

czegoś, co wcześniej już istniało w postaci zwinętej, ścieśnionej, niedostrzegalnej); przynoszący nowość proces zmian układów określonej kategorii, istniejących realnie bądź intencjonalnie. Dokonuje się on na różnych poziomach rzeczywistości, w okresach czasu znacznie przekraczających średnie trwanie pojedynczego układu danej kategorii.

Mimo że zmiany zachodzące w krótkich odcinkach czasu mogą być nieznaczne i wydawać się chaotyczne, to jeśli dokona się ich dostatecznie wiele (co zazwyczaj odpowiada długim, z ludzkiego punktu widzenia, przedziałom czasu lub zajdą w bardzo licznych zbiorowiskach układów), da się stwierdzić coraz dalsze odchodzenie od stanów poprzednich.

Znaczenie terminu „ewolucja” zmieniało się zależnie od osiąganego stopnia i zakresu wiedzy przyrodniczej, metodologicznej oraz od filozoficznej refleksji nad nimi. Pierwotnie terminem tym określano zmiany zachodzące stopniowo (gradualizm), podobne do tych, jakie zachodzą podczas rozwijania się kwiatu z pączka czy podczas rozwoju zarodka.

Proces e. może przebiegać wzdłuż jednego tylko toru, jak ma to miejsce w przypadku zmian pojedynczego wielkoskalowego układu (np. gwiazdy, powierzchni Ziemi) czy nawet jakiejś grupy osobników określonego gatunku istot żywych (e. filetyczna). Zwykle jednak zachodzi on poprzez tory rozgałęziające się, dające w rezultacie 2 lub więcej szeregów dokonujących się przekształceń (e. dywergentna), jak ma to zazwyczaj miejsce w przypadku zbiorowisk organizmów należących do określonego gatunku (specjacja). Ta druga sytuacja zachodzi najczęściej w dostatecznie licznych zbiorowiskach układów początkowo podobnych do siebie, lecz znajdujących się w różnych warunkach środowiska. W rozwiązaniach niektórych układów równań lub w układach rzeczywistych, rządzonych przez te prawa, również mogą dokonywać się jednokierunkowe zmiany przebiegające wg jednego toru, bezustannie zmierzając ku nowym wartościom czy stanom, albo zmiany dążące do jakiejś wartości lub stanu granicznego (atraktory), albo ciągi te mogą rozwidlać się (bifurkacje).

Przekraczanie przez procesy e. czasu trwania pojedynczego układu odróżnia je od procesów rozwojowych lub degeneracyjnych charakterystycznych dla zmian kierunkowych dokonujących się w pojedynczych układach obdarzonych

życiem lub w układach zdolnych do samoorganizacji (rozdzielenie to nie zawsze jest respektowane). Terminu „ewolucja” używa się także w odniesieniu do układów giga- i megaskopowych, których zmiany dokonują się zgodnie z prawami przyrody w długich okresach czasu albo takich, których istnienie znacznie przekracza średni okres życia ludzkiego, jak np.: wszechświat, galaktyki, gwiazdy, Ziemia, biosfera, język czy kultura. Podobnie przedstawia się sprawa z poziomem rzeczywistości rządzonego prawami fizyki kwantowej.

Do zmian o charakterze e. nie można zaliczyć ani zmian regularnych (np. cyklicznych), ani chaotycznych, utrzymujących układ czy zbiór układów w takim samym stanie, tak że jego zmiany w każdym kierunku, jeśli dokonują się w odpowiednio długich okresach czasu, są jednakowo prawdopodobne. Nie będą takimi też zmiany co prawda kierunkowe, ale dokonujące się w wyniku wymuszania przez układ zewnętrzny poprzez oddziaływania fizyczne lub chemiczne, czy też zadany przez istotę rozumną ściśle zdeteterminowany program tych zmian.

Procesom e. przypisuje się jedną lub więcej spośród następujących charakterystyk, przy czym w różnych ujęciach tego procesu niektóre z nich wykluczają się: 1) genetyczne powiązanie pomiędzy układami poprzednich pokoleń i pokoleń następującymi po nich (dziedziczność); 2) możliwość ustalenia uporządkowanego szeregu przemian, jakiemu podlegają zmiany dokonujące się w odpowiednio długim dystansie czasu (prawidłowość); 3) zwiększające się dostosowanie układów do warunków otoczenia (przystosowawczość). Odnosi się to do układów, których istnienie i poziom reprodukcji zależy od charakterystyk otoczenia; 4) wyłanianie nowości, a więc pojawianie się układów, własności lub stanów wcześniej nie istniejących (kreatywność); 5) spontaniczne zmierzanie ku wyższej złożoności (samoorganizowanie); 6) małe prawdopodobieństwo powtórzenia się pełnej konfiguracji stanów wcześniej istniejących (nieodwracalność); 7) brak z góry wyznaczonego celu (nieteleologiczność); 8) niemożliwość dokładnego przewidywania stanów przyszłych (determinizm statystyczny), a w przypadku układów bardzo złożonych (cechujących się niezwykle silnym uzależnieniem ich stanu od znikomych nawet zmian charakterystyk wewnętrznych i czynników otoczenia), czy też dużych dystansów czasu, w ja-

kich dokonują się ich przemiany – całkowita niemożliwość przewidzenia tych stanów (indeterminizm); 9) niezależność od zewnętrznego czynnika inteligentnego – człowieka lub czynników pozaświatowych (naturalność).

E. można rozumieć jako proces obejmujący całą rzeczywistość (np. P. Teilhard de Chardin) lub określony jej fragment (materia żywa – H. Bergson). Można też rozumieć ją wąsko, uwzględniając określoną własność, typ procesu (np. e. sposobów przemieszczania się zwierząt) lub kategorię bytów (nieożywionych, ożywionych, psychicznych, poznawczych, duchowych, społecznych oraz intencjonalnych). Najlepiej poznanym typem e. jest e. świata żywego, która często spełnia rolę modelu e. w innych dziedzinach rzeczywistości. Zmiany o charakterze ewolucyjnym można także stwierdzić w wytworach zależnych od ludzkiej psychiki, świadomości i ducha, jak zwyczaj, ubiór, język, gałęzie wiedzy (np. e. fizyki, e. kosmologii), ustroje państwowe.

Swoistym typem e. (nawet prostego układu formalnego), mogącej się dokonywać przez powtórzenia obliczeń wg schematu wyznaczonego przez określoną strukturę równania matematycznego, może być wyłanianie się coraz głębszych poziomów struktur „samopodobnych” (tzw. fraktali), o niepełnej wymiarowości, charakteryzujących się dowolnie wielką szczegółowością. Znikome nawet zmiany składowych niektórych typów takich równań mogą prowadzić do znacznych globalnych zmian wyłaniających się struktur. Choć trwają dyskusje, czy w rzeczywistych układach realizują się zależności, którym ściśle odpowiadałyby struktury fraktalne, bierze się pod uwagę taką możliwość w odniesieniu do układów żywych. W związku z tym zachodzące w czasie ich przemiany proponuje się uznać za kolejne akty wyłaniania się szczegółów struktury już w tych układach wcześniej potencjalnie obecnych. Taki sposób widzenia zmian organizmów jest daleki od darwinowskiego: obszar kontrastu rozciąga się od podstawowych mechanizmów powstawania nowości do wypadkowego kierunku zmian. W przypadku darwinowskim – jakościowe i ilościowe zmiany genów zachodzą przypadkowo i są poddawane oddziaływaniu środowiska przez selekcję; w przypadku fraktalności – ujawniające się struktury są manifestacją planu wpisanego pod postacią zadanej formuły i warunków początkowych, nie ma więc żadnego sprzężenia pomiędzy



środowiskiem a „rozpakowującym się” fraktalem. Kierunek zachodzących zmian bioukładów w koncepcjach darwinowskich jest w znacznym stopniu zależny od oddziaływań środowiska (mutacje, rekombinacje i selekcja), podczas gdy przemiany niektórych typów struktur fraktalnych mogą być subtelnie uzależnione tylko od zadanych warunków początkowych.

Wielu filozofujących badaczy, zwł. uprawiających fizykę lub chemię teoretyczną, wyraża pogląd, iż e. wszechświata polega na – zachodzących zgodnie z prawami przyrody i wskutek zaistnienia pewnych warunków początkowych – bezustannych zmianach jego elementów, w trakcie których dokonują się różnego rodzaju, i na wielu poziomach, procesy samoorganizacji. Wykazują się, że w odpowiednich warunkach (np. przy dostatecznie wysokich natężeniach strumienia przepływającej przez układ energii cieplnej) w jakimś zbiorowisku początkowo zupełnie chaotycznie poruszających się cząstek mogą następować procesy samoorganizacji, stwarzające w nim nowe struktury: mogą wyłaniać się nowe, mniej prawdopodobne konfiguracje cząstek i związane z tym nowe własności układu. W rozpatrywaniu fizykochemicznej e. układów uwzględnia się też udział procesów autokatalitycznych, czyli ich przyspieszenia wskutek pojawiania się ich produktów. Te mechanizmy samoorganizacji układów nieożywionych wydają się nie podlegać ustalonej w XIX w. zasadzie spontanicznego zmierzania zamkniętych układów fizycznych do stanów bardziej prawdopodobnych, tj. do stanów coraz większej równowagi termodynamicznej (zasada wzrostu entropii), w drugiej poł. XX w. teoretycznie i doświadczalnie wykazano jednak, że w układach otwartych znajdujących się w stanach dalekich od wspomnianej równowagi nie jest ona łamana, zachodzą bowiem tylko lokalne spadki entropii, a stany mniej prawdopodobne osiągnąć są za cenę jej wzrostu w otoczeniu (termodynamika procesów nierównowagowych – I. Prigogine). Zjawiska tego rodzaju bierze się pod uwagę jako mogące mieć istotne znaczenie w powstaniu pierwszych układów żyjących z materiałów abiotycznych.

Najlepiej przebadanym i wciąż przynoszącym nową wiedzę typem e. jest e. istot żyjących; rozumie się przez nią wszelkie przemiany własności organizmów (wewnętrznych i zewnętrznych struktur oraz funkcji i zachowania), pozostających ze sobą w bliższym lub dalszym genetycznym zwią-

ku, dokonujące się od prawie czterech mld lat na Ziemi – na różnych jej obszarach w niepowtarzalnych dla tych obszarów warunkach. Ich rezultatem jest minione i obecne bogactwo gatunków oraz ich rozmieszczenie na Ziemi. E. dokonująca się w dziedzinie świata żywego nosi miano filogenezy. Jest ona urzeczywistnionym (i ciągle urzeczywistnianym) przez przyrodę procesem zmian świata żywego przez powstawanie określonych grup świata żywego z grup już wcześniej istniejących; towarzyszy temu zanikanie (wymieranie) innych grup współistniejących.

Na ten temat mechanizmów przemian e. świata żywego toczą się ożywione dyskusje. Uczestników dyskusji można podzielić na zwolenników (tych jest niewiele) jednego czynnika odgrywającego istotną rolę oraz na tych, którzy biorą pod uwagę wiele czynników. Pierwsi głoszą, iż czynnikiem decydującym były wyłącznie: a) zmiany w środowisku; b) wrodzona materii żywej dążność do samodoskonalenia; c) długotrwałe zmiany sposobu zachowania się organizmu, będące reakcją na zmiany w jego otoczeniu; d) skłonność materii żywej do podążania ściśle określonymi torami zmian (ortogeneza); e) czysto przypadkowe zmiany dziedzicznych własności organizmów (mutacjonizm); f) dobór naturalny (selekcjonizm). Do drugiej grupy zaliczyć można tych, którzy brali pod uwagę łączne działanie niektórych spośród tych czynników. Standardowym obecnie ujęciem jest tzw. teoria syntetyczna e., uwzględniająca czynniki grup: a, e, f oraz inne, jak przypadkowe zmiany składu genetycznego skupisk organizmów czy różne formy izolacji rozrodczej. Za szczególną odmianę teorii syntetycznej można uznać tzw. teorię ustalonych stanów równowagi, w której – wbrew gradualizmowi większości zwolenników teorii syntetycznej – przyjmuje się, iż tempo procesów e. jest zmienne: długotrwałe okresy stanów względnie trwałej równowagi oddzielają stosunkowo krótkotrwałe okresy szybkich przemian organizmów. Zasadniczą rolę w teorii syntetycznej odgrywają dwie dziedziny przyrodoznawstwa: genetyka populacyjna oraz ekologia. Stanowią one na przełomie XX i XXI w. rdzeń nauki o e. biologicznej.

Mechanizmy zmian e. nie są identyczne w układach różnej natury i znajdujących się na różnych poziomach organizacji, choć podejmuje się próby wskazania jednego, wszechogarniającego mechanizmu. Najczęściej ma on postać darwinowską,



tj. taką, gdzie elementami zasadniczymi jest dobór naturalny i bogate liczebnie zbiorowiska układów spośród których niewielka część różni się nieco od tych, z jakich same powstały. W rozpatrywaniu e. wszechświata jako największego układu powiązanego w całość fizycznymi oddziaływaniami, w poszczególnych fazach jego e. decydujące znaczenie przypisuje się prawidłowym przemianom dokonującym się zgodnie z prawami fizyki (w tym mechaniki kwantowej) oraz selekcji naturalnej. Zgodnie z tym schematem obecnie istniejący wszechświat byłby skutkiem selekcji, jaka rozegrała się na współistniejących różnych postaciach wszechświata. Później, po zajściu wielu pośrednich przekształceń materii, podlegających prawom fizyki, jak: synteza atomów różnych pierwiastków, powstanie cząsteczek nieorganicznych i organicznych, dobór dokonywał się na ich zbiorowiskach. Doprowadził on do powstania układów makromolekularnych, zdolnych do samoreprodukcji, stale zresztą selekcionowanych przez środowisko. Kolejnymi etapami e. było powstanie populacji pierwszych komórek i wielu typów organizmów wielokomórkowych. Ze względu na coraz bardziej zaawansowaną różnorodność ich wyglądu zewnętrznego i budowy wewnętrznej oraz zróżnicowanie funkcji życiowych – daje się ono porządkować w rozgałęziające się struktury (taksonomia) będące odzwierciedleniem historii rodowej (genealogii, flogenezy) różnych typów organizacyjnych istot żywych.

Współczesne ujęcie mechanizmu darwinowskiego sprowadza się do przyjmowania dobrze wspartej danymi empirycznymi tezy, iż reprodukcja dokonuje się ze znikomymi zazwyczaj odchyleniami od wzorca rodzicielskiego. Dzieje się tak za sprawą mutacji i rekombinacji dokonujących się w komórkach rozrodczych. Pojawia się więc w osobnikach następnego pokolenia pewna „pula zmienności”; może ona polegać na pojawieniu się nie istniejących dotąd własności układów, zaniku lub osłabieniu niektórych lub pojawieniu się nowych kompozycji ich własności. Daje to podstawę do działania tzw. selekcji naturalnej. W przypadku organizmów wyższych dużą rolę może odgrywać aktywny wybór przez samca lub samicę partnera rozrodu. Czynnikiem rozstrzygającym bywa tu wykazana siła, waleczność, wytrwałość, spryt, opiekuńczość wobec partnera i potomstwa. W rezultacie takiego rodzaju interakcji pomiędzy organizmami a środowiskiem następu-

je z jednej strony ograniczenie zakresu wygenerowanej zmienności, z drugiej – nadanie kierunku zmianom układów. Ta interakcja z otoczeniem obejmuje zarówno układy zmienione, jak też te, w których nie pojawiły się zmiany. W jej wyniku ujawniają się nowe własności (choć nie zawsze muszą się ujawnić – mutacje obojętne przystosowawczo), zmieniające szanse pozostawienia potomstwa zawierającego zmodyfikowane zespoły wyznaczników posiadanych cech (tzw. genotypy). Jeśli całe te zespoły, znajdujące się w określonych osobnikach, wygenerują więcej swych kopii (potomków), niż osobniki będące bardziej wiernymi kopiami bezpośrednich swych przodków, to w nowym pokoleniu zwiększy się częstotliwość występowania zespołów zawierających wyznaczniki tych cech. Trzeba je uznać za korzystne. Jeśli natomiast spontanicznie powstałe zmiany spowodują, że wydajniej reprodukować się będą osobniki, które otrzymały niezmiennione zestawy wyznaczników cech – następować będzie eliminacja osobników zmienionych. Zależnie od układu okoliczności może to następować bardzo szybko albo rozciągać się na wiele pokoleń.

W ramach ujęć darwinowskich toczą się dyskusje dotyczące m.in.: wyłączności tego mechanizmu zmian (wskazuje się, że e. może dokonywać się także przy udziale zmian, które są obojętne przystosowawczo), znaczenia zakresu zmienności ujawniającej się na poszczególnych etapach, a więc czy e. jest wyłącznie procesem sumowania się w poszczególnych liniach rozwojowych niewielkich zmian, czy też istotną nowość wnoszą wielkie skoki własności organizmów (saltacjonizm).

Ważnym zagadnieniem jest tempo e. Ogólnie ujmując, zależy ono od natury ewoluujących układów oraz od mechanizmów urzeczywistniających przemiany. W koncepcjach gradualistycznych przyjmuje się, że tempo to jest wyznaczane przez wydajność procesów wnoszących zmiany, skuteczność nieprzypadkowej eliminacji oraz trwałość barier uniemożliwiających cofanie się skutków dokonanej selekcji. W koncepcjach saltacjonistycznych, które nie uwzględniają zawartej w materii żywej skłonności do kierunkowych zmian, przyjmuje się szczęśliwy przypadek za główny mechanizm doprowadzający do istotnych zmian, jak ma to miejsce np. w przypadku koncepcji przyjmujących zachodzenie mutacji o znacznym zasięgu, których rezultatem byłoby pojawienie się tzw. obiecujących potworków

(R. B. Goldschmidt). Choć propozycja ta ma obecnie znaczenie tylko historyczne, uznaniem cieszy się hipoteza pośrednia pomiędzy saltacjonizmem a gradualizmem, wskazująca na możliwość zachodzenie e. świata żywego poprzez stosunkowo szybkie (tj. dokonujące się w skali tysięcy lat i dziesiątek tysięcy lat) „przejścia” postaci i własności organizmów pomiędzy różniącymi się od siebie stanami ustalonej równowagi (S. J. Gould, N. Eldredge).

Inny zasadniczy sposób zmian e. przedstawiają koncepcje o charakterze lamarkowskim, w których przypisuje się znaczenie jednej lub dwu spośród trzech składowych mechanizmu e. zaproponowanego przez J. B. Lamarcka. Wskazał on, że istoty żyjące znacznie modyfikują swój wygląd i własności w miarę upływu czasu, gdyż: a) materię żywą cechuje spontaniczna dążność ku wyższym poziomom zorganizowania; b) organizmy są obdarzone zdolnością do przystosowawczej odpowiedzi na zmiany zachodzące w otoczeniu; c) zdolne są one do przekazywania potomstwu wszystkich cech swojego ciała, włącznie z tymi, jakie uzyskały w ciągu swego życia. Ten mechanizm przemian świata żywego, a zwł. dziedziczenie cech nabytych, uznawany jest obecnie za mało wiarygodny.

E. wszechświata dzieli się na fazy (czasem zachodzące na siebie): kosmiczną, przedbiotyczną (przedbiologiczną), biotyczną (biologiczną), kulturową. Szczególnie trudny i żywo dyskutowany jest problem ewolucyjnego powstania i zmian człowieka – jego psychiki, świadomości i ducha. Rozwój informatyki w XX w. dostarczył wydajnych narzędzi umożliwiających nie tylko modelowanie procesów ewolucyjnych w odniesieniu do układów rozmaitej kategorii, lecz także stosowanie algorytmów skonstruowanych najczęściej wg odpowiednio uogólnionych zasad darwinowskiej teorii e., a także rozwiązywanie przy ich zastosowaniu problemów teoretycznych i technicznych (np. sztuczne życie, sztuczna inteligencja).

T. G. Dobzhansky, *Genetics and the Origin of Species*, NY 1937, 1982<sup>4</sup>; J. S. Huxley, *E. The Modern Synthesis*, Lo 1942, 1974<sup>3</sup>; E. Mayr, *Systematics and the Origin of Species*, NY 1942, C 1999; G. G. Simpson, *Tempo and Mode in E.*, NY 1944, 1984; G. G. Simpson, *The Major Features of E.*, NY 1953; E. Mayr, *Animal Species and E.*, C 1963; tenże, *Populations, Species, and E.*, C 1963 (*Populacje, gatunki i e.*, Wwa 1974); L. Kuźnicki, A. Urbanek, *Zasady nauki o e.*, I–II, Wwa 1967; M. Eigen, R. Winkler, *Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall*, Mn 1975, 1996<sup>4</sup> (*Gra. Prawa natury sterują*

*przypadkiem*, Wwa 1983); E. Mayr, *E. and the Diversity of Life*, C 1976; H. Szarski, *Mechanizmy e.*, Wwa 1976<sup>2</sup>, 1986<sup>3</sup>; S. J. Gould, *Ontogeny and Phylogeny*, C 1977; H. Reeves, *Patience dans l'azur. L'é. cosmique*, P 1981 (*Cierpliwość niebios. Zarys e. kosmicznej*, Wwa 1991); M. Heller, *E. kosmosu i kosmologii*, Wwa 1983, 1985<sup>2</sup>; M. Kimura, *The Neutral Theory of Molecular E.*, C 1983; I. Prigogine, I. Stengers, *Order out of Chaos. Man's New Dialog with Nature*, Lo 1984 (*Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z naturą*, Wwa 1990); W. Sedlak, *Na początku było jednak światło*, Wwa 1986; N. Eldredge, *Macroevolutionary Dynamics. Species, Niches, and Adaptive Peaks*, NY 1989; P. Davies, *The Mind of God. The Scientific Basis for a Rational World*, NY 1992 (*Plan Stwórcy. Naukowe podstawy racjonalnej wizji świata*, Kr 1996); L. Smolin, *Did the Universe Evolve?*, *Classical and Quantum Gravity* 9 (1992), 173–191; M. Ryszkiewicz, *Ziemia i życie. Rozważania o e. i ekologii*, Wwa 1995; B. Korzeniewski, *Trzy e. E. wszechświata, e. życia, e. świadomości*, Kr 1997; M. J. Rees, *Before the Beginning. Our Universe and Others*, Reading 1997 (*Przed początkiem. Nasz Wszechświat i inne wszechświaty*, Wwa 1999); L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, NY 1997 (*Życie wszechświata. Nowe spojrzenie na kosmologię*, Wwa 1998); F. Adams, G. Laughlin, *The Five Ages of the Universe. Inside the Physics of the Eternity*, NY 1999 (*E. Wszechświata*, Wwa 2000); M. Ryszkiewicz, *E. Od Wielkiego Wybuchu do Homo sapiens*, Wwa 2000.

Józef Zon