jako że fizyka nie uznaje żadnych wartości etycznych lub estetycznych, ani też nie afirmuje żadnego rodzaju bóstwa. Istnieje jednak dziedzina kultury, która, z własnego wyboru, zdecydowała się na znacznie ściślejszy związek ze światem obiektywnym, a zatem zrezygnowała z owego prawa do niczym nie skrępowanej produkcji dowolnych i umownych znaczeń, które, kiedy już zaistnieją, stają się sensami jedynymi i obowiązującymi. Dziedziną tą jest oczywiście nauka.

Wyobraźmy sobie, że sieć pojęciowa rozbudowuje się, tworząc nowe pojęcia. Na ich podstawie rozwijają się jeszcze inne. Powstają w ten sposób "łańcuchy pojęciowe", rozumiane jako pewne ciągi pojęć pierwotnych i pochodnych w sieci pojęciowej. Otóż w takich łańcuchach, jeżeli ich rozwój warunkowany jest tylko już istniejącą strukturą znaczeń, nieokreśloność znaczeń, ich "niewywiadłość" z warunków początkowych, sumuje się, gdy posuwamy się wzdłuż łańcucha. Wystarczająco długie łańcuchy, z jakkolwiek dobrze zdefiniowanych pojęć by się nie składały, mogą "wyginać się", "odchyłać" od jakiejś zadanej linii w przestrzeni semantycznej na dowolną odległość. Podatność na owo "odchylenie się" jest miarą niedookreślenia pojęć (jest ona bardzo mała na przykład w matematyce). Jeżeli kilka łańcuchów pojęciowych rozwija się niezależnie z jakiegoś załączka pojęciowego, na przykład z "potocznej" sieci pojęciowej, to w dostatecznej odległości od niego rozchodzą się one na dostatecznie dużą odległość, czyli popadają ze sobą w sprzeczność (jako przykład podać można różne religie i filozofie).

Inaczej wygląda sytuacja w naukach przyrodniczych. Wszystkie nowo powstające pojęcia są tu na bieżąco (lub z pewnym skończonym opóźnieniem) konfrontowane ze światem zewnętrznym. Na przykład przez pewien czas teoria Wielkiego Wybuchu i teoria Stanu Stacjonarnego współistniały ze sobą wobec braku doświadczenia falsyfikującego którąś z nich, odzwierciedlając przez to jedynie filozoficzne upodobania ich twórców. Jednakże odkrycie promieniowania tła przesądziło na korzyść tej pierwszej. Zatem świat obiektywny w pewnym sensie wyznacza linie w przestrzeni semantycznej, której muszą się "trzymać" łańcuchy pojęć. Innymi przykładami pojęć już "martwych", po ich falsyfikacji przez nauki przyrodnicze, są eter kosmiczny, flogiston czy vis vitalis. Oczywiście wzajemne przystawanie do siebie owych linii i łańcuchów nigdy nie jest doskonałe. Jednakże nieokreśloność semantyczna nie sumuje się tu w miarę rozwoju łańcucha, lecz pozostaje mniej lub bardziej stała. Zatem, zakładając iż świat zewnętrzny jest spójny i niesprzeczny, narzuca on ową spójność (oczywiście w sposób niedoskonały tylko i przybliżony) strukturze sieci pojęciowej nauki ścisłej.

Inaczej sprawa się ma w przypadku szeroko pojętej kultury i nauk humanistycznych (oraz czerpiących z nich filozofii). Niedookreślenie, "nieostrość" pojęć jest w nich duża, a ich sieci pojęciowe mają bardzo ograniczoną możliwość weryfikacji poprzez konfrontację ze światem obiektywnym. Ewolucja sieci pojęciowych nauk przyrodniczych powstałych w różnych kulturach musi być konwergentna - jej zbieżność wyznacza przystawanie struktur tych nauk do struktur świata. Metodologia nauk ścisłych jest w stanie niwelować wszelkie ich odchylenia od tej struktury, zachodzi tu zatem sprzężenie zwrotne ujemne. Rozwój kultury, przeciwnie, polega na wzmocnieniu

przypadkowo obranego kierunku i dalszym podążaniu tą drogą. Kultura, poprzez już posiadaną strukturę, określa ramy swojej dalszej ewolucji; w obrębie tych ram rządzi zaś przypadek. Jest więc to sprzężenie zwrotne dodatnie: im dalej kultura weszła na pewną drogę rozwoju, tym bardziej zdecydowanie nią podąża. Jako że obrany kierunek rozwoju danej kultury jest wyznaczony przez przypadek, ewolucja różnych kultur jest dywergentna. Nauki humanistyczne, badając kulturę, jednocześnie ją tworzą. Dla nauk przyrodniczych obiekt badań istnieje niezależnie od nich. Kultura i nauki humanistyczne same tworzą obiekt swoich badań. Punktem startu dla nich jest biologiczna konstytucja człowieka, ale właśnie nie ona, a to, co zostanie do niej dobudowane, stanowi ich przedmiot zainteresowań. Poznawanie struktur jest tutaj nieodróżnialne od tworzenia. Tworzenie owo nie napotyka żadnych ograniczeń w tym sensie, iż nie muszą one przystawać do niczego, poza samymi sobą. Panuje tu więc zupełna dowolność. Kultura, poza pewnym niezbędnym minimum, nie ma ze światem obiektywnym punktów styczności.

Dwie niezależnie (np. w różnych kulturach lub na innych planetach) rozwijające się fizyki mogłyby mieć różne punkty startu (chodzi tu o start z obrębu kultury) i posługiwać się innymi pojęciami. Ich struktury musiałyby jednak, lepiej lub gorzej, przystawać do struktury świata obiektywnego. A ponieważ świat ten, jakkolwiek by go nie rozumieć, należy uważać za jednoznaczny, musiałyby one przystawać także do siebie na zasadzie przechodniości: jeżeli A przystaje do C i B przystaje do C, to A przystaje do B. Przystawanie struktur nauki do struktur świata wzrasta wraz ze stopniem jej rozwoju. Dwie powstałe niezależnie fizyki będą zatem także tym bardziej do siebie podobne, im wyżej są one rozwinięte.

Na pytanie więc, czy możliwe są dwie odmienne fizyki i leżące u ich podstaw matematyki można odpowiedzieć: i tak, i nie. Tak, bo mogą one startować z odmiennych pojęć zaczerpniętych z języka potocznego, używać wyjściowo odmiennych założeń i zostać (w pewnym stopniu) odmienne pokierowane przez procesy stochastyczne. Nie, bo zbudowane w ich obrębie struktury muszą przystawać do struktury świata obiektywnego, a więc także do siebie. Chroni to nauki przyrodnicze przed dowolnością.

Znamienną cechą ewolucji sieci pojęciowej kultury jest wyraźna tendencja do absolutyzacji nazw języka i kryjących się pod nimi znaczeń (pojęć) oraz do przypisywania ich desygnatom realnego istnienia. Świat, z natury ciągły, widzimy przez pryzmat języka w sposób poszatowany, dyskretny. Nazwy języka wyznaczają w obrębie rzeczywistości arbitralne kategorie, "naturalnie" tam nieobecne. Prowadzi to nieuchronnie do powstawania hipostaz i przypisywania światu własności, będących tylko i wyłącznie cechami języka. Podział całości odbieranych przez nasze zmysły fenomenów (a już te zmysły dokonują wstępnej kategoryzacji) na rozmaite szufladki znakomicie ułatwia operowanie dostępną nam informacją, a zatem funkcjonowanie i rozwój sieci pojęciowej. Zarazem prowadzi on jednak do wypaczenia naszego obrazu świata.

Autonomizacja i urealnienie słów języka doskonale widać w magii, religii i filozofii. Magia nie tylko przypisuje związkowi nazw z ich desygnatami jakąś pierwotną konieczność, całkowicie ignorując



jego akcydentalny charakter, ale wręcz daje słowom moc sprawczą<sup>74</sup>. Tajemny i konieczny charakter nazw manifestuje się także w religii, na przykład u świadków Jehowy, szczącących się znajomością prawdziwego imienia Boga. Wreszcie, w filozofii nastąpiła absolutyzacja takich nazw (i pojęć), jak duch, materia, monady itp. Świat jednak nie jest skwantowany jak język, lecz ciągły, jak sieć pojęciowa. Zatem rozpoznanie hipostazotwórczej roli naszego języka ma podstawowe znaczenie dla epistemologii.

Tutaj także wielką rolę odgrywa nauka. Fizyka rozłożyła pojęcie materii na równania pola, funkcje prawdopodobieństwa i inne pojęcia będące w tym samym stopniu tworamii naszego umysłu, co obiektami rzeczywistymi, tak że właściwie po materii została tylko pusta nazwa. Proces rozkładu pojęcia świadomości (ducha) na pojęcia pierwsze dokonany przez neurofizjologię, chociaż nie poszedł aż tak daleko, jest także znamieny. To samo dotyczy wielu innych pojęć i problemów, z którymi filozofia borykała się przez wieki, a które nauka uznała za puste lub pozorne. Nauka, poprzez ucieczkę od umowności kultury, umożliwia nam zatem odmitologizowanie wielu aspektów naszej kultury. Jednocześnie sugeruje ona, że to sieć pojęciowa, a nie język, jest bardziej pierwotnym i bardziej adekwatnym narzędziem poznania świata. Język jest taką "nasadką" na sieci pojęciowej, która pozwala na znacznie łatwiejsze, ale też bardzo dalekie od doskonałości, poznawanie i operowanie różnymi jego "elementami" czy "aspektami".

Niedokładne "przystawanie" języka do struktur świata widać chociażby w wielości języków etnicznych, odzwierciedlających tenże świat w bardzo rozmaity sposób. Przyzwyczajeni do kręgu języków europejskich, często ignorujemy ogromną różnorodność struktur języka. Są one na tyle różne, iż można zaryzykować twierdzenie, że w niektórych z nich (a więc także w umysłach mówiących nimi ludzi!) nauka w znanej nam formie w ogóle nie mogłaby powstać, lub miałyby charakter szczątkowy, bardzo słabo przystając do struktur świata. To, że nauka zachodnia powstała w kręgu kultury śródziemnomorskiej jest zapewne pochodną wielu czynników, takich jak język i religia<sup>75</sup>, a także w pewnej mierze kwestią przypadku. Zachodzi jednak pytanie, czy taki, a nie inny język nie uprawdopodobnił powstania tego typu religii i nie pomógł przypadkowi. Jakkolwiek by nie było, nie należy zapominać, że język nie jest tworem autonomicznym, lecz stanowi fragment sieci pojęciowej, jednocześnie odzwierciedlając całość kultury. Tak więc w ostatniej instancji, obecna struktura języka, nauki i kultury jest skutkiem składającej się z ciągu przypadków i ograniczeń ewolucji sieci pojęciowej.

Jak wspominałem, sieć pojęciowa danego osobnika stanowi pochodną wielu czynników. Na jej kształt wpływają: wrodzone predyspozycje neurofizjologiczne, doświadczenie życiowe oraz przypadek. Dwa ostatnie elementy nie mogą być dziedziczone genetycznie. Dziedziczenie pierwszego z nich jest także wątpliwe - jest on pochodną tak wielkiej ilości genów, których

<sup>74</sup> Nie chodzi tu tylko o performatywy Austina, funkcjonujące jedynie w umownych ramach kulturowych, ale przede wszystkim o władzę słów nad zjawiskami fizycznymi, jak np. sprowadzenie pioruna lub zarazy na bydło.

<sup>75</sup> Według Maxa Webera szczególnie predestynowana do stworzenia cywilizacji naukowo - technicznej była religia protestancka, zwłaszcza w swojej odmianie anglikańskiej.

współdziałanie daje tak nieprzewidywalne rezultaty, że, *de facto*, trudno jest mówić o jakoś zdeterminowanym dziedziczeniu psychiki, lub chociażby takich jej elementów, jak inteligencja, temperament, zdolności itp. Zatem, elementy swojej świadomości, a więc swojej sieci pojęciowej, można przekazać (czy rozpowszechnić) drogą genetyczną tylko w znikomym stopniu. Organizm czysto biologiczny jest "zainteresowany" wyłącznie ekspansją swoich genów. Człowiek wstąpił jednak ponad poziom biologiczny, na poziom psychiczny i "psychospołeczny" (z tego też powodu możemy mówić o "nędzy socjobiologii" w analogii do "nędzy historycyzmu" Poppera). *Homo sapiens* realizuje więc nie tylko "cele" czysto biologiczne, lecz przede wszystkim cele psychiczne i kulturowe, nawet jeżeli stoją one w sprzeczności z tymi pierwszymi. Jednym z takich celów kulturowych jest, w analogii do przekazania swoich genów, "przekazanie", "rozprzestrzenienie" własnej sieci pojęciowej, psychiki. Dlatego wielu ludzi, zrezygnowawszy z posiadania potomstwa, poświęca się nauce, sztuce oraz innym rodzajom aktywności społecznej. Dziedziny te, poprzez szeroki oddźwięk w społeczeństwie, stanowią znacznie efektywniejszą drogę "ekspansji" w obrębie kultury czyjejś inteligencji, osobowości, słowem - sieci pojęciowej, niż przekazanie jej elementów drogą genetyczną. Ponieważ identyczność człowieka polega przede wszystkim na identyczności jego psychiki, może on więcej "zostawić po sobie" w postaci swojego dorobku naukowego lub artystycznego, niż w postaci swoich genów. Nie znaczy to, iż sprowadzam wszelką motywację intelektualną i artystyczną do chęci przedłużenia własnej osobowości, a tylko, iż taki mechanizm jest w stanie przełamać motywację biologiczną - rozprzestrzenianie własnych genów. Jest to ten aspekt człowieczeństwa, którego wiele ujęć, na przykład socjobiologiczne, nie przyjęło do wiadomości - człowiek wyszedł w swoim rozwoju ponad poziom czysto biologiczny, podlegający bezwzględnie prawom doboru naturalnego i wspiął się na poziom socjopsychiczny (który nazwałem tak w opozycji do socjobiologicznego), rządzący się swoimi własnymi prawami. Świadczy o tym chociażby powstanie etyki, której się na gruncie socjobiologicznym wytłumaczyć nie da (przynajmniej nie w całości). Nawet tak zwany altruizm odwzajemniony, często stosowany w modelach genetyki populacyjnej i nie będący w ogóle altruizmem, zakłada istnienie pewnego minimum psychiki, umożliwiające rozpoznanie poszczególnych osobników w stadzie. Poziom socjopsychiczny stworzył swoje własne cele i wartości niezależne, a często sprzeczne z "celami" ewolucji biologicznej. Wraz z pojawieniem się społeczeństw rozpoczął się odmienny rodzaj ewolucji, nie mający nic wspólnego (poza oczywistymi powiązaniem biologicznymi) z ewolucją naturalną - ewolucja kulturowa. Dlatego wszelkiego rodzaju argumenty, iż człowiek powinien żyć w zgodzie z naturą, ponieważ się z niej wywodzi, są chybione, jako że właśnie kultura, a nie natura stanowi o człowieczeństwie. To w naturze leży skłonność do rywalizacji i wypierania konkurencji, podczas gdy kultura wnosi ideę tolerancji i wartości etyczne. Ludzie powinni, oczywiście, chronić naturę oraz niedaleko od niej odeszłe kultury "pierwotne", nie dlatego jednak, że chcieliby do niej powrócić, ale dlatego, iż nasza kultura jest już (mam nadzieję) na tyle rozwinięta, aby dostrzec potrzebę zachowania czegoś odmiennego, często niezrozumiałego, aby szukać w nim źródeł piękna, fascynacji intelektualnej, pomnażania swego bogactwa duchowego i nowych dróg rozwoju.

### 3.7. SIEĆ POJĘCIOWA A FILOZOFIA

Jak wspomniałem we wstępie do tej części książki, poświęconej sieci pojęciowej, nie chodziło mi w niej li tylko o popularyzację wybranych osiągnięć współczesnej nauki, ale przede wszystkim o rozpatrzenie konotacji filozoficznych tych osiągnięć, czyli tego, jakie wnioski filozoficzne można na ich podstawie wyciągnąć. Od filozofii nie ma bowiem ucieczki. Czy się to komuś podoba, czy nie, zawsze będzie ona leżała pomiędzy wiedzą w miarę "pewną", a nicością, będzie stanowiła pewien bufor pomiędzy dobrze wyodrębnionymi obszarami sieci pojęciowej a pustką semantyczną. Filozofia stawia pytania, na które nie są w stanie do końca odpowiedzieć nauka, religia czy mistyka, po prostu dlatego, że pytania te leżą poza zasięgiem ich zainteresowań oraz używanych przez nie "metodologii". Są to, pod wieloma względami, pytania najważniejsze, o naturę tego wszystkiego co istnieje oraz o status naszej wiedzy o tej naturze. Dlatego też filozofii nie da się z umysłu człowieka, jako istoty ciekawej świata, wykorzenić - byłoby to po prostu nieludzkie.

Sympatyzuję ze słynnym stwierdzeniem Wittgensteina, że cokolwiek da się powiedzieć, da się jasno powiedzieć, o czym zaś nie da się mówić, o tym trzeba milczeć. Niestety, odnosi się ono (w sensie negatywnym) do dużej części całego wielowiekowego dorobku myśli filozoficznej. Filozofia z pewnością nie spełniła pokładanych w niej nadziei. Jednakże postulat pełnego odwrócenia się od filozofii na drodze do zaspokojenia naszej chęci zrozumienia świata przypomina propozycję szukania zguby pod latarnią, z powodu lepszego oświetlenia. Oświetlenie takie, odpowiadające metodologii nauk przyrodniczych, pozwoliło na najbardziej spektakularne sukcesy w zdobywaniu wiedzy o świecie, jakie kiedykolwiek stały się udziałem ludzkości. Co z tego jednak, kiedy już wiemy, że to, czego zawsze szukaliśmy w filozofii, nie leży pod latarnią? Czy nie lepiej zatem błąkać się po omacku, z bardzo nikłą nadzieją natrafienia choćby na ślad zrozumienia, niż napawać się blaskiem lampy, z całkowitą pewnością, że się niczego nie znajdzie? Takie szukanie po omacku większość naukowców uważa jednak (nie bez słuszności) za stratę czasu, bo jeśli kiedyś nawet uda się nam coś odnaleźć, to w ciemności nigdy nie będziemy mogli być pewni, czy jest to to, o co nam chodzi, czy po prostu ułuda naszego umysłu.

Czy nie istnieje jednak inna alternatywa?. A może, wciąż rozszerzając krąg światła za pomocą nowych metod i odkryć naukowych, potrafimy w końcu choć trochę wydobyć z cienia przynajmniej niektóre odległe przedmioty, dotąd pograżone w całkowitym mroku? A może, oślepieni blaskiem latarni, nie zauważamy, że to już się stało?

Przedstawiciele nauk przyrodniczych mają z reguły przeważającą część filozofii, a już w szczególności jej tak abstrakcyjne dziedziny, jak ontologia i epistemologia, w niskim poważaniu. Dla większości moich przyjaciół i znajomych kontakt z filozofią skończył się w momencie zdania odpowiedniego egzaminu na studiach. W tej chwili zbyt bardzo absorbują ich swoje własne dziedziny, aby mieć czas na cokolwiek poza nimi. Ci nieliczni, którzy starają się mieć szersze spojrzenie, stronią od filozofii jak od ognia, uważając ją za równie bezpłodną, jak magia czy astrologia. Zgadząc się ze

mną w innych dziedzinach, dziwią się moim tak bezpłodnym zainteresowaniom. I co najważniejsze, ogromna ilość przesłanek uprawnia ich do zajęcia tak sceptycznej postawy.

Mimo z górą dwóch tysięcy lat istnienia filozofia zachodnia nie doczekała się rozwiązania żadnego ze swych najbardziej podstawowych problemów, ani też nie dopracowała zadawalających kryteriów oceny czy selekcji poszczególnych koncepcji filozoficznych. Główne jej osiągnięcia to ukazanie własnych ograniczeń oraz pozorności formułowanych przez nią pytań i problemów. Filozofii brak metodologii, jaką dysponują nauki ścisłe/przyrodnicze, a stosowane przez nią pojęcia są tak rozmyte i niedookreślone, że nie można do nich zastosować logiki w sposób sensowny<sup>76</sup>. Z drugiej strony, ogromna ilość faktów zgromadzonych przez naukę, mogących mieć dla filozofii fenomenalne wprost znaczenie, leży intelektualnym odłogiem, co jest wynikiem nieznamości przez "zawodowych" filozofów, nie będących przecież specjalistami w poszczególnych dziedzinach nauk przyrodniczych, nie tylko samych faktów, ale także ich znaczenia i powiązań z innymi faktami. Skandalizując nieco, chciałoby się by więc zapytać, czy nie lepiej odebrać filozofię filozofom i przekazać ją przedstawicielom nauk przyrodniczych?

Oczywiście każdy człowiek (w tym także przyrodnik) podejmując problemy filozoficzne staje się automatycznie filozofem. Dlatego też sformułowane powyżej pytanie jest częściowo retoryczne. Ale tylko częściowo. Chodzi bowiem o rodzaj uprawianej filozofii i sposób jej uprawiania. Można kontynuować wieloletnią tradycję filozofii traktowanej jako królowa nauk, której przedstawiciele pozostają w stałym kontakcie z Absolutem i wobec tego są w posiadaniu Prawd niezależnych od naszej wiedzy w innych dziedzinach. Podejście takie wydaje się jednak jałowe i grozi w najlepszym razie zajęciem się nie samą filozofią, lecz jej historią lub przyczynkarstwem do już istniejących koncepcji, w najgorszym zaś - autystycznym oderwaniem od rzeczywistości w imię niczym nie skrzepowanych wizji, których jedyną weryfikacją byłoby dogłębne przekonanie twórców o ich słuszności (nie mówiąc już o całkiem praktycznym zagrożeniu, a mianowicie doprowadzaniu do wściekłości lub czarnej rozpaczki tych ludzi pragnących oprzeć swą wiedzę na jakiejś w miarę wiarygodnej metodologii, którzy, w innych warunkach, być może chcieliby mieć z filozofią coś wspólnego). O wiele skromniejszą alternatywą wydaje się być próba jakiegoś wykorzystania ogromu wiedzy zgromadzonej przez nauki przyrodnicze, w szczególności w dziedzinie fizyki teoretycznej, neurofizjologii, neuropsychologii, teorii ewolucji, genetyki molekularnej, matematyki, cybernetyki, informatyki i teorii informacji. Pozwoliłoby to filozofowi posługiwać się wieloma pojęciami uwzględniając kontekst współczesnej wiedzy o świecie, a nie używać tych pojęć w znaczeniu sprzed dwustu lat.

Takimi pojęciami, których znaczenie ogromnie się zmieniło w wyniku rozwoju nauki są duch (świadomość) i materia. Na pojęciach tych bazowały (i bazują) dwa największe, przeciwstawne sobie systemy w historii filozofii: idealizm i materializm. Pierwszy z nich zakłada, że świat materialny jest wtórny w stosunku do świadomości, lub nawet, że jest po prostu jej wytworem. Drugi, odwrotnie, mówi o pierwotności materii przyjmując, że świadomość jest pochodną procesów biochemicznych i

---

<sup>76</sup>Wszystkie te zagadnienia omawiam szerzej w książce "Absolut - odniesienie urojone".

fizjologicznych zachodzących w ludzkim mózgu. Przeciwnostawność tych systemów opierała się na przeciwnostawności pojęć: materia - świadomość. Jednakże rozwój fizyki teoretycznej i neurofizjologii spowodował, że pojęcia te ogromnie zmieniły swe znaczenie, więcej, że zostały one "oddefiniowane", rozłożone na inne pojęcia, a więc właściwie pozbawione znaczenia.

W rozumieniu potocznym (które stanowi punkt wyjścia dla filozofii) materia jest to coś namacalnego, posiadającego położenie w przestrzeni, ciężar, konsystencję, barwę, rozciągłość, coś, co można w rozmaity sposób przekształcić, ale nie zniszczyć. Wszystkie te atrybuty materii znikają w fizyce teoretycznej. Istota tak dobrze nam znanego i jasnego pojęcia staje się tu bardzo zagadkowa i egzotyczna. Materia może zniknąć, przekształcając się w energię, zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina  $E = mc^2$ . W mechanice kwantowej położenie przestrzenne cząstki elementarnej, na przykład elektronu, można określić tylko w przybliżeniu, zgodnie z zasadą nieoznaczoności Heisenberga. Podobnie, nie ma sensu mówić o kolorze atomu lub elektronu w momencie, kiedy nie emitują one "nośnika koloru" - fali elektromagnetycznej (tzw. "kolory" kwarków - cząstek, z których składają się protony i neutrony, są tylko żartobliwą nazwą pewnej ich cechy, nie mającej z barwą nic wspólnego; to samo dotyczy "zapachów" kwarków). Cząstki materii zachowują się niekiedy nie jak cząstki, lecz jak fale. Elektron w atomie nie znajduje się (przed aktem rejestracji go przez odpowiedni detektor) w żadnym konkretnym miejscu, lecz jest jakby "rozmyty". Rozkład przestrzenny tego rozmycia, odpowiadający prawdopodobieństwu znalezienia w danym punkcie przestrzeni, to tak zwany orbital. Nie jesteśmy jednak w stanie jednoznacznie zdecydować, czy ów orbital jest tworem materialnym, czy też konstrukcją naszego umysłu, nie potrafimy zatem przeprowadzić ostrej granicy pomiędzy rzeczywistością i treścią ludzkiej świadomości! Według ogólnej teorii względności materia nie tylko jest tworzywem wypełniającym płaską przestrzeń, ale także tę przestrzeń kształtuje, powodując jej zakrzywienie proporcjonalne do masy. Jeżeli całkowita energia Wszechświata jest zerowa, to, w pewnym sensie, przestrzeń można traktować jako "ujemną" materię! Nie jesteśmy już w stanie rozpoznać w tej plątaninie absurdów i dziwności naszej swojskiej materii, o której wyrobiliśmy sobie zdanie na podstawie trzymania w ręku kamienia i o której mówiły dwa tysiąclecia filozofii. Tak zdawałoby się jasne i oczywiste pojęcie przepłynęło nam, kiedy przyjrzelśmy mu się bliżej, pomiędzy palcami, pozostawiając po sobie pustą nazwę.

Podobnie rzeczy się mają w przypadku pojęcia świadomości, chociaż tutaj proces jego rozkładu na pojęcia prostsze (?) nie zaszedł tak daleko, jak w przypadku materii. Wiemy już jednak z neurofizjologii, że podłożem naszej psychiki są procesy (np. polaryzacja i depolaryzacja błony komórkowej wypustek komórek nerwowych: dendrytów i aksonów) zachodzące w sieci komórek nerwowych w naszym mózgu. Świadomość w istotny sposób zależy od swego podłoża materialnego. Poważne uszkodzenie mózgu może spowodować całkowitą zmianę osobowości poszkodowanego, a przecięcie spoidła wielkiego łączącego obie półkule mózgu (operacja kallotomii stosowana kiedyś w leczeniu epilepsji) prowadzi do powstania w jednej głowie dwu, prawie całkowicie izolowanych od siebie świadomości. Neurofizjologia poczyniła także wielkie postępy w zbadaniu mechanizmów percepcji i obróbki bodźców zmysłowych ze środowiska oraz w wyjaśnieniu istoty i sposobu zapisu pamięci. Nie nazbyt wiele zostało już miejsca dla "czystej świadomości", czy też "ducha w swej

immanencji". Jest prawdopodobne, iż w końcu uda się opisać w terminologii biologicznej (i cybernetycznej) samo "jądro" świadomości, czyli poczucie własnego "ja".

Jak widzimy, w neurofizjologii świadomość okazuje się być produktem materii (czyli sieci neuronalnej w mózgu), natomiast w fizyce materia (np. elektrony) coraz bardziej wydaje się być kształtowana przez konstrukcje matematyczne naszego umysłu. Być może więc okaże się, że nie ma sensu wybierać pomiędzy materializmem i idealizmem, skoro nie potrafimy pokazać jakiejś zasadniczej różnicy pomiędzy materią i świadomością, tym bardziej, że pojęcia te coraz bardziej wydają się być pustymi nazwami, którym nic jednoznacznego i absolutnego nie odpowiada. Jeśli tak się stanie, to największy bodajże problem "królowej nauk" zostanie rozwiązany (a właściwie uznany za bezsensowny) nie za sprawą ponad dwutysiącletniej historii "rozwoju" filozofii, lecz dzięki wielkiemu rozkwitowi fizyki i biologii XX i XXI wieku.

Innym przykładem anachronizmu rozważań filozofów, kiedy używają oni pojęć ukształtowanych na gruncie języka potocznego (nie zaś terminów zdefiniowanych przez obecne nauki przyrodnicze) jest, dokonana przez Immanuela Kanta, próba rozstrzygnięcia, czy Wszechświat miał początek, czy też istniał wiecznie. Kant, na podstawie analizy pojęcia czasu w jego obiegowym znaczeniu, doszedł do wniosku, że każda z tych dwóch możliwości jest logicznie wewnętrznie sprzeczna i wobec tego nieprawdą jest ani to, że Wszechświat istniał wiecznie, ani to, że rozpoczął swe istnienie w jakimś momencie przeszłości. Absurdalność tej konkluzji stanowi sztandarowy przykład jałowości stosowania logiki do filozofii, jak i zadufania filozofów w możliwości swojej dyscypliny. Tymczasem okazuje się, iż filozofia wcale nie jest "królową nauk" głoszącą prawdy o rzeczach najważniejszych, podczas gdy reszta nauk zajmuje się problemami przyziemnymi, niegodnymi uwagi królowej; wprost przeciwnie, ta ostatnia musi pokornie czekać na postęp w naukach przyrodniczych, aby zaczerpnąć z nich nowe odkrycia, pojęcia i paradygmaty. Stephan Hawking, jeden z twórców teorii czarnych dziur, pokazał ostatnio, iż być może nie ma sensu mówić o czasie przed początkiem Wszechświata; czas "wyłania się" się w pewnym rejonie czasoprzestrzeni (bliskim tego, co teraz nazywamy Wielkim Wybuchem) z jednego z wymiarów przestrzennych. Tym samym rozważania Kanta okazałyby się po prostu bezsensowne ze względu na jego nieznaną naturę czasu. I, ponownie, to nie filozofia rzuciła nowe światło na ten problem.

Jaskrawym przykładem wyprzedzenia filozofii przez naukę jest teoria względności Einsteina. Teoria ta, która diametralnie zmieniła nasze poglądy na temat czasu, przestrzeni, materii, energii, powstania świata itp. nie tylko, że nie została przez filozofów stworzona, ale była też przez niektórych z nich (np. przez Bergsona) przez długi czas odrzucana, czy to na skutek myślenia zdroworozsądkowego, czy też po prostu niezrozumienia jej formalizmu matematycznego. Całe szczęście świat skutecznie opiera się intuicjom Bergsona, a metodologia nauki dysponuje bardziej obiektywnymi narzędziami badawczymi niż czyjeś prywatne, chociażby najgłębsze, przeświadczenie.

Istnieje pewna istotna różnica pomiędzy nauką i filozofią. O ile rozwój nauk ścisłych jest kumulatywny, to znaczy nowa wiedza nie zastępuje wiedzy już posiadanej, lecz jest do niej dodawana, stanowi jej uzupełnienie i rozwinięcie, to w filozofii, mówiąc w niewielkim uproszczeniu, trzeba ciągle zaczynać od nowa. Jeżeli przyrodnik próbuje wypowiadać się na tematy filozoficzne, to

często zarzuca mu się niekompetencję, bo np. nie orientuje się on w subtelnościach systemu filozoficznego pana X lub też nie zna pięćdziesięciu wyróżnionych rodzajów tautologii. Pytanie tylko, czy taka wiedza jest mu na cokolwiek potrzebna? Albowiem filozofia, tracąc kontakt z rzeczywistością, zaczyna coraz bardziej zajmować się samą sobą, swoimi wytworami i ustanowionymi przez tradycję schematami, otorbia się w autystycznej izolacji od świata. Aby osiągnąć w niej coś nowego, rozsądne wydaje się więc pozbycie się całego tego balastu i zaczęcie od podstaw, od wiedzy, pojęć i paradygmatów oferowanych przez nauki przyrodnicze.

Wielkie możliwości zdają się tu kryć w neurofizjologii. Wszyscy ludzie (w tym także filozofowie) myślą przy pomocy mózgu. Czy jednak twórcy koncepcji myślenia językowego, piewcy uniwersalności logiki lub filozofowie zajmujący się epistemologią zadali sobie trud zbadania, jakie wnioski dotyczące natury ludzkiego myślenia i poznania wypływają z tego, co już wiadomo o funkcjonowaniu sieci komórek nerwowych, mechanizmach tworzenia się pamięci czy też percepcji i obróbki bodźców zmysłowych? Nie, o czym świadczy produkt ich spekulacji. Analizując sposób tworzenia się i naturę znaczeń w mózgu ludzkim można wiele powiedzieć o istocie naszego myślenia i rozumienia świata, o możliwości dotarcia do "prawdy absolutnej", czy o sposobie istnienia bytów ogólnych i abstrakcyjnych. Z pewnym, niezbyt wielkim uproszczeniem można stwierdzić, że całość filozofii da się sprowadzić do neurofizjologii. Z pewnością zaś neurofizjologia ma więcej do powiedzenia w kwestiach czysto filozoficznych dotyczących ludzkiego umysłu, niż oparta na spekulacjach "tradycyjna" filozofia. Zatem, skoro z konieczności badają oni umysł ludzki, to czy filozofowie są kompetentni w filozofii?

Niewątpliwie, naszkicowany powyżej obraz jest nieco uproszczony i jednostronny. Wielu filozofów posiada głębokie wykształcenie w dziedzinie nauk ścisłych (np. matematyki i fizyki; być może nieco gorzej jest z biologią), ale zajmują się oni głównie filozofią przyrody, matematyki lub nauki. Mówiąc o filozofii i o możliwościach jej "zbawienia" przez naukę miałem na myśli przede wszystkim dwie najważniejsze dziedziny: ontologię i epistemologię. Takie gałęzie filozofii, jak filozofia człowieka i kultury, estetyka czy etyka ze swej natury nie podlegają metodologii nauk ścisłych, ale też nigdy nie będą one mogły liczyć na "zbawienie". Ich grzechem, tak jak i całej reszty filozofii, jest dowolność spekulacji, brak weryfikowalności twierdzeń, tworzenie pojęć pustych (hipostaz), co generalnie sprowadza się po prostu do braku jakiegokolwiek wiarygodnej metodologii. W fizyce nikogo nie interesują prywatne uprzedzenia czy światopogląd danego naukowca; ważne jest, czy przeprowadzone przez niego doświadczenia są powtarzalne, a stworzone teorie poprawnie przewidują wyniki eksperymentów. Filozof zaś nic nie jest w stanie powiedzieć ponad to, co mu w duszy gra. Twórcy teorii Stanu Stacjonarnego (Hoyle, Bondi, Gold), którym koncepcja Wielkiego Wybuchu nie odpowiadała ze względów światopoglądowych, zapewne do dzisiaj stałoby twardo na swoim stanowisku, gdyby nie to, że ich teoria dawała przewidywania sprzeczne z poczynionymi później obserwacjami astronomicznymi. Einstein, skądinąd prawdopodobnie największy geniusz w historii nauki, wierzył iż Wszechświat jest niezmienny w czasie i dlatego wprowadził do równań ogólnej teorii względności tzw. stałą kosmologiczną, która "ratowała" Kosmos przed rozszerzaniem się lub zapadaniem. Dopiero po odkryciu przez Hubble'a ucieczki galaktyk, implikującej rozszerzanie

się Wszechświata, Einstein usunął stałą kosmologiczną jako niepotrzebną. Podobnie, nie miał on (na dzień dzisiejszy) racji negując (także z powodu swoich zapatrywań filozoficznych) indeterminizm mechaniki kwantowej, gdyż obecnie jest on powszechnie akceptowany. Przykłady te pokazują, iż nawet największy geniusz może mylić się i błędzić, jeśli opiera się tylko na własnym przeświadczeniu oraz intuicji i nie konfrontuje na bieżąco swoich poglądów ze światem obiektywnym. Nie przeszkadza to jednak filozofom, którzy, jak Hegel lub Theilard de Chardin, tworzą systemy swym rozmachem przewyższające największe teorie fizyczne, ale których treścią jest otchłań dowolności.

Na pytanie zatem, czy filozofia może być zbawiona, odpowiedź, przynajmniej częściowo, brzmi: tak. Musi jednak wyrzec się ona grzechu pychy i ignorancji, zrezygnować z wizjonerskich prób narzucenia światu tego, jaki on być powinien, a zamiast tego spróbować dociec, jaki ten świat jest, albo przynajmniej, co da się o nim w sposób w miarę pewny powiedzieć. W tym celu musi się ona oprzeć na jedynej dziedzinie działalności ludzkiej, posiadającej niezbędną metodologię do w miarę obiektywnego opisu świata, a mianowicie na naukach przyrodniczych. Inaczej, filozofia może się narazić na jałowość lub, co gorsze, śmieszność.

Chciałbym, aby niniejsza książka stała się choćby przyczynkiem do tak pojętego stylu filozofowania, do rzucenia mostu pomiędzy naukami przyrodniczymi a tą częścią filozofii, dla której główną motywacją jest uczciwość poznawcza, nie zaś komfortowanie psychiczne. Chciałbym więc traktować filozofię jako drogę do zaspokojenia normalnej ludzkiej ciekawości, nie zaś jako metodę psychoterapeutyczną mającą nas uwolnić od (niemniej ludzkiego) strachu przed bezsenssem otaczającego Kosmosu. Zdaję sobie przy tym sprawę z niebezpieczeństwa zagrażającego takiemu przedsięwzięciu. Chcąc uczeplić się obu brzegów, lecz przeceniwszy swoje siły lub też nie doceniwszy odległości pomiędzy brzegami, łatwo można znaleźć się na głębokiej wodzie. Trudno wtedy liczyć, iż z któregośkolwiek brzegu ktoś wyciągnie pomocną dłoń. Naukowcy mogą odwrócić się od jałowych, ich zdaniem, spekulacji, filozofowie zaś - poczuć zde gustowani obecnością barbarzyńcy w świątyni. Książkę tę napisałem z nadzieją, że tak się jednak nie stanie.

\* \* \*

Myszę, że już najwyższa pora porzucić ten przydługi wstęp i stwierdzić wreszcie *explicite*, jakie inklinacje filozoficzne niniejszej książki, a w szczególności jej ostatniej części, poświęconej sieci pojęciowej, uważam za tak istotne, że to one właśnie stanowiły główny bodziec do jej napisania. Nie twierdzę przy tym, że na powyższych stronach stroniłem usilnie od jakichkolwiek rozważań filozoficznych, aby teraz dopiero, na samym końcu, ujawnić nagle swoje ukryte intencje. Wprost przeciwnie - wszystko, co chcę powiedzieć, pojawiło się już mniej lub bardziej bezpośrednio na kartach tej książki (sporo kwestii omówiłem znacznie obszerniej w książce "Absolut - odniesienie urojone"). Teraz jednak zamierzam uporządkować i podsumować rozmaite filozoficzne aspekty, tak aby przyświecający mi cel stał się możliwie jasny i zrozumiały.

W tym, najmniej chyba odpowiednim miejscu, pozwolę sobie na jeszcze jedną dygresję. Posłużę się w niej przedawnioną już nieco, jak wspomniałem powyżej, opozycją ducha i materii.



Ogromny rozwój fizyki XX wieku powiedział ludzkości więcej o tym, co intuicyjnie rozumiemy przez materię, niż cała wcześniejsza historia rozwoju naszego gatunku. Podałem na poparcie tej tezy kilka przykładów, a można by ich przytoczyć jeszcze znacznie więcej. Wszystkie one obrazują głęboką przemianę, jaka dokonała się w pojęciu materii, ale także pojęciach pokrewnych: przestrzeni, czasu, przyczynowości, początku i natury Wszechświata, słowem - w naszym pojmowaniu szeroko rozumianej rzeczywistości fizycznej. Myślę, że rzecz jest warta osobnej książki, której, ze względu na brak wystarczającej wiedzy, nie potrafiłbym napisać. Pewne zagadnienia próbowałem zasygnalizować w pierwszej części, poświęconej ewolucji fizycznej. Co to ma jednak wspólnego z niniejszą książką?

Otóż, mówiąc w ogromnym skrócie, w tej pracy starałem się (wrywkowo) pokazać, co może powiedzieć współczesna nauka, a w szczególności teoria ewolucji i neurofizjologia, w kwestii świadomości, oraz w kwestiach pokrewnych - poznania i sensu (fizycznego, biologicznego, psychicznego i kulturowego). Jestem bowiem przekonany, że wnioski płynące z tego, co już wiemy o funkcjonowaniu naszej sieci nerwowej, jej ewolucji filogenetycznej i ontogenetycznej (wszystko to zawdzięczamy wielkiemu rozkwitowi biologii współczesnej) są dla zrozumienia natury naszej świadomości równie daleko idące, jak rewolucja w fizyce - dla naszego pojmowania materii. Być może wiedza o istocie świadomości jest nawet istotniejsza - tylko przez pryzmat tej ostatniej możemy "dotrzeć" do tego, co zazwyczaj nazywamy materią. Znajomość historii rozwoju, w procesie ewolucji biologicznej, mechanizmów percepcji, integracji i asocjacji bodźców ze środowiska ma zasadnicze znaczenie dla możliwości poznawczych człowieka, determinuje stopień uprawomocnienia i status tego poznania.

Dodatkowo, chciałbym też coś powiedzieć o sensach psychicznych poprzez odniesienie ich do sensów fizycznych i biologicznych. Sposób "wyłaniania się" kolejnych warstw rzeczywistości z warstw niższych, a mianowicie warstwy fizycznej z nicości, warstwy biologicznej z warstwy fizycznej oraz warstwy psychiczno-kulturowej z warstwy biologicznej, wyznaczający niejako "naturę" tych warstw, jest w stanie powiedzieć wiele o istocie znaczeń (celów, sensów), charakterystycznych dla poszczególnych warstw i stanowiących o fundamentalnych różnicach pomiędzy nimi. Trudno przecenić rolę tego rodzaju wiedzy w tworzeniu obrazu rzeczywistości, w której żyjemy.

\* \* \*

Fakt konotacyjnego znaczenia sieci pojęciowej ma fenomenalne znaczenie dla zrozumienia istoty ludzkiej świadomości oraz stopnia uprawomocnienia naszego poznania, statusu utworzonego z jego udziałem obrazu świata. Jak pamiętamy, konotacyjny charakter sieci pojęciowej nieuchronnie wynika ze struktury jej fizycznego "nośnika" - sieci neuronalnej. Ponieważ jednak nasz umysł ma "bezpośredni dostęp" tylko do sieci pojęciowej, możemy o tym na chwilę zapomnieć. Pozwoli nam to, bez zbędnych "zanieczyszczeń", zobaczyć jak wygląda świat z perspektywy sieci pojęciowej.

W istocie, jedynym, co mamy naprawdę dane, to zespoły pojęć. O świecie zewnętrznym możemy wnioskować jedynie w oparciu o obraz rzeczywistości ukształtowany w obrębie zbudowanej z nich sieci. To samo stwierdzenie dotyczy naszego oglądu świadomości, matematyki, logiki, języka, teorii naukowych, całego obszaru sensów kulturowych i w ogóle wszystkiego, co da się w jakikolwiek sposób "osiągnąć" lub pomyśleć. Zdać sobie należy sprawę, że pomimo ogromnej różnorodności całej dostępnej nam, jak najszerzej pojętej rzeczywistości, na poziomie sieci pojęciowej stanowi ona tylko zespół jednakich kategorialnie pojęć.

W konotacyjnej sieci pojęciowej wszystkie sensy i znaczenia istnieją tylko i wyłącznie w odniesieniu do innych sensów i znaczeń. Status naszych sądów zawsze może być tylko relatywny, zależny od kontekstu "otaczających" je sensów. Pojęcia nie desygnują bowiem bezpośrednio żadnych "obiektów" spoza sieci pojęciowej - znaczenie pojęć realizuje się tylko wobec innych pojęć. Najpierwszym wnioskiem dla filozofii wyciągniętym z przytoczonej tu koncepcji jest niemożność głoszenia prawd w jakikolwiek sposób absolutnych, ważnych bez względu na odniesienie, sensów istniejących poza obszarem sieci pojęciowej. Oznacza to jednak w zasadzie samobójstwo (tradycyjnie pojmowanej) filozofii.

Cała bowiem (niemal) historia filozofii polegała mniej więcej na tym, aby jakiemuś pojęciu (czy to była materia, duch, monady, cztery żywioły, wola, czy też logika) nadać sens absolutny i w ten sposób stworzyć opokę aksjologiczną dla opisu świata. Wszystkie systemy ontologiczne dążyły do wyodrębnienia z sieci pojęciowej jakiegoś jej fragmentu (pojęcia), awansowaniu go do rangi Absolutu i uczynieniu pierwotnym w stosunku do całej reszty fenomenów. Zawsze jednak, badając system filozoficzny oparty na wstępnej absolutyzacji jakiegoś pojęcia, w procesie analizy dochodzi się w końcu do tego pojęcia, i wtedy nie tylko atrybuty jego absolutyzmu, ale i ono samo rozplywa się w pustce znaczeniowej, pozostawiając po sobie jedynie pustą nazwę. Przykładem może być dyskutowany przeze mnie powyżej semantyczny rozbiór pojęć "ducha" i "materia" na czynniki pierwsze, jaki już dokonał się w obrębie nauk przyrodniczych.

Wiara w prawdy absolutne jest więc piękną utopią ufundowaną przez nasz umysł. Chcąc konsekwentnie mówić "prawdę i tylko prawdę", należy milczeć. To nas jednak w sposób oczywisty nie zadowala. Chcemy móc coś o świecie powiedzieć, nawet jeżeli będzie to musiało być w jakimś stopniu nieuprawnione, nieabsolutne i wewnętrznie sprzeczne. Nie ma w tym nic złego, o ile będziemy pamiętać o ograniczonym tylko i względnym statusie poznawczym, przysługującym naszym twierdzeniom. Za plus koncepcji sieci pojęciowej poczytuję fakt, że w jej obrębie taki stan rzeczy da się łatwo rozpoznać.

Potrzeba wiedzy absolutnej jest oczywiście jak najbardziej zrozumiała ze względów psychologicznych. Poszukiwanie niewzruszonej opoki prawd uniwersalnych zawsze towarzyszyło ludzkiemu poznaniu. Niestety, poznanie owo prowadziło do stopniowego odbierania ludzkości Absolutów. Historia nauk ścisłych/przyrodniczych i związanej z nimi filozofii to ciąg stopniowej

deabsolutyzacji wszystkiego. Nauka nowoczesna od swego zarania stawiała każdego intelektualistę przed koniecznością wyboru pomiędzy uczciwością poznawczą a światopoglądem komfortującym psychicznie. Od końca średniowiecza nigdy później wspomniane opcje światopoglądowe nie dały się ze sobą pogodzić.

Średniowieczny obraz Wszechświata bardzo był dla człowieka sprzyjający. Położona centralnie Ziemia, którą obiegało Słońce, dające światło i ciepło, Księżyc rozświetlający ciemności nocy i sfera gwiazd stałych, wskazujących drogę wędrowcom. Za nią zaś niebiosa, siedziba Najwyższego, którego baczna uwaga skierowana była na leżącą w środku Ziemię i jej mieszkańców. Mały, przytulny Kosmos, stworzony dla potrzeb Człowieka i sprzyjający mu pod każdym względem. Centralne położenie naszej planety utożsamiane było z centralnością znaczenia człowieka we Wszechświecie.

Rewolucja kopernikańska wstrząsnęła tym kryształowym obrazem. Wizja, uważana w średniowieczu za jedyną i absolutną, uległa zburzeniu. Po raz pierwszy Człowiek został zmuszony do przesunięcia ciężaru ważności poza siebie, do rezygnacji z jakiegoś Absolutu. Następnym po Koperniku był Kepler, który na podstawie danych obserwacyjnych zdecydował się zastąpić kołowe orbity planetarne eliptycznymi, chociaż koło już od starożytności uchodziło za figurę doskonałą.

Kolejne odkrycia diametralnie zmieniły średniowieczny obraz świata. Przyjrzyjmy się dzisiejszemu wizerunkowi naszego Universum. Miliardy lat świetlnych przeraźliwej pustki, z rzadką wypełnioną gwiazdami i planetami, nic nie znaczącymi, nikomu nie służącymi. I człowiek, istota powstała przez ślepy traf w loterii ewolucyjnej, mieszkająca na małej planecie krążącej wokół jednej z miliardów gwiazd. Nawet malownicze biblijne finis mundi zostało zastąpione kolapsem grawitacyjnym, termiczną śmiercią Wszechświata lub przemianą Słońca w czerwonego olbrzyma i wypaleniem Ziemi do nagiej skały. Tak zatem nauka zastąpiła jedyny możliwy, doskonały Wszechświat będący na usługach Człowieka, Wszechświatem dowolnym i przypadkowym, wypełnionym eonami świetlnymi bezsensownej pustki.

Nie tylko Kosmosowi nauka odebrała znamię Absolutu. Fizyka poddała w wątpliwość autonomię semantyczną wielu pojęć wziętych z języka potocznego, tak zdawałoby się oczywistych i "namacalnych". Newton podważył absolutność przestrzeni, Einstein - czasu. Zatem nawet najbardziej podstawowe elementy świata, w którym żyjemy, nie stanowią już dość solidnej ostoji dla intelektu, już nawet one nie są pewne, niepodważalne. Wzięło się to stąd, że, jak powiem za chwilę, jedynym probierzem ich "absolutności" okazuje się być sposób integracji bodźców zmysłowych przez nasz mózg. To samo dotyczy zresztą innych "absolutnych" kategorii i dlatego nauce stosunkowo łatwo przyszło podważyć ich "niepodważalność".

Idźmy dalej. Mechanika kwantowa zanegowała obiegowe pojęcie przyczynowości. Także materia uległa w fizyce desemantyzacji. Nie da się obecnie ustalić granicy pomiędzy tym, co jest "realnym" elementem świata, a tym, co stanowi już tylko model matematyczny, "twór" naszego

umysłu. Zanegowana więc została nawet absolutna granica pomiędzy pojęciem, a jego desygnatem. Trudno czuć się intelektualnie "bezpiecznie" w świecie pozbawionym jakiegokolwiek absolutnego oparcia, gdzie nic nie jest pewne, a wszystko względne.

Postępujący proces deabsolutyzacji nie ominął także Człowieka. Zamiast istoty uczynionej na obraz i podobieństwo Stwórcy, mamy teraz gatunek biologiczny, którego małpa jest najbliższym żyjącym krewnym. Także świadomość nie ostała się niszczycielskiej (dla Absolutu) sile nauki. Stwierdzenie drastycznych zmian w psychice po uszkodzeniu mózgu, wielkie postępy w badaniach neurofizjologicznych mechanizmów percepcji bodźców zewnętrznych i molekularnych podstaw pamięci bardzo niewiele pozostawiły miejsca dla ducha w swej immanencji, dla autonomicznej i niepodzielnej świadomości. Jako kilka dalszych przykładów wymienię deabsolutyzację logiki (Russell), matematyki formalnej (Gödel), zanegowanie ścisłego determinizmu (był on Absolutem przed-XX-wiecznej nauki) i "absolutnego" zjawiska życia (przejście od skrajnego holizmu – „siły życiowej” - do redukcjonizmu).

Logiczną konsekwencją przedstawionej drogi wydaje się być wskazanie nieuprawnienia w sensie absolutnym wszelkich sensów w ogóle, zaprzeczenie istnienia wszelkich prawd ważnych bez względu na odniesienie. W tym ujęciu nawet pascalowska trzcina okazuje się ułudą - żadna wiedza absolutna nie może nam być dana. Tutaj dopełnia się też reguła brzytwy Ockhama - nie ma potrzeby przyjmować, że istnieje (w sposób absolutny) cokolwiek.

Tyle w kwestii prawdy absolutnej. Przejdę teraz do dalszych konsekwencji zaproponowanej w tej pracy struktury sieci pojęciowej.

Najpierw, wyjaśnienia wymaga wzajemna relacja pomiędzy siecią pojęciową a językiem. Język jest tworem "skwantowanym", składa się z dyskretnych nazw, będących symbolicznymi etykietkami desygnowanych przez nie obiektów. Natomiast pojęcia w sieci pojęciowej przechodzą jedno w drugie w sposób mniej lub bardziej stopniowy (pewną analogią mogą tu być wzgórza w krajobrazie), a ewentualne nieciągłości ukryte są z reguły na niższej skali wielkości, tak jak ziarna emulsji na fotografii. Wzajemne przyporządkowanie języka i sieci pojęciowej odbywa się w ten sposób, że nazwy języka odpowiadają obszarom sieci pojęciowej (pojęciom) najsilniej zaznaczonym, wyodrębnionym, dookreślonym przez kontekst pojęciowy. Nadanie nazwy językowej "nobilituje" pojęcia wystarczająco "jasne" i "indywidualne". Natomiast ogromna ilość pojęć mglistych i niedookreślonych, napomknień tylko o sensach, nie znajduje swoich odpowiedników w sferze języka.

Język jest wtórny wobec sieci pojęciowej. Zarówno bowiem jego nazwy, desygnowane przez nie "obiekty", jak i sama relacja desygnacji "zbudowane" są z pojęć. Język zawiera się zatem w sieci pojęciowej, będąc jej częścią. Zarazem, język jest wewnątrz tej sieci doskonałym narzędziem, pozwalającym na sprawne operowanie siecią pojęciową jako całością. Jeżeli pojęcia uznamy za wzgórza w krajobrazie, to język, stanowiący rodzaj mapy z naniesionymi nazwami wzgórz, znacznie ułatwia "orientację w terenie". Pojęcia jednakże (a nie, jak mogłoby się na pierwszy rzut oka

wydawać, odpowiedniość z jakimiś zewnętrznymi obiektami) stanowią o znaczeniu nazw języka - bez "podszewki" pojęciowej język stanowiłby tylko pustą strukturę symboli rządzoną pewnymi formalnymi regułami. W tym sensie język wydaje się nieautonomiczny semantycznie. Nazwy języka korespondują z odpowiadającymi im pojęciami w sposób niejednoznaczny tylko i przybliżony. Dlatego też, chociaż dyskretna struktura języka niejednego już filozofa skłoniła do uczynienia z niego "absolutnego" narzędzia poznania, budowlom złożonym z cegiełek nazw językowych daleko do spójności i niesprzeczności.

Konotacyjny charakter pojęć prowadzi nieubłaganie do wniosku o niemożności istnienia pojęć całkowicie (nieskończenie) ostrych. A takich w zasadzie domaga się logika i matematyka. Dziedziny te nie są więc, wbrew często formułowanym poglądom, idealnie dookreślone, ścisłe i autonomiczne. Nie są też takie wypowiediane przez nie prawdy. Klasyczna logika przypisuje prawdzie wartość 1, natomiast fałszowi 0. Ponieważ, w kontekście sieci pojęciowej, orzekanie o prawdzie absolutnej (lub absolutnym fałszu) obarczone jest wewnętrzną sprzecznością, prawdziwość zdań możemy tutaj określić jakąkolwiek liczbą z przedziału pomiędzy 0 i 1, ale nigdy samym zerem lub jedynką. Nie tylko więc, że nie ma zdań idealnie prawdziwych, co może jeszcze w miarę łatwo dałoby się przełknąć, ale nie istnieją także twierdzenia do końca fałszywe (zawsze można znaleźć kontekst, w którym najbardziej nawet "bzdurne" zdanie da się uprawdopodobnić). Świat wymyka się logice, ponieważ jest ona formą języka. Wykonując operacje na nazwach, logika nie może prawidłowo opisać sieci pojęciowej, ze względu na ograniczenia wynikające z niedoskonałości wzajemnej odpowiedniości tejże i języka. Wczesny Wittgenstein zabsolutyzował logikę do tego stopnia, że przypisał jej status struktury poznania, więcej - struktury świata. Z prezentowanego tu punktu widzenia logikę, jako operującą często na pojęciach (lub nazwach) nie do końca określonych, należy uznać za nieprzydatną dla filozofii, gdzie nieokreśloność pojęć jest szczególnie duża, i zastąpić ją czymś w rodzaju wizji pojęciowej, mającej trafić w system znaczeń w umyśle odbiorcy.

Także w matematyce, na równi z logiką pretendującej do absolutnej ścisłości, nie do uniknięcia są, wskutek konotacyjności sieci pojęciowej, wewnętrzne antynomie i paradoksy. Za sztandarowy przykład może służyć problem continuum. Da się go sformułować na wiele różnych sposobów, jak np. w postaci paradoksu żółwia i Achillesa. Tutaj, wspomniany problem wyrażę krótko jak następuje: dlaczego jednym razem pomnożenie zerowych rozmiarów punktów na jakimś odcinku prostej przez nieskończoną ilość punktów daje w iloczynie 3, w centymetrach lub dowolnych innych jednostkach, innym zaś razem: 5, w tych samych jednostkach. Problem ten jest tak stary, że dawno już większość matematyków przeszło nad nim do porządku dziennego, podciągając go pod myślenie zdroworozsądkowe. Dla mnie jednak problem continuum stanowi silny argument na rzecz tezy, że ogólne schematy oglądu świata, dane nam przez ewolucję, nie są do końca spójne i konsekwentne (zobacz: "Absolut - odniesienie urojone").

Pojęcia, którymi operuje logika, matematyka i nauka, jeszcze dlatego nie są idealnie ostre, że pochodzą od pojęć ukształtowanych w obrębie języka potocznego, oczywiście odpowiednio

dookreślonych i uściślonych na użytek tych dziedzin. Ponieważ, z oczywistych przyczyn, procesu dookreślania nie można pociągnąć w nieskończoność (wymagałoby to nieskończonego czasu i nieskończenie wielkiej sieci pojęciowej), dlatego w każdym pojęciu zawsze pozostanie pewien margines niejednoznaczności i nieostrości znaczeniowej (powyżej dyskutowałem w tym świetle przypadek pojęcia liczby 2).

Nauka w ten sposób ma się do zewnętrznej rzeczywistości, że próbuje ją pokryć siatką pojęć jak najlepiej przylegającą do struktury świata. Poszczególne dyscypliny naukowe można uznać za rodzaj map pojęciowych, odwzorowujących adekwatne aspekty rzeczywistości. W odwzorowywaniu rzeczywistości przez naukę pojawiają się problemy dwójakiego rodzaju. Po pierwsze, przystawianie struktury mapy pojęciowej do struktury świata jest zawsze tylko ograniczone i przybliżone. Po drugie, wzajemna zgodność, przekładalność jednej mapy na drugą, z reguły także pozostawia wiele do życzenia. Problemów "na styku" map jest wiele. Jako przykład może służyć nieuzgadnialność mechaniki kwantowej z ogólną teorią względności (obie na raz nie mogą być "prawdziwe"), termodynamiki z dynamiką (ta pierwsza posiada wyraźną strzałkę czasu, podczas gdy druga nie rozróżnia kierunków czasu "do przodu" i "wstecz", jest wobec nich symetryczna), problemy z unifikacją wszystkich czterech oddziaływań znanych fizyce (elektromagnetycznych, silnych, słabych i grawitacyjnych), czy niewspółmierność biologii do fizyki (w języku tej ostatniej nie da się wyrazić "sensu" czy "celu" ewolucji biologicznej). Prostą analogią dla opisu świata przez naukę byłoby pokrycie powierzchni globusa przez pewną ilość płaskich map. Ażeby opisać globus jak najdokładniej (za miarę dokładności przyjmijmy odległość brzegów mapy od powierzchni globusa, zakładając, że środek mapy styka się z tą powierzchnią), trzeba by użyć jak największej ilości jak najmniejszych map. Byłoby to jednak bardzo niewygodne praktycznie, a poza tym otrzymalibyśmy ogromną ilość niecałkowicie przystających do siebie opisów cząstkowych zamiast jednego lub kilku opisów zunifikowanych. W celu generalizacji opisu należałoby zmniejszać ilość map. Odbychałoby się to jednak kosztem dokładności opisu (zdefiniowanej przed chwilą jako odległość brzegów mapy od powierzchni globusa), a poza tym i tak do odwzorowania globusa na płaszczyźnie potrzebne są przynajmniej dwie mapy, będące rzutami jego półkul, np. północnej i południowej. Całkowita unifikacja opisu nie jest zatem z przyczyn zasadniczych do przeprowadzenia. Wynika to z odmiennej natury odwzorowywanego i odwzorowującego, tzn. zakrzywionej powierzchni globusa i płaskiej mapy, względnie rzeczywistości i sieci pojęciowej. Z tej przyczyny Wielka Unifikacja Wszystkich Nauk jest oczywistą utopią - zawsze nieodłączną cechą naszego widzenia świata pozostanie aspektowość. Ceniąc naukę, nie należy jej jednak przeceniać - grozi to wpadnięciem w pułapkę absolutyzmu.

Zespół właściwości sieci pojęciowej implikowany przez charakter leżącej u jej podłoża sieci neuronalnej nie ogranicza się do cechy konotacyjności. Neuronalne "korzenie" sieci pojęciowej decydują także o tym, że jawi się ona jako twór dynamiczny i diachroniczny. Ulega ciągłym zmianom i rozbudowie, zarówno w procesie ewolucji biologicznej, jak i podczas rozwoju osobniczego poszczególnych indywidualów. W obu tych procesach budowa sieci pojęciowej startuje praktycznie od zera.

Ogromna większość znanych mi filozofii poznania, umysłu, percepcji czy języka traktuje umysł ludzki w sposób synchroniczny, jako z góry ustalony i w zasadzie niezmienny zespół dyrektyw i kategorii oglądu świata. Prowadzi to do nieuchronnej absolutyzacji naszego aparatu poznawczego, jak to miało miejsce w przypadku kategorii czystego rozumu Kanta lub też koncepcji myślenia językowego Wittgensteina. A przecież samo uświadomienie sobie faktu ewolucji sieci pojęciowej w ciągu rozwoju osobniczego człowieka wystarczy, aby ten absolutyzm podważyć. To, czy dziecko, które nie opanowało jeszcze języka, już myśli, pozostaje być może kwestią sporną. Z pewnością jednak posiada ono zaczątki myślenia, którego nie dzieli żadna zasadnicza różnica jakościowa od "myślenia właściwego", jakie się potem z tych zaczątków rozwinię. Możemy uważać myślenie językowe za pewną wygodną i często używaną formę myślenia (jeżeli język uznamy za rodzaj narzędzia, pozwalającego na sprawne operowanie pojęciami), nie wolno nam jednak utożsamiać go z istotą myślenia w ogóle.

Podobnie rzeczy się mają z kategoriami Kanta. Pewne zaczątki analogów tych kategorii przypuszczalnie są u człowieka wrodzone. W żaden sposób nie świadczy to jednak o ich konieczności i absolutności. Kategorie te powstały bowiem w procesie ewolucji jako mechanizmy integracji bodźców zmysłowych mające służyć przeżyciu ewoluujących organizmów w ich środowisku. Nie implikuje to, co wydaje się chyba oczywiste, doskonałości i uniwersalności kategorii naszego umysłu jako narzędzi poznawczych. Sa one umowne chociażby w ten sposób, że możliwe jest ujęcie świata w inne kategorie, być może zupełnie nieosiągalne dla naszego umysłu. Zdaje się o tym świadczyć postęp współczesnej fizyki teoretycznej, rodzący się w coraz większych bólach i jawnie zmierzający do wzrastającej subiektywizacji (nieoznaczoność kwantowa, kwestia strzałki czasu czy też stopnia uporządkowania układu w termodynamice, zasada antropiczna). Problemy powyższe biorą się najprawdopodobniej z tej trywialnej przyczyny, że ewolucja stworzyła nasz umysł do polowania na mamuty, nie zaś tworzenia filozofii czy nauki. Poźniejszy rozwój kultury był dla ewolucji biologicznej czymś nie zaplanowanym i całkowicie obojętnym, tak jak nie ma dla niej znaczenia przypadkowy wzór barwnych plamek na muszli ślimaka, o ile tym plamkom nie jest przypisana jakaś funkcja przystosowawcza.

"Konotacyjna" i diachroniczna struktura sieci neuronalnej, chociaż określa ogólną strukturę sieci pojęciowej, to jednak sama nie wystarcza do całkowitego wyjaśnienia natury tej ostatniej. Jeżeli sieć komórek nerwowych uznamy za swego rodzaju formę, to potrzebna jest jeszcze wypełniająca ją treść. Budowa sieci neuronalnej określa pewien dopuszczalny zakres możliwości przepływu impulsów nerwowych, natomiast w obrębie tego zakresu ilość możliwych kombinacji impulsów rzeczywiście "powołanych do życia" jest praktycznie nieograniczona. Powstaje pytanie, co właściwie powoduje, że właśnie te, a nie inne obwody neuronalne zostaną pobudzone w takiej, a nie innej sekwencji. Innymi słowy, problem sprowadza się do istoty pierwotnego źródła powstawania pojęć, czy też "substancji", na bazie której są one budowane.

Owa pierwotna "substancja", z której tworzone są pojęcia, to nic innego, jak bodźce (wrażenia) pochodzące od receptorów zmysłowych. One to właśnie decydują (bezpośrednio lub poprzez zapisy pamięciowe) o konkretnych drogach przebiegu impulsów nerwowych w sieci neuronalnej. Wrażenia, np. obrazy, stanowią pewną formę pobudzenia zespołów neuronów o charakterystycznym wzorcu przestrzenno-czasowym. O tym, iż dany zespół impulsów stanowi "podłoże" właśnie wrażenia wzrokowego, a nie np. odczucia bólu, stanowi struktura połączeń neuronów w danej części mózgu, np. korze wzrokowej, a także ich komunikacja (poprzez nerw wzrokowy) z komórkami światłoczułymi w oku. Struktura połączeń determinuje także, czy obraz ma przede wszystkim charakter przestrzenny, czy też preferencyjnie postrzegający ruch itp.. Z kolei, struktura neuronalna wyższego rzędu, w obrębie której realizowane są wzorce asocjacji poszczególnych wrażeń, leży u podłoża pojęć, a mianowicie pojęć pierwotnych. Źródłem pojęć wtórnych jest integracja na jeszcze wyższym poziomie. Ogólnie rzecz biorąc, "substancja" wszystkich pojęć stanowi pochodną wrażeń oraz ich obróbki przez "wyższe" ośrodki w mózgu.

Oczywiście, nie "dostrzegamy" świadomie wszystkich obrazów (dźwięków, zapachów) współtworzących pojęcie, które jawi się właśnie naszej świadomości, tak jak nie jesteśmy świadomi wszelakich konotacji tego pojęcia z innymi pojęciami. Do tego musielibyśmy ogarnąć całą naszą sieć pojęciową, łącznie z pamięcią, co jest niemożliwe (choćby ze względu na jej ogrom). Myśląc o koniu nie przypominamy sobie wszystkich koni, jakie widzieliśmy w życiu, ani też naszych wiadomości o budowie anatomicznej konia, jego pozycji systematycznej, sposobie rozrodu, wyścigach konnych itd., choć dopiero cały zespół tych czynników warunkuje nasze zrozumienie pojęcia "koń".

Temat wraźniowej natury pojęć chciałbym potraktować nieco obszerniej. Rozmaitość wielorakich bodźców zmysłowych u człowieka jest spora (należy pamiętać także o zmysłach wewnętrznych, "odbierających" np. napięcie mięśni). Dla prostoty, w poniższych rozważaniach posłużę się głównie przykładem wzroku, niewątpliwie najważniejszego zmysłu człowieka<sup>77</sup>. W tym przypadku, tworzywo dla nowo powstających pojęć jawi się jako pewna kombinacja pobudzeń komórek wzrokowych w siatkówce oka. Jednakże, zespołu sygnałów docierających od siatkówki nie można w żadnym razie utożsamiać z obrazem, jaki jawi się naszej świadomości. Sygnały te bowiem już w samej siatkówce, a potem w receptorowej części kory mózgowej (w tym wypadku w korze wzrokowej), ulegają znaczącej obróbce.

Pobudzenie poszczególnych komórek wzrokowych przez padające na nie fotony jest całkowicie równoważne, wszystkie komórki są "na wejściu" jednakowo uprawnione w tworzeniu obrazu, tak jak ziarna emulsji w kliszy fotograficznej. W obu przypadkach "pobudzenie" elementu światłoczułego (jako elementarny proces fizykochemiczny) stanowi bezpośrednią konsekwencję

---

<sup>77</sup>Rozumowanie i wnioski wysnute w oparciu o funkcjonowanie innych zmysłów będą podobne. Podkreślenia wymaga natomiast fakt, że w tworzeniu rozlicznych pojęć udział bierze kilka, lub nawet wszystkie zmysły, "dopełniające się" nawzajem w tej roli.



absorbacji fotonu, a zatem rozkład tego pobudzenia na siatkówce lub na kliszy (czyli to, co możemy nazwać "obrazem pierwotnym") odpowiada po prostu rozkładowi (w płaszczyźnie siatkówki lub kliszy) zróżnicowania strumienia fotonów wpadających do oka, względnie do aparatu.

Ta równoważność pobudzenia poszczególnych komórek wzrokowych zostaje jednakże w procesie wspomnianej obróbki utracona. Okazuje się, że informacja pochodząca od niektórych komórek wzrokowych staje się, *ex post*, istotniejsza od informacji o pobudzeniu innych komórek. To, która z komórek receptorowych nabierze w danej chwili większego "znaczenia", nie jest z góry dane. Przeciwnie, "waga" pobudzenia danej komórki zależy od pobudzenia (lub jego braku) sąsiednich komórek. Może ona zmieniać się w czasie, znowu w zależności od zmiany w stymulacji otaczających komórek receptorowych. Jak to wynika z jednego z podanych poniżej przykładów, informacja o pobudzeniu komórki "leżącej" na konturze jakiejś odbieranej plamy barwnej zostanie bardziej wyróżniona, "uprzywilejowana", niż sygnał o pobudzeniu komórki "znajdującej się" we wnętrzu tej plamy (plamę barwną rozumiem tu na razie w sensie czysto fizycznym, jako wiązkę fotonów o jednakowej długości fali padającą na pewien obszar siatkówki). Wiąże się to z preferencyjnym wychwytywaniem przez mózg różnic w pobudzeniu sąsiednich komórek w przestrzeni (ale także, w przypadku rejestracji ruchu, różnic w pobudzeniu tej samej komórki w następujących po sobie chwilach czasowych).

Znaczenie informacji pochodzącej od danej komórki wzrokowej zależy wobec tego od "kontekstu" informacji pochodzącej od komórek sąsiednich. Jasne więc staje się, że omawiane "wartościowanie" informacji odbywa się nie w obrębie pojedynczej komórki, lecz na poziomie zbierającym i integrującym bodźce z wielu komórek receptorowych (jako elegancki i dobrze zbadany przykład może tu służyć kora wzrokowa kota lub kora słuchowa nietoperza). Dodatkowo, wydaje się oczywiste, że obraz docierający do "głębszych warstw" (w sensie funkcjonalnym) mózgu nie może być, cokolwiek by przez to nie rozumieć, równocenny z obrazem pojawiającym się w płaszczyźnie komórek receptorowych siatkówki. O ile obraz na siatkówce odpowiada zdjęciu wykonanemu aparatem fotograficznym, "wiernie" odzwierciedlającemu rzeczywistość fizyczną, to w procesie dalszej obróbki mogą z niego ulec "ekstrakcji" cechy z pewnych względów pożądane. Wydobywane są, na przykład, kontrasty, zamazywane przedmioty znajdujące się w tle, fragmenty widzianych przedmiotów ulegają "uzupełnieniu" o brakujące elementy. W procesie integracji bodźców zmysłowych pewne "wzorce" obrazu na siatkówce ulegają preferencyjnemu wychwyceniu, podczas gdy inne traktowane są jako drugorzędne. Takimi uprzywilejowanymi sposobami integracji bodźców wzrokowych może być postrzeganie ruchu, linii pionowych lub przeciwnie - poziomych, lepsza wrażliwość na pewne zakresy widma elektromagnetycznego niż na inne itp.. Na te raczej elementarne mechanizmy obróbki sygnałów zmysłowych nakładają się mechanizmy wyższego rzędu, wykorzystujące zgromadzone zapisy pamięciowe dotyczące przeszłych doświadczeń, dokonujące asocjacji z sygnałami pochodzącymi z innych narządów zmysłów, koordynujące działanie efektorów, wreszcie związane z autonomiczną działalnością mózgu, czyli tym, co z grubsza odpowiada procesom myślowym.

Takie, poddane obróbce zespoły bodźców od rozmaitych narządów zmysłów stanowią podstawę dla tworzenia się pojęć. Dotyczy to w szczególności pojęć pierwotnych, ponieważ w "budowę" pojęć wtórnych znaczny wkład mają mechanizmy asocjacji sygnałów w mózgu funkcjonujące na wyższych poziomach. Jednak, także pojęcia wtórne oparte są do pewnego stopnia, w sposób mniej lub bardziej bezpośredni, na "substancji" wrażeń zmysłowych.

Wpływ mechanizmów integrujących sygnały od receptorów na samą naturę naszego myślenia i poznania jest przytłaczający i powszechnie niedoceniany. Najbardziej podstawowe kategorie oglądu świata pochodzą ze sposobu obróbki bodźców pochodzących od receptorów przez nasz mózg. (Kategorie te są równoważne pewnym zespołom osi znaczeniowych, różnicujących strukturę naszych pojęć). Chodzi tutaj o dwie podstawowe rzeczy. Pierwsza z nich to wzajemne rozłożenie przestrzenne komórek receptorowych w narządach zmysłów. Druga, to integracja impulsów pochodzących od tych komórek. Nasze myślenie kategoriami trójwymiarowej przestrzeni, na przykład, stanowi bezpośrednią pochodną faktu, że dwa płaskie obrazy na siatkówce naszych oczu, których pola widzenia prawie całkowicie pokrywają się, reprezentują te same przedmioty widziane pod nieco inny kątem (widzenie binokularowe). Porównania tych obrazów stwarza wrażenie głębi, umożliwiając tym samym "dodanie" trzeciego wymiaru do dwóch wymiarów wyznaczonych przez płaszczyznę siatkówki. Należy przypuszczać, że zwierzęta (np. krowa), u których pola widzenia obu oczu prawie nie zachodzą na siebie, widzą świat zasadniczo w dwóch wymiarach. Natomiast żadnego już pojęcia nie mamy, jak mogą wyglądać najbardziej elementarne kategorie oglądu świata u posiadających oczy złożone owadów lub u nietoperzy, wytwarzających sobie obraz otoczenia głównie za pośrednictwem echolokacji. Należy obawiać się, że kategorie te całkowicie wymykają się naszej możliwości pojmowania. Nasz sposób oglądu świata nie jest zatem z pewnością jedynym możliwym - opiera się on na pewnym rodzaju budowy narządów zmysłów oraz mechanizmów integracji pochodzących z nich sygnałów; oba zostały ukształtowane, z takich lub innych powodów, przez ewolucję. Bez znajomości tych mechanizmów, a także procesów mózgowych działających na wyższym poziomie asocjacji, zajmowanie się ontologią i epistemologią, a także filozofią umysłu, percepcji czy języka (oraz wieloma innymi działaniami filozofii) po prostu pozbawione jest jakiegokolwiek sensu, tak jak nie miało sensu studiowanie natury materii, przestrzeni i czasu przed powstaniem współczesnej fizyki. Albowiem, status pojęć w naszej psychice i wynikające z niego ograniczenia poznawcze muszą stanowić bezwzględny punkt wyjścia dla jakiegokolwiek dalszej refleksji.

Przyjrzyjmy się teraz pobieżnie i fragmentarycznie, jak pewne podstawowe kategorie naszego oglądu świata, tak wydawałoby się oczywiste i nieredukowalne do składników prostszych (porównaj absolutne kategorie Kanta), wynikają ze sposobów integracji obrazu pierwotnego, pojawiającego się na siatkówce oka.

Jedną z podstaw przestrzennego widzenia rzeczywistości stanowi łączenie w jeden obiekt sygnałów od (grup) komórek światłoczułych pobudzonych przez światło w podobny sposób, jeżeli komórki te leżą obok siebie w płaszczyźnie siatkówki, nie zaś rozrzucone są bezładnie po całym jej

obszarze. Oznacza to, iż w tym przypadku większą wartość informacyjną otrzymuje sygnał o pobudzeniu takiej komórki, której sąsiadki zostały także pobudzone. Pomimo, iż pierwotny obraz na siatkówce jest dwuwymiarowy, jego odpowiednie przetworzenie (np. poprzez uwzględnienie perspektywy oraz porównanie obrazów pochodzących z obu oczu) odbywające się na nieco wyższym poziomie integracji powoduje, iż nasze widzenie świata jest zasadniczo trójwymiarowe. Mamy podstawy, aby przypuszczać, że istnieją organizmy "postrzegające" tylko dwa wymiary, nie ma też żadnego zasadniczego powodu, aby jakieś hipotetyczne istoty nie odbierały rzeczywistości jako czterowymiarowej czasoprzestrzeni, lub też sześciowymiarowej przestrzeni fazowej. Trójwymiarowy ogląd świata nie jest zatem rzeczą oczywistą.

Postrzeganie ruchu, a więc rejestracja raczej zmiany w natężeniu pobudzenia jakiejś komórki światłoczułej lub grupy takich komórek, niż bezwzględnej wartości tego natężenia, należy uznać za istotny element przyczynowy odczuwania upływu czasu. Waga informacji o pobudzeniu danej komórki wzrasta tu wydatnie, jeżeli przed chwilą komórka ta nie była pobudzona lub, przeciwnie, kiedy po okresie równomiernego pobudzania nagle przestały dochodzić od niej sygnały. W tego rodzaju "pamięć czasową" zaangażowana jest nie tylko sama komórka receptorowa, ale także pewien zespół komórek nerwowych. Wydaje się, iż wiele prymitywnych organizmów odbiera przede wszystkim bieżący status otaczającego ich środowiska (na przykład obecność jakiejś substancji w wodzie morskiej lub glebie) i adekwatnie nań reaguje, nie "zwraca" za to "uwagi" na nagłe, choć krótkotrwałe zmiany tego statusu. Organizmy takie miałyby, w naszym mniemaniu, upośledzoną zdolność "percepcji" czasu. Inne organizmy, jak dyskutowana wyżej żaba, mają zdecydowanie większe predyspozycje do postrzegania raczej ruchu, niż obrazu. W pewnym sensie można więc powiedzieć, że świat tego zwierzęcia jest raczej czasowy niż przestrzenny (jasność tego przykładu maćci nieco fakt, że zarówno czasowa, jak i przestrzenna komponenta "żabiej rzeczywistości" wydają się być znacznie bardziej ubogie, niż u człowieka; mówiąc o raczej czasowym typie percepcji u żaby mam więc na myśli tylko relatywny udział tych komponent).

Innym elementarnym mechanizmem integracji bodźców wzrokowych jest skłonność do postrzegania konturów, a więc granic pomiędzy dwoma grupami komórek światłoczułych, z których to grup każda naświetlona jest w inny sposób. Z oczywistych powodów umożliwia to (implikuje) wyróżnianie (kategorii) linii. Kontur zostaje "wyekstrahowany" z pierwotnego obrazu na siatkówce, jeżeli zgrupowaniu ulegną sygnały od sąsiadujących ze sobą komórek światłoczułych charakteryzujących się tym, że komórki sąsiadujące z nimi po obu stronach w jakimś kierunku różnią się co do stopnia pobudzenia, zaś w kierunku do niego prostopadłym - nie. Preferencja do wyróżniania konturów (linii) leży zatem całkowicie po stronie mechanizmów integracji bodźców w naszym mózgu, nie zaś po stronie "obiektywnego" świata, czy nawet pierwotnego obrazu na siatkówce.

Komórki w kolejnych warstwach kory wzrokowej, integrujących bodźce pochodzące z siatkówki, ułożone są i połączone ze sobą w taki sposób, że mamy wyraźną skłonność do

postrzegania linii prostych. (Jest to istotna informacja dla filozofów przekonanych o idealnej, platońskiej egzystencji idei matematycznych). Sugerują to już badania nad korą wzrokową kota (różne komórki w korze wzrokowej są pobudzone, gdy oku zostają prezentowane linie proste pod różnym nachyleniem). Czy może więc dziwić, że geometria euklidesowa znacznie wyprzedziła w czasie nieeuklidesową? (Pomijam już fakt, że umysł ludzki w ogóle jest zdolny do wytworzenia pojęcia linii prostej. Jakieś rozumne owady, ze swoimi złożonymi oczyma, być może nie potrafiłyby takiego pojęcia ukształtować, produkując inne, niezrozumiałe z kolei dla nas. Czy więc istnieją dwa różne światy platońskich idei: jeden dla nas, a drugi dla owadów?).

Obróbka bodźców dąży do wyodrębnienia z mniej lub bardziej ciągłego obrazu dyskretnych obiektów. Stąd, z jednej strony, nasza skłonność do kwantyfikacji świata, co znajduje wyraz chociażby w dyskretnej naturze języka, z drugiej zaś - potrzeba wytworzenia pojęcia liczby, niezbędnego do dalszej integracji obrazu składającego się z tak wyróżnionych obiektów. (Tutaj również widzę wyraźne implikacje dla filozofii języka i matematyki). Korzenie przyczynowości, albo też, szerzej, ciągłości w czasie, da się wyśledzić jako rezultat łączenia w jeden obiekt plamy przesuwanej się w polu widzenia w taki sposób, że w sąsiednich momentach czasowych zajmuje ona sąsiednie położenia przestrzenne w obrębie "obrazu" na siatkówce, a nie zaś, na przykład, lata beładnie po całym polu widzenia. Stąd właśnie wynika, że obiektem jest dla nas pojedynczy lecący ptak w następujących po sobie chwilach czasowych, a nie plamki pojawiające się na "szumiącym" ekranie telewizora, lub też grupa ptaków w danej chwili czasowej.

Nie ulega więc chyba wątpliwości, że wyróżnianie takich kategorii jak czas, przestrzeń, przyczyna czy dyskretny obiekt jest całkowicie domeną sposobu percepcji bodźców przez nasz mózg. Nie oznacza to, że kategoriom tym nic w świecie zewnętrznym nie odpowiada, a jedynie, że są arbitralnie wybranymi (przez ewolucję) aproksymacjami pewnych aspektów rzeczywistości, które, będąc pierwotne i podstawowe dla naszego umysłu, wcale takimi "obiektywnie" być nie muszą. Co więcej, z powodu narzuconych przez strukturę sieci pojęciowej ograniczeń poznawczych, rodzaj przystawalności naszego obrazu świata do samego świata zawsze w jakiejś mierze pozostanie tajemnicą. W tym sensie, dyskutowane kategorie leżą raczej po stronie naszego umysłu, a nie rzeczywistości "samej w sobie".

Jeszcze raz pragnę podkreślić, że, z przyczyn wymienionych powyżej, wspomniane sposoby obróbki bodźców zmysłowych to jeszcze nie pojęcia, lecz pewne predyspozycje, osie semantyczne, które determinują istotę powstających pojęć, kierunki rozwarstwiania się sensów. Wiele z tych mechanizmów (a przypuszczalnie wszystkie funkcjonujące na najniższych poziomach integracji) to mechanizmy wrodzone, wykształcające się w postaci funkcjonalnych struktur mózgu w rozwoju embrionalnym, zanim jeszcze dotrą do tego mózgu (z bardzo nielicznymi wyjątkami) jakiegokolwiek bodźce. Pojęcia natomiast formują się dopiero na bazie treści wrażeń, "przepuszczonych" przez owe integrujące struktury. Zdaję sobie jednak sprawę, że powyższe rozróżnienie jest w części kwestią doboru definicji, w którym często kierujemy się osobistym smakiem.

Wydaje się być rzeczą zrozumiałą, że wiele pojęć jest zbyt abstrakcyjnych (dotyczy to zwłaszcza pojęć wtórnych), aby dało się łatwo wyśledzić ich bezpośrednią łączność z "wrażeńiową strukturą" substancji pojęć. Większą rolę w tworzeniu tych pojęć odgrywają mechanizmy integracji i asocjacji wyższego rzędu, będące podłożem myślenia i, ogólniej, psychiki, "odwołujące się" do pamięci i już posiadanego obrazu świata. Te dwie komponenty, a mianowicie bezpośrednia obróbka sygnałów zmysłowych oraz integracja na wyższym poziomie stanowią całkowicie o neurofizjologicznym podłożu pojęć. W pojęciach pierwotnych przeważa składnik "wrażeńiowy", w pojęciach wtórnych - "asocjacyjny". Jednakże, poza nimi nie ma już miejsca na żaden element czysto "duchowy", w ogóle na nic. Pojęcia są (w terminologii neurofizjologicznej) całkowicie sprowadzalne do integracji sygnałów odbywającej się na różnych poziomach. Ich istota i sens bierze się z danego konkretnego sposobu tej integracji narzuconego przez ewolucję, najpierw biologiczną, a potem kulturową. Natomiast sensu i celu całego tego procesu już się przy pomocy aparatu pojęciowego neurofizjologii wytłumaczyć nie da.

Sytuacja wydaje się być w znacznej mierze analogiczna do wyłaniania się sensów i celów biologicznych z poziomu fizycznego. Tam także, pomimo że funkcjonowanie organizmów żywych to "nic więcej", niż pewien sposób zachodzenia procesów fizykochemicznych, nie da się wyjaśnić istoty życia i ewolucji odwołując się wyłącznie do terminologii fizycznej. Potrzebny jest jeszcze przynajmniej aparat pojęciowy cybernetyki, który z fizycznego opisu świata w żaden konieczny sposób nie wynika.

Wszystkie przedstawione powyżej przykłady prostych mechanizmów integrujących bodźce zmysłowe zdają się sugerować niedwuznacznie, że znaczenie komórek receptorowych realizuje się, tak jak znaczenie komórek nerwowych - przez konotację. W szczególności, dana komórka jest nie (tylko) dlatego komórką wzrokową, że reaguje na światło, ale zwłaszcza z tego powodu, że cały system nerwowy traktuje ją jako komórkę wzrokową. Układ nerwowy jest wielką siecią, której niektóre zakończenia (zwane potocznie receptorami zmysłowymi), nie łączące się z innymi elementami sieci, lecz urywające "ślepo", bywają w rozmaity sposób pobudzane, a raczej po prostu docierają od nich pewne zestawy sygnałów. W pewnym sensie, nasza psychika i świadomość sprowadzają się do określonego sposobu obróbki tych sygnałów na różnych, a zwłaszcza najwyższych, poziomach integracji. Jest to jednakże tylko ten aspekt świadomości, który można dostrzec z poziomu biologicznego. Dostarcza on wyjaśnienia, na jakiej zasadzie działa sieć nerwowa leżąca u podłoża psychiki, nie jest jednak nic w stanie powiedzieć o treści sensów psychicznych.

Uzupełniwszy w ten sposób konotacyjny charakter sieci pojęciowej o jej, mniej lub bardziej bezpośrednio, wrażeniowy charakter, chciałbym teraz na chwilę ponownie powrócić do implikacji filozoficznych dyskutowanej tutaj koncepcji. Wszystkie poglądy i twierdzenia (w ich liczbie także filozoficzne) mogą zaistnieć w naszej świadomości tylko i wyłącznie jako elementy sieci pojęciowej (ich sformułowanie w obrębie składni języka stanowi cechę wtórną, jak to dyskutowałem powyżej). Nie mogą one zatem powiedzieć więcej i w inny sposób, niż na to pozwala konotacyjna natura sieci pojęciowej oraz wrażeniowo-asocjacyjny rodowód pojęć.

Wszystko powiedziane powyżej wzmacnia jeszcze tezę, że struktura sieci pojęciowej nie pozwala nam na głoszenie prawd w jakimkolwiek znaczeniu absolutnych. Sensy psychiczne mogą bowiem funkcjonować tylko właśnie na poziomie psychicznym - wraz ze zniszczeniem funkcjonalnej struktury sieci nerwowej one po prostu nikną. Gdyby we Wszechświecie nie było żadnej istoty myślącej, nie istniałyby przez to żadne sensory psychiczne. Podobnie, nie ma żadnych podstaw do mówienia o celach ewolucji biologicznej na poziomie fizycznym poza funkcjonalną strukturą jakichkolwiek organizmów żywych. Co ważniejsze, struktura sieci pojęciowej jest zupełnie odmienna od struktury odzwierciedlanego przez nią świata (tak jak istota sieci pajęczej stanowi coś zupełnie innego od "substancji" oplatanej przez nią rzeźby), a ich wzajemne przystawanie może być tylko niedoskonałe. Implikuje to, że znaczenia psychiczne, będące wszak częścią sieci pojęciowej, są obdarzone naturą całkowicie odmienną, niż cokolwiek znajdujące się poza nimi, a zatem poza psychiką (stąd zapewne bierze się subiektywna skłonność do oddzielania "ducha" od "materii"). Rzeczywistość zewnętrzną (w stosunku do sieci pojęciowej) możemy poznać tylko w przybliżeniu, z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze, ze względu chociażby na skończoną wielkość naszego umysłu, nie możemy odzwierciedlić rzeczywistości nieskończenie dokładnie. Po drugie, sama "substancja" pojęć zawsze będzie odmienna od "substancji" świata. Używając poprzedniej analogii, nie da się ani zacieśniać oczek sieci pajęczej w nieskończoność, w celu odzwierciedlenia najmniejszych detali na powierzchni rzeźby, ani też sieć pajęczna nie stanie się nigdy tożsama z powierzchnią rzeźby. Bez tej tożsamości, sieć pojęciowa może pretendować do bycia tylko pewnym modelem rzeczywistości, odzwierciedlającym (i to w uproszczeniu), jak każdy model, jedynie pewne aspekty tego, co modelowane. Ze wszystkich powyższych przyczyn, formułowanie jakichkolwiek twierdzeń mających orzekać o prawdach absolutnych, a więc całkowicie autonomicznych i nie zrelatywizowanych do czegokolwiek poza nimi samymi, obarczone jest już na wejściu błędem logicznym. Błąd ten popelnia jednak ciągle spora część filozofii.

Jako przykład problemu sztucznie wygenerowanego przez filozofię może służyć zagadka wzajemnego oddziaływania na siebie ducha (świadomości) i materii (ciała). Interakcjonizm traktuje je jako dwa niezależne byty, które wywierają na siebie wzajemny wpływ. Wysuwano jednak argumenty dotyczące niemożności dwukierunkowej (tzn. zarówno ciało → świadomość, jak i świadomość → ciało) relacji przyczynowo-skutkowej pomiędzy tymi bytami ze względu na ich całkowitą odmienność. Natura ewidentnych przecież przypadków wywierania wzajemnego wpływu pozostawałaby wobec tego tajemnicą, a "dualizm" ducha i materii prowadziłby do sprzeczności. Paralelizm rozwiązuje tę trudność postulując, że zjawiska materialne i mentalne zachodzą równolegle, natomiast teoria dwóch aspektów uważa je dwa odmienne przejawy jakiegoś trzeciego bytu. Pierwsza z tych koncepcji niczego jednak nie tłumaczy (a w szczególności tego, skąd się takie paralelne funkcjonowanie bierze), a zwolennikom drugiej przydałoby się wyostrzenie brzytwy Ockhama.

Rzecz w tym, iż cały problem został już od początku źle postawiony. Zapominamy, że to filozofia doprowadziła do tak drastycznego przeciwstawienia sobie wspomnianych bytów, nadając im

sens bezsprzecznie absolutny, co *de facto* należy uznać za równoważne produkcji hipostaz. Świadomość (mówiąc na marginesie, dotyczy to także materii) nie istnieje jako byt całkowicie autonomiczny, w znaczeniu przypisywanym jej przez filozofów. W pewnym sensie sprowadza się ona po prostu do przejawu funkcjonowania mózgu, tak jak huk jest przejawem spadania masy wody w wodospadzie. Relacja przyczynowa, o ile w ogóle da się tu sensownie używać tego terminu, jest w danym wypadku jednokierunkowa i zachodzi od mózgu do świadomości - świadomość w najlepszym razie towarzyszy neurofizjologicznej aktywności mózgu, jest jej "produktem ubocznym". Podobnie, o ile stwierdzenie, że wodospad stanowi przyczynę huku wydaje się w miarę rozsądne, to przyczynowe oddziaływanie huku na wodospad jawi się jako zupełny nonsens. Przedstawiony tutaj pogląd ma wiele wspólnego z filozoficzną koncepcją zwaną epifenomenalizmem. Przemawia za nim fakt, że dla wyjaśnienia podstaw zjawiska świadomości wystarczy w zasadzie sposób przewodzenia impulsów w obwodach neuronalnych plus pewne ogólne mechanizmy cybernetyczne. Zachodzi tu bliska analogia z fenomenem życia - duch w swej immanencji stanowi coś w rodzaju *vis vitalis* organizmów żywych, którą biologia dawno już uznała za pustą hipostazę. O ile jestem skłonny przyznać, że sensory psychiczne nie dadzą się sprowadzić do sensory biologicznych, to nie widzę potrzeby wyodrębniania świadomości (sfery mentalnej) jako jakiegoś absolutnego bytu.

Prezentowana tutaj koncepcja sfery mentalnej idzie niewątpliwie dalej niż epifenomenalizm, pokazuje bowiem w jaki sposób psychika i świadomość mogą być pochodną pewnych mechanizmów neurofizjologicznych funkcjonujących w naszym mózgu. Psychika w takim sensie zarówno jest, jak i nie jest sprowadzalna do zespołu procesów neurofizjologicznych, w jakim zjawisko życia zarówno jest, jak i nie jest sprowadzalne do zespołu procesów fizycznych.

Każdy proces w organizmie żywym to proces fizyczny. Jednocześnie pewien zespół tych procesów, charakterystyczny dla organizmów żywych tworzy coś, co wymyka się terminologii fizycznej. Powstają tu cele i sensory nie przysługujące martwej materii. Pytanie o to, czy owe cele i sensory, a zatem i wyróżniona istota życia, stanowią "obiektywny" element świata, czy "subiektywną" kategorię naszego umysłu, nie ma sensu. Musi ono pozostać bez odpowiedzi. Zresztą, nawet w najbardziej ścisłej nauce przyrodniczej, jaką jest fizyka, coraz wyraźniej zaciera się granica pomiędzy obiektywizmem i subiektywizmem. Na przykład, takie "obiektywne" pojęcia termodynamiki, jak informacja, stan makroskopowo wyróżniony czy strzałka czasu, stają się "subiektywne" z punktu widzenia "klasycznej" dynamiki. Nawet co do elementów świata fizycznego opisywanych przez dynamikę (rozumianą szeroko, łącznie z mechaniką kwantową i teorią względności), jak orbital, materia czy siła grawitacji, można mieć wątpliwości, czy naprawdę przysługuje im całkowicie "realne" istnienie, czy też są po prostu wygodnym sposobem kategoryzacji całego spektrum dostępnych nam fenomenów przez nasz umysł. Najbardziej chyba znanym przykładem subiektywizmu w fizyce jest indeterminizm mechaniki kwantowej wynikający z zasady nieoznaczoności Heisenberga.

Analogicznie do zależności pomiędzy poziomem biologicznym i poziomem fizycznym wygląda sprawa relacji poziomu psychicznego do poziomu biologicznego. Każdy proces psychiczny,

łącznie z tymi leżącymi u podstawy świadomości, to proces neurofizjologiczny. Jednakże, pewien zespół procesów neurofizjologicznych sprowadzający się do określonego wzoru krążenia impulsów w sieci neuronalnej, nabiera nowych sensów, nieobecnych na poziomie biologicznym. Schemat połączeń w sieci nerwowej oraz mechanizmy jej funkcjonowania determinują konotacyjną, a zarazem wrażliwo - asocjacyjną istotę sieci pojęciowej, będącej "treścią" psychiki. Oczywiście, nie każda możliwa do pomyślenia kombinacja impulsów nerwowych w mózgu ległaby u podłoża świadomości, tak jak nie każdy zestaw procesów fizycznych prowadziłby do utworzenia systemu żywego. Dlatego zasadniczą kwestią staje się, jak świadomość ulega wyłonieniu się świadomości z poziomu biologicznego, jaki rodzaj struktury i funkcjonowania obwodów neuronalnych za to odpowiada. Zgodnie z prezentowaną tu koncepcją, ogólna odpowiedź na to pytanie w przypadku korzeni świadomości jest taka sama, jak w przypadku korzeni życia: relacja samostostosowalności.

Generalnie rzecz biorąc, nowy rodzaj sensów (celów) pojawia się (może się pojawić), kiedy jakiś układ zostaje nakierowany na samego siebie. W przypadku osobników biologicznych to nakierowanie na siebie przejawia się jako dążność danej "tożsamości" biologicznej do zachowania i rozprzestrzenienia samej siebie. W zasadzie, sama istota owej tożsamości zasadza się na pędzie do autopowielania. Tym samym, utrzymanie wartości tego "parametru", jakim jest tożsamość, na stałym poziomie staje się sensem, celem "samym w sobie". Pamiętamy, iż mechanizm zapewniający utrzymanie wartości jakiegoś parametru na stałym poziomie nazywamy sprzężeniem zwrotnym ujemnym. Nieprzypadkowo zresztą cybernetyka określa układy obdarzone sprzężeniem zwrotnym ujemnym mianem "układów dążnościowych". Można do nich zaliczyć chociażby termostat. Otóż w przypadku życia relacja samostostosowalności polega na tym, że adekwatny "parametr" (którym jest tożsamość danego osobnika) zmierza do utrzymania stałej wartości samego siebie!

Natomiast o świadomości możemy mówić od momentu, kiedy ukształtowany w obrębie mózgu obraz świata, mający służyć jako odnośnik i segregator dla bodźców percepowanych ze świata, zaczyna także "percepować" samego siebie. Pojęcie "obraz świata" traktuję przy tym tutaj w sensie całkowicie instrumentalnym (apsychoicznym), czyli jako pewien odpowiednio obrobiony i zintegrowany zespół wcześniej doznanych doświadczeń (wrażeń), służący właśnie za odnośnik oraz interpretator dla wrażeń przyszłych (pojęciu temu nie przypisuję więc w żadnym razie statusu jakiegoś odmiennego kategorialnie bytu). W ten sposób obraz staje się "świadomy swego własnego istnienia". Doprowadziło to do pojawienia się sensów psychicznych, zupełnie obcych poziomowi fizycznemu i biologicznemu - o istnieniu tych sensów nikogo chyba nie muszę przekonywać. I to już właściwie wszystko, co da się najbardziej ogólnie powiedzieć i istocie "ducha" lub świadomości.

Problem relacji ducha do materii wziął się więc, zgodnie z powiedzianym powyżej, tylko i wyłącznie z pomieszania pojęć, z nadania im pewnych dowolnych i "absolutystycznych" znaczeń bez uwzględnienia tego, co współczesna nauka ma już (lub będzie miała w niezbyt odległej przyszłości) w tym temacie do powiedzenia. Całkowicie autonomiczna świadomość jest bytem zbędnym w rozumieniu brzytwy Ockhama. Rodzi to jednak kolejny problem. Brak oddziaływania "przyczynowego"



świadomości (ducha) na ciało przywołuje automatycznie kwestię istnienia wolnej woli. Jednakże, po pobieżnej nawet analizie wnet dochodzimy do wniosku, że wolna wola w znaczeniu sformułowanym przez filozofię nie to, że nie istnieje, ale jest pojęciem wewnątrznie sprzecznym, któremu nic sensownego nie może odpowiadać. Niestety, ale wytwarzanie sztucznych problemów stanowi jeden z grzechów głównych filozofii - co więcej, jest ono istotnym elementem natury filozofii w ogóle. Myślę, że do takiego stanowiska uprawnia mnie umowność i pozorność większości problemów filozoficznych, przejawiająca się w tworzeniu hipostaz, sporach o zakresy terminologiczne raczej niż o odpowiadające tym terminom sensy, czy w całkowicie dowolnym przenoszeniu pojęć z ich naturalnego otoczenia w inne, gdzie, kryjąc się wciąż pod tą samą nazwą językową, stają się one właściwie odmiennymi pojęciami. Jako przykład tego ostatniego zjawiska można przytoczyć dosyć znane pytanie o to, czy matematyka jest tworzona, czy też odkrywana. Twierdzą, że problem znika w momencie, kiedy uświadomimy sobie, że tworzenie i odkrywanie znaczy w matematyce coś innego, niż tworzenie dzieł sztuki, względnie odkrywanie nowych łądów.

"Paradygmat" sieci pojęciowej może ukazać w nowym świetle takie problemy, jak kwestia istnienia bytów ogólnych. Filozofowie już to przyznawali tym bytom status "obiektów" równie rzeczywistych, jak byty indywidualne, już to odmawiali im jakiegokolwiek realnego istnienia, już to uznawali je za swego rodzaju konwencje, pozwalające w sposób wygodny opisywać rzeczywistość. Tymczasem, problem upada w sposób zupełnie naturalny i automatyczny na poziomie sieci pojęciowej. Pojęcia odpowiadające bytom ogólnym nie różnią się niczym zasadniczym od innych pojęć i w podobny sposób też powstają. Należą one oczywiście raczej do pojęć wtórnych, niż pierwotnych, o ich istocie stanowi więc, w dużej mierze, sposób przetwarzania i asocjacji sygnałów przez mózg na wyższych poziomach integracji. Tak jednak, jak wszystkie inne pojęcia, znaczą one przez konotację, a człowiek dochodzi do ich "posiadania" stopniowo, w czasie swojego rozwoju osobniczego, przyswajając na zasadzie indukcji powtarzające się zespoły wrażeń zmysłowych lub pojęć. Mówienie o "istnieniu" bytów ogólnych w sposób inny, niż jak o istnieniu pojęć odpowiadających tym bytom, wydaje mi się być jałowe i pozbawione sensu. Zresztą, ścisłego rozgraniczenia na pojęcia "ogólne" oraz "indywidualne" nie daje się do końca przeprowadzić - w "ostatniej instancji" następuje zupełne spłaszczenie hierarchii ogólności pojęć i wszystkie pojęcia stają się po prostu równoprawnymi elementami sieci pojęciowej.

\* \* \*

Mówiąc o istocie świadomości, nie sposób nie wspomnieć, choćby pobieżnie, o modnym ostatnio temacie sztucznej inteligencji (ang. artificial intelligence - AI). Sfera ta, jak każda dziedzina filozofii, której brakuje solidnego oparcia w faktach, pełna jest niedomówień i skrajnych uproszczeń. Zasadniczy problem polega tu na tym, czy sztuczny układ elektroniczny przetwarzający informację, coś na kształt komputera, może posiadać psychikę i świadomość.

Negatywnej odpowiedzi na to pytanie udziela Searle, odwołując się do myślowego eksperymentu noszącego nazwę "chińskiego pokoju". Punkt odniesienia stanowi tu tzw. test Turinga, polegający na tym, że człowiek porozumiewając się, poprzez system pytań i odpowiedzi, z czymś, czego nie widzi, bo na przykład to coś znajduje się w innym pokoju, ma stwierdzić, czy jego "rozmówcą" jest inny człowiek, czy też komputer. Komunikacja może odbywać się na przykład za pomocą zapisanych kartek papieru, przekazywanych z jednego pokoju do drugiego. Jeżeli nasz rozmówca, komunikując się z komputerem, nie potrafiłby jednoznacznie odróżnić, czy ma do czynienia z człowiekiem, czy z komputerem, świadczyłoby to o posiadaniu przez ten komputer świadomości.

W "chińskim pokoju" Searle'a znajdowałaby się zamiast komputera (ale jako jego odpowiednik) grupa Chińczyków nie znających języka angielskiego, ale otrzymująca karteczki z pytaniami po angielsku. Chińczycy owi dostarczaliby odpowiedzi na te pytania, operując zestawem instrukcji w języku chińskim, określających zespół czysto mechanicznych reguł, jak angielskie pytania przekształcać w angielskie odpowiedzi (jak sekwencję słów w pytaniu "przełożyć" na sensowną sekwencję wyrazów w odpowiedzi). Jeżeli taki zespół reguł byłby dostatecznie bogaty, grupa Chińczyków przeszłaby test Turinga (zostałaby uznana za układ świadomy), chociaż w najmniejszym stopniu nie rozumiałaby ani otrzymywanych pytań, ani dawanych odpowiedzi. Świadczyć by to miało o tym, że komputer, którego działanie także polega przecież tylko na mechanicznym przekształcaniu danych wedle dostarczonych zasad, nie może posiadać świadomości.

Analogia "chińskiego pokoju" jest niewątpliwie bałamutna, albowiem wprowadzenie na miejsce zespołu procesorów w komputerze - grupę Chińczyków, obdarzonych przecież (co prawda nie rozumiejącą angielskiego) świadomością, stwarza tylko niepotrzebną komplikację, zaciemniając obraz, a nie wnosząc przy tym zupełnie nic nowego. Zarówno bowiem grupa nie będących poliglotami Chińczyków, jak i mikroprocesory w komputerze czy też komórki nerwowe w ludzkim mózgu to taki sam zespół elementów przetwarzających informację wedle z góry zadanych reguł, a zatem w pojedynkę z pewnością nie "rozumiejących" tego, co robią. Zarówno mózg, jak i komputer funkcjonują jedynie w oparciu o działanie takich elementów (chyba, że wierzymy w duszę, która odróżnia człowieka od komputera, ale wtedy wszelka dyskusja się urywa). Mózg jakoś sobie "radzi" z wytworzeniem świadomości na bazie wspomnianych elementów, dlaczego więc nie miałby być do tego zdolny komputer?

Sedno problemu leży w stopniu, a przede wszystkim w rodzaju skomplikowania systemu połączonych ze sobą funkcjonalnie elementów składowych, niezbędnego do wytworzenia świadomości. Searle pokazał jedynie, że pewien rodzaj prostych systemów operujących wedle formalnych reguł nie może posiadać psychiki, ale wniosek ten wydaje się być oczywistym aż do trywialności.

Na czym więc miałyby polegać ów rodzaj skomplikowania, brakujący obecnym komputerom, leżący zaś u podstaw świadomości w naszym mózgu? Oczywiście, przy obecnym stanie wiedzy, trudno by udzielić wyczerpującej odpowiedzi na to pytanie. Większości warunków, które musiałyby być spełnione, zapewne nawet nie przeczuwamy. Na podstawie tego jednak, co dotychczas powiedziałem na temat świadomości, możnaby się pokusić o nakreślenie przynajmniej niektórych aspektów dotyczących sedna (sztucznej) inteligencji.

Za istotę świadomości ludzkiej uznałem cechę samostosowalności, autonakierowania ośrodka poznawczego w mózgu człowieka na samego siebie. Cecha ta powinna zatem dotyczyć także "świadomego" komputera, a zatem jakieś jego podzespoły przetwarzające informację otrzymywaną na wejściu i tworzące na jej podstawie swego rodzaju "obraz świata zewnętrznego", musiałyby także zbierać sygnały pochodzące od nich samych. Pierwej jednak, nim obraz taki nakieruje się na samego siebie, trzeba go w jakiś sposób utworzyć. Komputer powinien zatem posiadać jakiś zespół receptorów, odbierających sygnały ze świata zewnętrznego, "ośrodki" służące do integracji tych sygnałów, podzespoły pamięci umożliwiające gromadzenie danych oraz efekторы, czyli urządzenia wykonawcze, pozwalające na wykorzystanie posiadanego obrazu świata do jakichś celów. Bardzo dobrze widziana byłaby także możliwość uczenia się metodą prób i błędów, pozwalająca na testowanie adekwatności przyswojonych reguł "zachowania" do realiów otoczenia. Pamięć winna mieć charakter konotacyjny, relacyjny, nie zaś liniowy, jak w przypadku zapisu na dysku lub taśmie magnetycznej. Dotyczy to zresztą całej struktury połączeń pomiędzy podzespołami komputera. Nie od rzeczy byłoby także postawić przed takim "elektronicznym mózgiem" zadanie własnego przetrwania w skomplikowanych warunkach otoczenia, tak aby wyrobić w nim odpowiednik "ego", najlepiej podłączonego z jednej strony do "ośrodka" nagrody ("przyjemności"), z drugiej zaś - do "ośrodka" kary ("ból").

Obecnie istniejące komputery "myślą" językowo, w sposób skwantowany. Ich działanie opiera się na operowaniu ciągami dyskretnych symboli. Z drugiej strony, działanie mózgu odbywa się zasadniczo w warstwie pojęciowej, głębszej w tym przypadku, niż warstwa językowa. W przeciwieństwie do nazw (symboli) językowych, pojęcia są ciągłe w tym sensie, w jakim ciągłe są plamy na fotografii. Jeżeli pojedyncze ziarna na zdjęciu fotograficznym są tak drobne, że rozdzielczość wzroku jest za mała, aby je zarejestrować, to mamy wrażenie ciągłości obrazu. W niniejszej analogii ziarnom odpowiadają neurony (a właściwie – synapsy łączące aksony i dendryty). Chociaż same neurony (synapsy) są oczywiście dyskretne, to na poziomie makroskopowym, na który składają się miliony komórek nerwowych, sieć neuronalną możemy traktować jako twór ciągły. Pojęcia w naszej świadomości funkcjonują właśnie na owym makroskopowym poziomie (nie zaś na poziomie pojedynczego neuronu), zaś nazwy językowe, jako twory wtórne w stosunku do pojęć, znajdują się jeszcze o piętro wyżej. Nazwy językowe nie są tu zatem w żadnej mierze elementami podstawowymi, tak jak we współczesnych komputerach (opartych na językach binarnych i wyższego rzędu), lecz złożonymi tworami, stanowiącymi jedynie etykiety dla leżących u ich podstawy i znaczących w sposób konotacyjny pojęć. "Myślący" komputer zatem powinien operować przede

wszystkim na poziomie ciągłej, konotacyjnej sieci pojęciowej, nie zaś na poziomie liniowych, dyskretnych "zdań" języka maszynowego. Sam język to bowiem jedynie system uporządkowanych wedle jakiejś składni gramatycznej znaków, bez podszewki pojęciowej pozbawionych jakiegokolwiek "immanentnego" (nie nadanego z zewnątrz) znaczenia. Nie dziw, że prosty i skwantowany system reguł formalnych, którymi posługiwali się Chińczycy Searle'a, nic nie "rozumiał".

Ujmując rzecz jeszcze inaczej, w (obecnym) komputerze jeden podstawowy element struktury odpowiada za jedną elementarną funkcję, podczas gdy w wypadku sieci pojęciowej, jej najbardziej elementarne działanie odbywa się na znacznie wyższym poziomie integracji, niż funkcja pojedynczego neuronu, może zatem być procesem "ciągłym". Poza tym, komputer budujemy wedle z góry zadanego planu, przyporządkowując mu pewne funkcje w sposób denotacyjny. Urządzenie to realizuje narzucone mu zadanie przetwarzania pewnych bodźców na wejściu na pewne sygnały na wyjściu, i jako takie z konieczności pozostaje apsyche. Sieć pojęciowa, z drugiej strony, rozwija się wedle własnych, początkowo warunkowanych czysto biologicznie celów, bez żadnego zewnętrznego planu. Jej ewolucja polega na budowaniu znaczeń w oparciu o znaczenia już istniejące, co skazuje ją na konotacyjność.

Podsumowując w wielkim skrócie, obecnym komputerom brakuje do osiągnięcia świadomości przede wszystkim: 1. Nakierowanego na samego siebie ośrodka "poznawczego" oraz 2. Konotacyjnej warstwy pojęć leżącej pod warstwą językową.

\* \* \*

Na potrzeby tej książki rzeczywistość podzieliłem na trzy główne warstwy czy poziomy: fizyczny, biologiczny i psychiczno-kulturowy. Chciałbym się jednakże stanowczo odżegnać od jakiegokolwiek absolutyzacji tego podziału - ma on za zadanie próbę płodnego heurystycznie opisu świata, nie zaś mnożenie ponad potrzebę całkowicie autonomicznych bytów, pomiędzy którymi jakakolwiek łączność (tak jak relacja ducha do materii) pozostawałaby zupełną zagadką. Wprowadzona kategorializacja, jak każda tego rodzaju, z konieczności musi być w pewnej mierze arbitralna i nieostra, tym bardziej, że sam kładę szczególny nacisk na pokazanie, jak poszczególne poziomy wyłaniają się jeden z drugiego. Mimo tych zastrzeżeń, chciałbym wierzyć, że dysponuję w miarę obiektywnym kryterium wyróżnienia tych poziomów, pozwalającym mi na uniknięcie całkowitej dowolności i produkcji bezpłodnych hipostaz. Tym kryterium jest rodzaj sensów (celów) funkcjonujących na poszczególnych poziomach. Z tego bowiem, co napisałam wcześniej, a co postaram się podsumować poniżej, każda z wymienionych warstw charakteryzuje się właściwym dla niej zestawem sensów, które da się dosyć ściśle zdefiniować, na przykład używając terminologii cybernetycznej.

Jeżeli sens określimy w kategoriach cybernetycznych, poziom fizyczny (zarówno cały Wszechświat, jak i każdy z jego elementów z osobna) nie ma sensu. Na poziomie tym nie występują bowiem żadne sprzężenia zwrotne ujemne, które wcześniej uznaliśmy za nieodłączny element

zachowania celowego. Za "sens" poziomu fizycznego da się jednak potraktować sam fakt istnienia Wszechświata. Jak wspominałem wcześniej, Wszechświat można, wybierając odpowiedni punkt widzenia, uznać za pewną formę bytowania nicości. Wydaje się, że wszelkie składniki naszego Universum, takie jak materia, energia i przestrzeń, dodane do siebie, dają w wyniku dokładnie zero. Jak o tym mówiłem w pierwszej części, poświęconej ewolucji fizycznej, dodatnia energia równoważna masie jest równa ujemnej energii potencjalnej związanej z grawitacją. Ujemna energia grawitacji bierze się z faktu odsunięcia rozmaitych mas od siebie. Odsunięcie zaś oznacza nic innego, jak pojawienie się przestrzeni pomiędzy ciałami obdarzonymi masą. Zatem, zgodnie z zasadą zachowania energii, zerowa energia nicości mogła ulec "rozszczerpieniu" tylko na pewną ilość energii dodatniej i, odpowiadającą jej co do wielkości, ilość energii ujemnej. Powstanie przestrzeni stanowi zatem drugie oblicze faktu powstania materii i odwrotnie - ani przestrzeń bez materii, ani materia bez przestrzeni nie może istnieć. Jeżeli jednak Wszechświat rzeczywiście stanowi sumarycznie jakąś formę nicości, to trzeba przyznać, iż jest to forma bardzo skomplikowana. W szczególności, Wszechświat zawiera ogromną ilość informacji o tym, w jaki sposób nicność uległa rozszepieniu. Decyduje to *de facto* o wszystkim, co istnieje: cząstkach elementarnych, atomach, gwiazdach, galaktykach, związkach chemicznych oraz organizmach żywych. I tę właśnie informację możemy, jeżeli chcemy, utożsamić z sensem fizycznej warstwy naszego świata. Z ludzkiego punktu widzenia jest to niewątpliwie bardzo mało - sens przejawiający się li tylko w zaistnieniu, w nie ukierunkowanej na nic, nie posiadającej żadnego celu, nagiej egzystencji. Przy tym nawet mówiąc o "egzystencji", dokonujemy pewnego nadużycia semantycznego, sugerujemy bowiem, że Wszechświat bytuje w czasie. Ale nasze Universum, rozpatrywane jako czterowymiarowa czasoprzestrzeń wcale nie bytuje w czasie (czas stanowi jej część, aspekt), ono po prostu jest. Czas zresztą w pewnym regionie czasoprzestrzeni, przez nasz aparat poznawczy wyróżnianym arbitralnie jako "początek Wszechświata", jest po prostu (jeżeli zgodzimy się z Hawkingiem) jeszcze jednym wymiarem przestrzennym, który dopiero w pewnej odległości od tego początku nabiera odmiennych właściwości i "wyłania się" jako wymiar czasowy w potocznym rozumieniu. Wszechświat po prostu istnieje i to jest jego sensem. Pytanie zaś, czy musiał on zaistnieć, czy też równie dobrze mogłoby go wcale nie być, należy uznać za całkowicie niedorzeczne. Dlatego Kosmosu w żadnym razie nie można uznać za twórcę intencjonalny, posiadający jakiegokolwiek usprawiedliwienia, cele czy sensy, poza wymienionym powyżej. Tego rodzaju cele i sensy pojawiają się dopiero na wyższych poziomach rzeczywistości: biologicznym i psychiczno-kulturowym, i nie mogą one działać "wstecz", na warstwę fizyczną. Jedynym bowiem, jak wspominałem przed chwilą, w miarę obiektywnym kryterium wyróżnienia wspomnianych poziomów rzeczywistości jest właśnie rodzaj funkcjonujących w obrębie każdego z nich sensów.

Pod względem cybernetycznym sens biologicznej warstwy rzeczywistości (życia, a ściślej – żywego osobnika) określiłem jako sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych podtrzymujących nadrzędne sprzężenie zwrotne dodatnie - potencjał ekspansji. Do zaistnienia, "ekspresji" tego sensu niezbędnych jest kilka elementów. Po pierwsze, układ "sensowny" w rozumieniu biologicznym

powinien posiadać swoją własną tożsamość, to znaczy różnić się od innych, podobnych układów, nie mówiąc już o innych "obiektach" obecnych w jego otoczeniu. Jest to jedną z przyczyn, dla których samonamnażających się (katalizujących swoją własną syntezę) molekuł chemicznych nie można uznać za ożywione - wszystkie one są jednakowe. Jako drugi warunek niezbędny do zaistnienia (sensu) żywego osobnika można wymienić obecność mechanizmów pozwalających na możliwość zachowania ciągłości tej tożsamości w czasie, poprzez produkcję (prawie) identycznego z samym sobą potomstwa (w przypadku organizmów rozmnażających się płciowo chodzi tu o istotny wkład swojej własnej tożsamości w kształtowanie tożsamości potomstwa). Wyklucza to z szeregu istot żywych polikatalony, które, choć posiadają swoją zrodzoną z przypadku tożsamość, to nie potrafią jej przekazać potomnym łańcuchom białkowym. Jak wspomniałem w drugiej części tej książki, mechanizmy prowadzące do zachowania tożsamości (jak kataliza wzajemnej syntezy przez białka i kwasy nukleinowe w hipercyklach, pozwalająca na zachowanie w czasie i przekazanie "potomstwu" sekwencji aminokwasów w jednych, a nukleotydów - w drugich) są w zasadzie identyczne z naczelnym sprzężeniem zwrotnym ujemnym, odpowiedzialnym za utrzymanie niezmienności w czasie pewnego złożonego „parametru”, tejże tożsamości właśnie. Sieć sprzężeń zwrotnych ujemnych, kolejna własność niezbędna do zaklasyfikowania czegoś jako układu żywego, najbardziej chyba kojarzy się nam intuicyjnie z czymś, co nazywamy działaniem celowym lub sensownym. W tym znaczeniu celowy jest komputer, robot lub nawet termostat w lodówce. Sens tych urządzeń nie jest jednak autonomiczny, jako że nie realizują one swoich własnych celów - celowość tych urządzeń określa tylko i wyłącznie ich przydatność dla człowieka. Wobec tego nie spełniają one ostatniego kryterium, nieodłącznie związanego z istotą układu żywego - brak im sprzężenia zwrotnego dodatniego, wyrażającego się potencjałem ekspansji. Z kolei, o ile tej ostatniej cechy można dopatrzeć się w przypadku prionów i kamieni w kamiennej lawinie, to jako kandydatów na twory żywe dyskwalifikuje je brak jakichkolwiek mechanizmów podtrzymujących tożsamość, a i sama tożsamość przybiera u nich formę szczątkową, wyrażającą się jedynie ruchem u kamieni i infekcyjną konformacją cząsteczki białka w przypadku prionów.

Układ posiadający tożsamość i obdarzony zarazem odpowiednim zespołem sprzężeń zwrotnych dodatnich i ujemnych, staje się automatycznie zdolnym do ewolucji osobnikiem żywym (ewoluonem). Jego tożsamość, ze względu na fizyczną naturę jej "nośnika" (wszak każdy organizm biologiczny jest także tworem fizycznym) może ulegać drobnym zmianom (mutacjom) na wskutek przypadkowych wpływów otoczenia. Owa nowa tożsamość, tak jak tożsamość "rodzicielska", będzie dążyła do swojej własnej ekspansji i, jeżeli okaże się "lepszą" (o czym zadecyduje szeroko pojęte otoczenie, czyli "warunki brzegowe"), może ona tę, zaistniałą siłą rzeczy, rywalizację o rozprzestrzenienie się wygrać. Oznacza to zastąpienie osobników o starej tożsamości osobnikami obdarzonymi nową identycznością. A to jest przecież ewolucja.

Definicja życia (osobnika żywego) jako układu sprzężeń zwrotnych ujemnych podporządkowanych sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu pozwala na dwie rzeczy. Po pierwsze, oddziela ona w miarę jasno i "obiektywnie" fenomen życia od świata nieożywionego. Po drugie, w

sposób naturalny łączy w jedno pojęcia życia, osobnika i ewolucji, pokazując, iż są one różnymi przejawami, aspektami czy obliczami tej samej rzeczy. W tym ujęciu, życie, osobnik i ewolucja wydają się być ze sobą nierozzerwalnie związane, implikując się nawzajem.

Najważniejszą jednak rolę przypisywałbym powyższej definicji w bezpośrednim unaocznieniu sensu i "celu" istnienia organizmów żywych. Organizmy te bowiem, tak jak stworzone przez nas urządzenia, intuicyjnie kojarzymy z zachowaniem celowym. O ile jednak wspomniane urządzenia służą naszym celom, to komu służą istoty żywe? Nikomu, a właściwie - samym sobie, ekspansji swojej własnej tożsamości. Nic więcej. Z naszego antropocentrycznego punktu widzenia bezrozumna ekspansja jako jedyny cel wielce skomplikowanej maszynierii życia wydaje się zdecydowanie odpychająca. Ale nie dosyć na tym. Na gorzką ironię zakrawa fakt, że nawet te organizmy sprzed milionów i miliardów lat, które odniosły "sukces ewolucyjny" (sprowadzający się do tego, że ich potomkowie zamieszkują obecnie kulę ziemską) utraciły swoją tożsamość w procesie ewolucji - obecnie żyjące gatunki, w ich liczbie Homo sapiens, bardzo się różnią od swoich odległych przodków. Nawet zatem kryterium zachowania tożsamości wydaje się zbyt "mocne" - w jego osłabionej wersji pozostaje jedynie ciągłość zmiany tożsamości w czasie. (To trochę tak, jak z identycznością psychiki (świadomości) ludzkiej. Choć ulega ona daleko idącym zmianom w ciągu całego naszego życia od urodzin aż do śmierci, to ciągłość tych zmian decyduje o tym, że w przypadku człowieka mamy wciąż do czynienia z jedną i tą samą osobą. Z analogicznych względów nie byłby tą samą osobą jakiś człowiek i rozumny robot, którego ten człowiek zbudowałby na swój "obraz i podobieństwo", mimo, że "psychika" mniemanego robota mniej różniłaby się od aktualnej psychiki swego twórcy, niż niż ta ostatnia od swej poprzedniczki sprzed dziesięciu lat). Nie można oczywiście mówić o kompletnej zagładzie tożsamości przodka, co sprowadzałoby się do zerwania "łączości" pomiędzy nią a tożsamościami jego potomków - przebieg ewolucji, który doprowadził do pojawienia się tego przodka, bardzo ogranicza, "kanalizuje" zakres wyboru dróg ewolucyjnych, jakie ma on przed sobą i z pomiędzy których może wybierać. Jest to równoważne z ustanowieniem pewnego zakresu możliwych form, jakie mogliby przybrać jego potomkowie. Z drugiej strony, ten zakres jest mimo wszystko olbrzymi, a podobieństwo potomka do przodka często niedostrzegalne makroskopowo (jeszcze najprędzej jakiegokolwiek pokrewieństwo da się wysledzić na poziomie biochemicznym). Trudno sobie wyobrazić jakąś rybę trzonopłetwą z paleozoiku, patrzącą na nas z matczyną czułością, albo też doszukiwać się śladów tożsamości z jednokomórkową amebą - naszym jeszcze odleglejszym antenatem. Sens zjawiska życia, rozpatrywany przez pryzmat sensów kulturowych, jest bardzo ulotny, jeśli nie zgoła całkiem "bezsensowny".

Podobnie wygląda życie z poziomu fizycznego. Tutaj organizmy biologiczne są po prostu zespołem procesów fizykochemicznych, sprowadzających się do wzajemnego oddziaływania atomów i cząsteczek. Oddziaływania te niczym zasadniczym się nie różnią od zjawisk zachodzących w skale, wodzie, atmosferze czy środku Słońca. O istocie życia nie stanowi także z pewnością jego budulec:

białka, kwasy nukleinowe i inne substancje organiczne. Mogą one bowiem istnieć poza organizmami żywymi, a z drugiej strony do wyobrażenia są żywe ustroje zbudowane z nieco innych związków<sup>78</sup>. Także skomplikowana struktura organizmów żywych nie jest bardziej celowa, niż inne, prostsze struktury dyssypatywne (w ich liczbie parokrotnie już wspomniane prądy konwekcyjne), "służące" jedynie efektywnemu rozpraszaniu energii, tak jak grawitacja "służy" przyciąganiu ciał obdarzonych masą. Nie ma w tym nic z teleologizmu. W terminach czysto fizycznych organizmy biologiczne nie mogą być w żaden sposób wyodrębnione lub zdefiniowane - potrzebne są jeszcze pojęcia cybernetyczne. Zresztą sama fizyka nie jest pod tym względem spójna i samowystarczalna - w obrębie klasycznej dynamiki, czy to w wydaniu z teorii względności, czy też z mechaniki kwantowej, nie da się wyprowadzić fenomenu strzałki czasu, pojawiającego się w termodynamice. Podobnie, w języku fizyki nie da się sformułować idei życia, osobnika lub ewolucji biologicznej. Zjawisko życia jest zatem "sensowne" tylko i wyłącznie w kontekście mechanizmów cybernetycznych funkcjonujących na poziomie biologicznym i tylko w tych mechanizmach zawiera się jego istota.

Sensy psychiczno-kulturowe są odmiennej natury, niż sensy biologiczne. Ich wspólną cechą stanowi to, że, tak jak te ostatnie nie dadzą się wyrazić w języku fizyki, tak istota sensów psychiczno-kulturowych całkowicie wymyka się terminologii biologicznej.

Zacznę od sensów psychicznych. Nie będąc tożsame z sensami biologicznymi, niewątpliwie powstały na ich bazie. Mózg bowiem, "nosiciel" psychiki, został ukształtowany w procesie ewolucji jako organ spełniający ważne funkcje biologiczne. Zapewniał on, wraz z obwodowym układem nerwowym i całym systemem narządów zmysłów, adekwatne reagowanie na zmiany zachodzące w środowisku. Ta funkcja nie stanowi jednak wyłącznie domeny mózgu. Realizują ją także (oczywiście, w znacznie mniej złożony sposób) nawet najprostsze, zdecentralizowane (pozbawione skupisk komórek nerwowych) sieci neuronalne, takie, jaka występuje u stułbi (Hydra). Co więcej, do reakcji na zmiany środowiska (a więc do zachowania celowego biologicznie) zdolne są także "sieci" biochemiczne. U bakterii, na przykład, pojawienie się w otoczeniu nowego rodzaju cukru (np. laktozy) powoduje uczynienie genów odpowiedzialnych za produkcję enzymów składających się na szlak rozkładu tego cukru (szczegółowe mechanizmy tłumaczy teoria operonu). Sposób działania mózgu jest oczywiście o wiele bardziej wyspecjalizowany i zróżnicowany, a obraz świata zewnętrznego utworzony w jego obrębie daleko przerasta swym bogactwem "obraz świata" sieci biochemicznej, sprowadzający się do adekwatnego reagowania na niektóre aspekty rzeczywistości, istotne dla przeżycia. Nie zmienia to faktu, że jak na razie, z punktu widzenia cybernetycznego, mózgu i bakterii

---

<sup>78</sup>Prawdopodobne jest natomiast, że musiały to być związki organiczne (zawierające wiązania węgiel-węgiel i węgiel-wodór), jako jedyne oferujące dostatecznie bogatą sieć połączeń, aby stać się zaczątkiem bardziej skomplikowanej struktury i funkcji. Niemniej jednak dotyczy to tylko życia powstałego w sposób spontaniczny. Jeżeli kiedykolwiek uda nam się skonstruować (z rozmysłem lub przypadkiem) zdolne do samopowielania się i ewolucji roboty, realizujące swój własny cel - niepohamowanej ekspansji (chwilowo możliwość ta jest tylko, na szczęście, domeną science fiction), to niewątpliwie staną się one organizmami żywymi – porównaj książkę "Niezwykły" Stanisława Lema.



nie dzieli żadna wyraźna kategorialna różnica. Zarówno bowiem mózg (sieć neuronalna), jak też sieć biochemiczna (należałoby właściwie powiedzieć: biochemiczno-genetyczna) u bakterii to pewien podzespół sprzężeń zwrotnych ujemnych, realizujący, wraz z innymi podzespołami, nadrzędny cel całego osobnika - ekspansję. Obraz świata w mózgu, "wyposażonym" przecież w tak doskonałe aparaty percepcji i wstępnej obróbki bodźców zmysłowych, jak oko i ucho, może być niesamowicie złożony i uwzględniać ogromną liczbę aspektów tego świata. Ale ciągle jeszcze nie ma tu miejsca na świadomość, a tym samym na nowe kategorialnie sensory. Doskonalenie i komplikacja aparatu poznawczego nie wystarczy - potrzebne jest jeszcze coś.

Uważam, że to "coś" da się w zasadzie sprowadzić do nakierowania owego aparatu poznawczego na samego siebie. Jest to równoważne z utworzeniem w obrębie tego aparatu nie tylko obrazu świata zewnętrznego, ale także obrazu siebie samego, lub, jeszcze inaczej, odwzorowanie obrazu świata w jakąś część, fragment tegoż obrazu. Ten bardzo prosty mechanizm cybernetyczny w języku logiki można wyrazić jako relacja samostosowalności (*notabene*, na tej relacji opiera się także paradoks kłamcy, antynomia klas Russella, dowód Gödla lub fakt, że pojęcie także jest pojęciem - to ostatnie nie pozostaje bez związku z zaproponowaną przeze mnie naturą świadomości). Za pewną, ale dosyć odległą analogię, może tu służyć makietą jakiegoś miasta ukokowana na kamiennej płycie, położonej na rynku tego miasta. Na owej makiecie, oprócz przebiegu ulic, położenia placów i lokalizacji poszczególnych budynków, znajdziemy również malutki model samej makiety. Jeżeli makietą byłaby doskonała, ów ciąg makiet w makiecie można by prowadzić w nieskończoność.

Jak wiemy, mózg zbudowany jest z komórek nerwowych, zdolnych do przewodzenia pobudzeń elektrycznych. Dotyczy to także funkcjonalnego ośrodka w tym mózgu, odpowiadającego za "wyższe czynności poznawcze". Ośrodek ten odbiera (wstępnie obrabione) bodźce z receptorów zmysłowych i na bieżąco konfrontuje je z różnymi obszarami pamięci, czyli już posiadany przez mózg obrazem świata. Może to oczywiście prowadzić do dalszej rozbudowy tego obrazu. Jeżeli teraz z jakichś powodów pewne komórki nerwowe wchodzące w skład omawianego ośrodka połączą swoje wypustki odbierające sygnały (dendryty) z wypustkami wyprowadzającymi sygnały (aksonami) neuronów należących do tego samego ośrodka (być może nawet ze swoimi własnymi aksonami), zamiast, jak dotychczas, z aksonami komórek dostarczających bodźce od receptorów, to stanie się rzecz dziwna. Obraz "ośrodka poznawczego" zostanie odwzorowany w nim samym i w tym sensie uzyska świadomość swojego własnego istnienia, swojej własnej tożsamości. Odwzorowywanie to będzie oczywiście przebiegało ciągle, z częstotliwością odpowiadającą czasowi obiegnięcia przez bodziec nerwowy zamkniętej pętli (ten okres obiegu odpowiadałby najkrótszej, "atomowej" chwili czasowej percepcyjnej przez świadomość). Skutkiem stanie się "samopowielanie się" tożsamości tego obrazu. Dlatego też jestem skłonny do utożsamienia tej ciągłej projekcji obrazu świata w samego siebie ze świadomością.

Czy świadomość powstała przypadkiem? W jakimś sensie na pewno tak - jako mutacja (mutacje) w genach regulatorowych, sterujących procesami rozwojowymi mózgu. Niewykluczone jest

jednak, że, raz powstawszy, okazała się ona korzystna dla posiadającego ją organizmu. Być może więc jej rozwój był premiowany ze względów czysto biologicznych, jako zapewniający "nosicielowi" świadomości sukces ewolucyjny (uważam przy tym, że "wyłanianie" się świadomości było procesem stopniowym, i że jej zaczątki posiadają współczesne szympansy czy delfiny). Nie zmienia to jednak faktu, że wraz z powstaniem świadomości pojawiła się nowa kategoria sensów, jakościowo odmienna od sensów biologicznych. Osobnik biologiczny stał się także osobnikiem psychicznym, a ich cele niekiedy musiały się odtąd pokrywać. Tożsamość psychiczna nie jest bowiem tym samym, co tożsamość biologiczna i jeżeli każda z nich będzie dążyć przede wszystkim do zachowania i ekspansji samej siebie, to może dojść pomiędzy nimi do konfliktu interesów.

Zaproponowany przeze mnie prosty mechanizm cybernetyczny zaistnienia świadomości, sprowadzający się do nakierowania aparatu poznawczego na samego siebie, nie jest czystą spekulacją, w rodzaju tych, które uważam za grzech tradycyjnej filozofii. Hipoteza ta jest bowiem, przynajmniej w zasadzie, falsyfikowalna. Implikuje ona, że w ośrodku ludzkiego mózgu (będącym "siedliskiem" świadomości), odpowiedzialnym za asocjację i integrację "najwyższego stopnia" sygnałów pochodzących od narządów zmysłów i z rozmaitych obszarów pamięci, przynajmniej niektóre obwody neuronalne odbierają sygnały także od samych siebie. Fakt ten może być odrzucony lub potwierdzony eksperymentalnie. Być może jest to kwestia odległej przyszłości. Na razie musi jednak zastanawiać fakt, że ta sama relacja nakierowania na samego siebie (samostosowalności) raz już doprowadziła do powstania odmiennych kategoriale sensów. Przecież autokataliza związków organicznych, a później samonamnażanie się organizmów żywych, to nic innego, jak wspomniana przed chwilą relacja. Autopowielająca się, zapewniająca ciągłość swego trwania w czasie tożsamość - czy nie kojarzy się to niepokojąco blisko z poczuciem samoświadomości?.

W momencie powstania świadomości wszystkie elementy ukształtowanego w obrębie mózgu obrazu świata nabierają sensu psychicznego, a nie, jak dotychczas, jedynie biologicznego. Od tej pory obraz ten nie tylko istnieje, ale także istnieje ze względu na coś. Tym intencjonalnym czynnikiem, "wartościującym" poszczególne elementy obrazu, jest właśnie świadomość, "dbająca" o zachowanie ciągłości własnej tożsamości w czasie. Obraz świata staje się czymś więcej, niż zespołem znaczeń czysto instrumentalnych, pozwalającym na możliwie sprawne funkcjonowanie w otaczającej rzeczywistości - on nabiera sensu. Sens ten nie dotyczy już człowieka jako istoty biologicznej, której jedynym zadaniem jest przeżyć i pozostawić potomstwo, lecz podmiotu psychicznego, niesprowadzalnego po prostu do systemu "celów" ewolucji biologicznej. Świadczy o tym wczesne powstawanie w społeczeństwach pierwotnych religii, magii i sztuki, które z pewnością zaspokajają psychiczne, nie zaś tylko biologiczne potrzeby człowieka.

Jako że człowiek jest istotą społeczną, będąc osobnikiem psychicznym staje się on jednocześnie osobnikiem kulturowym. Zgodnie z zaproponowaną wcześniej koncepcją, osobnik kulturowy to także, w analogii do osobnika biologicznego, "samopowielająca się", dążąca do ekspansji, zachowująca ciągłość swego trwania w czasie tożsamość. W przeciwieństwie do poziomu

biologicznego, chodzi tu jednak o tożsamość psychiczną, a nie biologiczną. Rola człowieka, jako członka społeczeństwa i kultury, opiera się przede wszystkim na tym, że zachowuje on swoją identyczność. Ludzie w społeczeństwie nie są wymienni, tak jak robotnice mrówek w mrowisku, i to bynajmniej nie ze względu na różnice genetyczne (a więc biologiczne). W społeczeństwie istotne jest przecież, że to akurat ten mężczyzna jest mężem danej kobiety, a nie identyczny z nim pod względem genetycznym bliźniak jednojajowy (z punktu widzenia biologicznego nie stanowiłoby to żadnej różnicy). Tożsamość psychiczną należy zatem rozpatrywać jako coś z pewnością odmiennego od tożsamości biologiczno-ewolucyjnej.

Wobec tak wyróżnionej roli tożsamości psychicznej, rzeczą zasadniczą staje się jej zachowanie w czasie oraz, w miarę możliwości, rozszerzenie zasięgu oddziaływania tej tożsamości, rozpowszechnienie jej elementów pośród członków danej społeczności. Owa "ekspansja" może przybierać rozmaite formy. W najprostszym przypadku realizuje się ona poprzez kontakt z innymi członkami społeczeństwa, wychowanie dzieci, głoszenie swoich przekonań itp. Jej bardziej "wysublimowane" przejawy to działalność naukowa, literacka lub artystyczna. Wreszcie, w skrajnych przypadkach, wyraża się ona w dążeniu do sławy lub władzy. Rzutowanie tożsamości poszczególnych członków społeczności na jej całość prowadzi do ustalenia się pewnego systemu sensów kulturowych.

Jak argumentowałem wyżej, sensory kulturowe rodzą się właściwie z przypadku. Jednakże o tym, które sensory zostaną utrwalone, decyduje w głównej mierze to, czy ekspansja psychik będących "nosicielami" tych sensów jest silniejsza, niż ekspansja psychik uznających sensory "konkurencyjne". Jest to zatem coś w rodzaju "doboru naturalnego" sensów kulturowych, a więc procesu analogicznego, choć zachodzącego na innym poziomie, do ewolucji biologicznej. Spróbuję teraz przeanalizować tę analogię bardziej szczegółowo.

Nie ulega chyba wątpliwości, że poszczególne psychiki różnią się pomiędzy sobą. Różnice te sprowadzają się, między innymi, do odmiennych obrazów świata oraz zespołów sensów kulturowych. W "nabywaniu" sensów kulturowych przez danego człowieka nieznaczną tylko rolę odgrywają wrodzone predyspozycje genetyczne. Możliwość, że Murzyn urodzony i wychowany w społeczeństwie katolickim przyjmie wiarę w Chrystusa jest obciążona znacznie większym prawdopodobieństwem niż jej alternatywa, że powróci on do religii przodków, szczególnie, jeżeli nikt go nie poinformuje o "istnieniu" Mzimu. Wydaje się zatem oczywiste, że ogromna większość sensów kulturowych "dziedziczy się" za pośrednictwem przekazu kulturowego, nie zaś kanałem biologicznym. Ze względu jednak na zróżnicowanie tych sensów, ich przekazywanie "z pokolenia na pokolenie" nie wydaje się bynajmniej sprawą zdeterminowaną. Niewątpliwie, w procesie tym ogromną rolę odgrywają rodzice, szkoła itd.. Jednakże, szczególnie we współczesnych cywilizacjach Zachodu, człowiek wystawiony jest na ogromną różnorodność "propozycji" sensów kulturowych, pomiędzy którymi może wybierać. Możliwość taka, chociaż przypuszczalnie w o wiele bardziej ograniczonym zakresie, istniała we wszystkich kulturach od powstania ziemskiej cywilizacji.

Jak na razie, ograniczyłem się tylko do sensów przejmowanych przez danego człowieka od innych ludzi. Człowiek jednakże jest, przynajmniej potencjalnie, efektywnym generatorem nowych sensów. To, co u większości członków społeczeństwa zachodzi być może na małą skalę i dotyczy rzeczy podrzędnych, stanowi o wyjątkowości tak zwanych jednostek wybitnych, czy będzie to naukowiec, artysta, literat, czy też prorok nowej religii.

Wszystko to świadczy o tym, że sensory kulturowe wykazują dużą różnorodność, mogą być "dziedziczne", a także, że na bazie sensów już istniejących generowane są nowe. Jak na razie, można się tu doszukać analogii z informacją genetyczną poszczególnych osobników w populacji biologicznej, która także wykazuje zróżnicowanie, ulega dziedziczeniu oraz podlega mutacjom, prowadzącym do powstawania nowych wariantów tejże informacji.

Tylko bardzo nieliczne z sensów powstających w obrębie kultury zostają w niej utrwalone na czas dłuższy. Z drugiej strony, w miarę rozwoju kultury niewątpliwie zachodzi ewolucja składających się na nią sensów. Zmiany te mogą następować stopniowo lub też charakteryzować się występowaniem zdecydowanych przełomów, jak to miało miejsce w tak zwanej rewolucji kopernikańskiej. Wszystko to prowadzi do wniosku, że w jakiś sposób jedne sensory są utrwalane, podczas gdy inne ulegają wcześniejszej lub późniejszej eliminacji. Zasadnicza kwestia dotyczy mechanizmów lub kryteriów decydujących o doborze tych a nie innych sensów na danym konkretnym etapie ewolucji kulturowej.

Należy pamiętać, iż tak jak osobnik biologiczny jest "nosicielem" genów w populacji, tak osobnik psychiczny stanowi "siedlisko" sensów kulturowych. Pierwszy dąży do rozprzestrzenienia swoich genów w populacji, drugi - do przekazania uznawanych przez niego sensów innym "uczestnikom" kultury, szczególnie swojemu własnemu potomstwu (element tego procesu stanowi po prostu wychowanie). O długofalowym sukcesie w tym drugim przypadku zadecyduje to, czy akceptowane przez danego człowieka (rozumianego jako osobnik w sensie psychicznym) sensory są rozprzestrzeniane efektywniej, niż sensory proponowane przez innych ludzi. Chodzi tu nie tylko o atrakcyjność tych sensów dla ich potencjalnych odbiorców, ale także o dostępne mechanizmy "wzmacniające" propagację sensów w sposób czysto instrumentalny. Mówiąc o takich mechanizmach mam na myśli naturalne uprzywilejowanie pod tym względem rodziców w stosunku do ich dzieci, ludzi mających dostęp do mass-mediów, polityków, Kościoła, wreszcie: literatów, artystów i naukowców.

Mając w pamięci powyższe uwarunkowania, musimy sobie jednak zadać pytanie, dlaczego, koniec końców, pewne sensory są utrwalane i ulegają propagacji, inne zaś - zostają wyeliminowane. Dlaczego ewolucja sensów rozmaitych kultur jest (o ile kultury te rozwijają się w izolacji) rozbieżna, co powoduje ustalenie się nieco odmiennych systemów sensów w różnych subkulturach danej kultury, jaka jest przyczyna przemiany sensów w następujących po sobie okresach rozwoju danej kultury?.

Niewątpliwie, tak jak w procesie ewolucji biologicznej, ogromną rolę odgrywa tu przypadek, wyrażający się w generowaniu bezkierunkowej zmienności, mieszczącej się jednakże w zakresie ustanowionym przez dotychczasową historię ewolucji. Odnosi się on jednakże głównie do wytwarzania nowych sensów, nie zaś do selekcji już istniejących. A zatem?

Otóż, przez analogię do doboru naturalnego, za poszukiwany mechanizm można by uznać coś, co nazwę doborem kulturowym, narzucanym, znowuż w analogii do ewolucji biologicznej, przez istniejące w danym momencie "środowisko kulturowe". O tym, jak należy rozumieć takie środowisko, dałoby się zapewne napisać tomy. Nie jest to bynajmniej moim zamiarem<sup>79</sup>. Chciałbym za to, odwrotnie, przypomnieć zaledwie kilka sformułowań, w rodzaju takich, że jakiś artysta wyprzedził swoją epokę, że środowisko intelektualne nie było przygotowane na przyjęcie idei tego lub tamtego naukowca czy myśliciela, lub że jacyś ludzie nie mogli przekroczyć dzielącej ich bariery kulturowej. Niewątpliwie zatem, już istniejąca kultura w dużej mierze decyduje o tym, jakie zrodzone w jej łonie lub zaczerpnięte z innej kultury sensory zostaną zasymilowane i w jakim kierunku nastąpi dalszy rozwój tej kultury. Oczywiście, ograniczenia dla potencjalnych kierunków tego rozwoju narzucają, między innymi, ekonomiczne, biologiczne i fizyczne realia świata. One także w jakiejś mierze składają się na to, nazwałem środowiskiem kulturowym (tak jak w skład środowiska biologicznego danego organizmu wchodzi, oprócz innych organizmów, także takie elementy fizyczne, jak panująca temperatura, siła grawitacji czy stała dielektryczna wody). Dla nas jednakże najbardziej interesująca wydaje się selekcja nowo generowanych sensów przez sito sensów już istniejących. Jeżeli "nosiciele" owych nowych sensów posiadają większy potencjał ekspansji, czy to ze względu na czystą atrakcyjność tych sensów, czy też z powodu wspomnianych mechanizmów instrumentalnych, niż osobniki kulturowe reprezentujące stary system sensów, to skutkiem będzie utrwalenie i rozprzestrzenienie się nowych sensów w obrębie kultury. Jeżeli, przeciwnie, stary system sensów, jako w danym kontekście kulturowym "lepszy", pozostanie oporny na wszelkie innowacje ("mutacje"), status quo ulegnie zachowaniu.

Można też mówić, jak to zrobiłem wyżej, o doborze naturalnym całych kultur, ze względu na ich sprawność instrumentalną. Nie stanowi to bynajmniej wyrazu pędu do biologizacji całej kultury, a jedynie zwrócenie uwagi na pewne podobieństwa cybernetyczne poziomu biologicznego i psychiczno-kulturowego, w duchu teorii systemów Bertalanfy'ego. Próba wyjaśnienia rozmaitych aspektów świata przy użyciu pewnego zestawu uniwersalnych schematów wydaje się być płodna heurystycznie, o ile jest podejmowana z umiarem. W przeciwnym razie łatwo ulec pokusie absolutyzacji, której starałem się usilnie przeciwstawić wprowadzając koncepcję sieci pojęciowej.

Tak czy owak, muszę stwierdzić z niejaką konsternacją, od kilku stron zaczynam już niebezpiecznie głęboko wchodzić w obszar owej "nie dobrej" filozofii, pozbawionej uprawomocnienia poprzez brak solidnego oparcia w faktach. Nie po to przez cały niniejszy rozdział odżegnywałem ją od

---

<sup>79</sup>W pewnym sensie, środowiskiem dla sensów kulturowych jest zbiór wszystkich psychik ludzkich.

czci i wiary, aby teraz samemu popełniać wytykany innym błąd. Skoro zaś nie do końca potrafię się oprzeć tego rodzaju ciągotkom, myślę, że nadszedł najwyższy czas, aby tę książkę zakończyć.