

KRÓTKA HISTORIA WIELKICH KATASTROF

Mateusz Pasternak

Warszawa 2000

Spis treści

1. Wstęp.....	6
2. Katastrofa pierwsza.....	8
3. Gwiezdne katastrofy.....	17
4. Dzieje Planet	24
5. Ogień, woda i życie.....	30
6. Hekatomba gatunków.....	37
7. Katastrofa tropikalnego lasu	46
8. Katastrofalne zmiany klimatu	50
9. Katastrofa biosfery	58
10. Katastrofy poglądów	62
11. Przyszłe katastrofy	73
12. Zakończenie	77

Od autora

Żyjemy na Ziemi w błogim poczuciu bezpieczeństwa, z dala, jak nam się wydaje, od globalnych czy kosmicznych kataklizmów. Nie zdajemy sobie na ogół sprawy z faktu, że jednak nasz świat jest pełen najróżniejszych katastrof. Nie dostrzegamy też, iż w zasadzie jedynym powodem, dla którego teraz nas one omijają jest nikłość czasu naszego życia i to nie tylko w odniesieniu do skali jednego człowieka, ale nawet całej ludzkiej cywilizacji. Kilkanaście tysięcy lat to tylko znikoma chwila w kilkunastomiliardowej historii wszechświata. Pomimo tego, że jest on globalnie przerażająco pusty dzieją się w nim lokalne kataklizmy o niewyobrażalnej dla człowieka sile i skali. Potrafią one niszczyć i budować zarazem. Pełno też zagrożeń czai się w obrębie naszej planety, a niestety niektóre z nich sami na siebie prowadzamy. W niniejszej książce chciałbym przekonać Czytelnika, że historia świata to nieprzerwany ciąg małych i dużych katastrof. Dzięki nim w ogóle istniejemy i przez nie też, nasz ludzki epizod może zakończyć się równie nagle, jak się rozpoczął.

Przedstawiona w kolejnych rozdziałach rekonstrukcja wydarzeń, które stanowią najważniejsze moim zdaniem składniki historii wszechświata, Ziemi i wreszcie życia na niej z całą pewnością nie jest kompletna. Nie wszystkie też jej elementy muszą koniecznie być prawdziwe. Nauka bowiem nie wygłasza prawd absolutnych, ale nieustannie ich poszukuje. Przedstawione tu hipotezy zostały wybrane arbitralnie spośród całego mnóstwa rozsądnych, mających naukowe podstawy, propozycji. Konieczność dokonania takiego wyboru była podyktowana chęcią naszkicowania w miarę krótkiego, logicznego i spójnego schematu dziejów życia na Ziemi pod kątem katastrofalnych wydarzeń mających decydujący wpływ na jego kształt. Wybrałem tylko te idee, które, moim zdaniem mają szanse przetrwania próby czasu lub taką próbę już przetrwały. Choć przedstawiony obraz nie ujmuje wszystkich, a w szczególności duchowych, aspektów rzeczywistości to jednak może on być pomocny przy próbach odpowiedzi na niektóre podstawowe pytania natury egzystencjalnej.

Przydatność takiego schematu można wykazać na przykładzie samochodu. Nikt przecież nie wątpi w to, że rozumie zasadę jego działania, jednak w rzeczywistości nie ma o niej większego pojęcia, zna tylko ogólny schemat. Każdy wie np., że samochód ma silnik działający (na ogół) dzięki wybuchowemu spalaniu w cylindrach mieszaniny lżejszych węglowodorów i powietrza. W tym właśnie miejscu zaczynają się problemy

ze zrozumieniem, bowiem fizyka spalania nie jest jeszcze dokładnie poznana. Można dość precyzyjnie opisać jakie procesy zachodzą na poziomie molekularnym, natomiast poziom atomowy¹ i subatomowy stanowi wciąż pole badań. Taki sam jest stan wiedzy o innych podzespołach samochodu. Zjawiska makroskopowe są znane, mikroskopowe słabo, a submikroskopowe prawie wcale. Stwierdzenie, że zna się dokładnie, do samego końca, działanie samochodu jest równoznaczne ze stwierdzeniem, że zna się budowę materii, z której samochód jest wykonany, a znajomość ta jest niestety wciąż słaba.

Jak dotąd np. nie wiadomo dlaczego protony mają taką masę a nie inną. Wiadomo natomiast, że choćby niewielka zmiana tej wielkości pociągnęłaby za sobą diametralną zmianę konstrukcji całego samochodu, niewiele większa zaś, uniemożliwiłaby wręcz istnienie atomów, z których samochód się składa. Nawet drobna zmiana znanej wszystkim liczby π pociągnęłaby za sobą niewyobrażalne konsekwencje, a żaden człowiek nie wie dlaczego w naszym świecie liczba ta jest akurat taka a nie inna.

Fakty te nie przeszkadzają nam jednak w konstrukcji i wykorzystaniu samochodów, a także posługiwaniu się liczbą π i innymi stałymi, które zmierzylismy², a których pochodzenia zupełnie nie znamy. Do wielu zastosowań całkowicie wystarczający okazuje się powierzchowny poziom zrozumienia. Dzięki temu w ogóle możliwy jest jakikolwiek rozwój techniki.

Z tego powodu uważam, że przedstawiony w niniejszej książce zarys wydarzeń ma pewną wartość poznawczą. W szczególności pozwala on zorientować się jaki jest obecny stan badań naukowych prowadzonych w poszukiwaniu odpowiedzi na najbardziej podstawowe pytania dotyczące sensu i celu istnienia. Tego typu schematem posłużył się też Hoimar von Ditfurth pisząc na początku lat 70. swoją znakomitą książkę „Na początku był wodór”. Choć pozycja ta znacznie się zdezaktualizowała,

¹ Na ogół nie zdajemy sobie sprawy z niewyobrażalnej małości atomu. Aby ją pokazać lord Kelvin (William Thomson) wymyślił następujący eksperyment myślowy.

Załóżmy, że mamy szklanek wody, z oznaczonymi atomami tlenu i wodoru, tak aby można je było odróżnić od wszystkich innych atomów tworzących wodę (mniejsza o to jak dokonamy takiego oznaczenia). Wlewamy naszą szklanek do światowego oceanu (czyli do zbiornika zawierającego wszystkie światowe oceany i morza) i czekamy aż jej zawartość ulegnie dokładnemu wymieszaniu. Następnie nabieramy tej mieszaniny do szklanki. Ile znajdzie się w niej oznaczonych atomów?

Można to łatwo oszacować. Objętość wody w światowym oceanie ocenia się na 1340 mln km³ (dane wg Wielkiej Encyklopedii Geografii) co w m³ daje objętość 1340·10¹⁵ (10¹⁵ oznacza jedynekę z 15 zerami, zaś 10⁻¹⁵ jedynekę podzieloną przez jedynekę z 15 zerami). Objętość wody w pełnej szklance (0,25 litra = 0,25 dm³) wynosi 0,25·10⁻³ m³. Z tego wynika, że światowy ocean zawiera 5,36·10²¹ szklanek wody. Ilość atomów (wodoru i tlenu) w gramie wody wynosi ok. 10²⁴ co oznacza, że w szklance mieści się 2,5·10²⁶ atomów. Ponieważ rozłoży się ona równo na 5,36·10²¹ szklanek, w każdej z nich znajdzie się ok. 45000 oznaczonych atomów!

² Wartości niektórych stałych takich jak np. π dużo łatwiej (i dokładniej) jest obliczyć niż zmierzyć.

niektóre zawarte w niej koncepcje są nadal aktualne.

Przedstawione w niniejszej książce hipotezy, podobnie jak w wymienionej pozycji, mające charakter dość śmiałych spekulacji, są oparte o wyniki obserwacji naukowych lub rozważań teoretycznych, nie mniej jednak należy podkreślić, że badania oraz interpretacje ich wyników zawsze obarczone są pewną dozą subiektywizmu, a misternie konstruowane wywody niejednokrotnie już leżały w gruzach. Chęć zrozumienia świata jest jednak bardzo silna, silniejsza nawet od obawy przed ośmieszeniem.

autor

1. Wstęp

Katastrofa, w rozumieniu potocznym, jest zdarzeniem nagłym³ i zdecydowanie destruktywnym. Tego typu wydarzenia są jednak jednym z głównych czynników umożliwiających radykalne zmiany. W tym sensie, generując zmienność, katastrofy mogą również być konstruktywne.

Zdumiewające odkrycia ostatnich lat coraz bardziej skłaniają do wniosku, że to właśnie one są motorem napędowym, oglądanej z ludzkiego punktu widzenia historii wszechświata, Ziemi i życia.

Idea ta bynajmniej nie jest nowa. W 1812 r. Georges Cuvier po raz pierwszy zaproponował hipotezę mówiącą o kształtowaniu losów biosfery przez powtarzające się globalne katastrofy geologiczne. Cuvier miał mocne, wynikające z obserwacji skamieniałości, podstawy swoich przypuszczeń. Uważał, że w historii naturalnej miało miejsce szereg całkowitych wymierań, po których życie odradzało się ponownie. Katastrofy Cuviera były deterministyczne. Za jedną z nich uznał on np. biblijny potop. Poglądy takie natychmiast spotkały się ze sprzeciwem współczesnych mu uczonych skłaniających się raczej w stronę zasady aktualizmu geologicznego (uniformitaryzmu) głoszącej, że drobne, obserwowalne zmiany spowodowane np. trzęsieniami ziemi, kumulując się przez dostatecznie długi okres czasu, dają w efekcie zmiany duże. Podobną ideę w odniesieniu do organizmów żywych, tzw. gradualizm, prezentował Charles Robert Darwin – twórca teorii ewolucji.

Kumulacja niewielkich zmian to koncepcja ze wszech miar atrakcyjna m.in. dlatego, że proces taki jest dość efektywny. Wpłata tylko 1 grosza na konto bankowe o oprocentowaniu wynoszącym w skali rocznej 1% przyniosłaby zawrotny zysk w wysokości prawie 440 mln zł., o ile zostałyby dokonane dostatecznie wcześniej – w tym konkretnym przypadku na początku naszej ery czyli ok. 2000 lat temu. Trzeba jednak koniecznie zaznaczyć, że podany tu okres czasu w porównaniu ze skalą geologiczną czy też ewolucyjną jest bardzo krótki. Oczywiście, z powodu losowości i bezkierunkowości zmian w przyrodzie, ich tempo jest zdecydowanie wolniejsze.

³ Termin „nagły” należy zawsze odnosić do adekwatnej skali czasu. Np. dla geologa może on oznaczać proces trwający setki tysięcy lat.

Sama atrakcyjność idei nie stanowi jednak dowodu na jej poparcie. Trwające przez długie lata poszukiwania kolejnych stadiów ewolucji, tzw. brakujących ogniw nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Wręcz przeciwnie, zapis kopalny wskazuje po pierwsze na nagłość pojawiania się różnych form życia, a po drugie stwierdza za Cuvierem, że wielkie wymierania rzeczywiście miały miejsce, a ich skala świadczy o raptownych i globalnych zmianach w historii biosfery. Daje to całkiem nowy obraz rzeczywistości: świat tworzył swoją historię przeplatając ewolucje z rewolucjami. W odróżnieniu jednak od hipotezy Cuviera, nowoczesny katastrofizm odrzuca determinizm na rzecz przypadku. To właśnie budzi największe sprzeciw. Tak długo bowiem przyzwyczajaliśmy się do determinizmu, iż jego porzucenie musi być niezwykle trudne. Tym trudniejsze im bardziej uświadamiamy sobie zupełną przypadkowość swojej historii. Losowość procesów, jak się wydaje, jest ogólną własnością świata, w którym żyjemy. Można by rzec, że przypadek to nie przypadek lecz reguła. Paradoksalnie, duża rola przypadkowości w dziejach ludzkich cywilizacji i nawet w życiu codziennym każdego człowieka z osobna nie jest na ogół kwestionowana. Przecież to z jej powodu nie umiemy, w sposób absolutnie pewny, przewidywać nawet najbliższych zdarzeń. Choć na ogół udaje się nam jednak przewidywać bliską przyszłość z dość dużą dokładnością to jednak trudno mówić o całkowitej pewności. Bardzo często też, przewidywanie jest druzgocąco niedokładne. Przede wszystkim dzieje się tak wtedy, gdy otacza nas duża ilość różnych zdarzeń i każde z nich ma na nas wpływ, choćby nawet najdrobniejszy. W wielu układach takie niewielkie zmiany mogą spowodować po określonym czasie znaczące konsekwencje. Takie układy rozpatruje właśnie, ciesząca się ostatnio niesłabnącym zainteresowaniem teoria chaosu mająca zastosowanie w sytuacjach, w których małe fluktuacje parametrów procesów zachodzących w czasie mogą doprowadzić do diametralnych zmian stanów końcowych. Uczeni zajmujący się tą dziedziną nauki odkrywają z coraz większym zdumieniem uniwersalność i wszechobecność chaosu w procesach zarówno naturalnych jak i sztucznych. To właśnie chaos sprawia, że nie można niczego precyzyjnie przewidzieć.

Prawa przypadku rządzą też jak się wydaje światem katastrof, których doświadczyła i zapewne doświadczy jeszcze złożoność Naszego Świata. Dzięki nim zaistnieliśmy we wszechświecie i przez nie możemy zostać z niego wymazani.

2. Katastrofa pierwsza

Okolo 15 miliardów lat temu miało miejsce wydarzenie które było początkiem naszego wszechświata. Fred Hoyle, początkowo zdecydowany przeciwnik takiego poglądu, żartobliwie nazwał je Wielkim Wybuchem (ang. Big Bang). Naukowe podstawy do sformułowania takiego przypuszczenia pojawiły się już w XVII w. wraz z odkryciem przez Newtona prawa powszechnego ciężenia. Uświadomiło ono współczesnym myślicielom i jemu samemu istnienie pewnego paradoksu. Dlaczego mianowicie ciała znajdujące się we wszechświecie nie spadają na siebie, skoro wiadomo, że na skutek siły grawitacji wszystkie się wzajemnie przyciągają? Prowadzone w tamtych czasach obserwacje astronomiczne takiego spadania nie wykazywały. Sam Newton próbując wybrnąć z tej kłopotliwej sytuacji twierdził, że wszechświat zawiera nieskończoną liczbę ciał, a w związku z tym nie ma żadnego centrum, do którego mogłyby one spadać. Każdy punkt nieskończonej przestrzeni stanowi bowiem jej środek. Wywód bardzo sprytny, ale dość sztuczny. Pojęcie nieskończoności, o czym być może nie wiedział Newton, jest obce naturze. Stanowi ono jedynie dogodny obiekt abstrakcyjnych rozważań matematyków choć i oni starają się go unikać, a w każdym razie posługują się nim bardzo ostrożnie.

Wy tłumaczenie Newtona dość powszechnie akceptowano aż do roku 1823 kiedy to Hainrich Olbers po spojrzeniu w nocne niebo zauważył kolejny niepokojący paradoks. Zapytał mianowicie: dlaczego w nocy jest ciemno? Pytanie to z razu wydaje się niepoważne. Jest przecież noc! No tak, ale skoro jest we wszechświecie nieskończona ilość gwiazd to od tej nieskończonej ilości powinien być nieskończenie wielki blask! Nie pomogą tu nawet gigantyczne obłoki pyłu przesłaniającego światło bo i one w końcu powinny się nagrzać od tej nieskończonej ilości światła i świecić. Olbers zabrawszy się do obliczeń stwierdził, że nocne ciemności można sensownie wytłumaczyć przyjmując skończoną rozległość wszechświata. Skoro tak, to wytłumaczenie Newtona jest najwyraźniej błędne. Wielu ludzi usiłowało wyjaśnić obydwie paradoksy. Dobra ku temu okazja pojawiła się po roku 1915, w którym to Albert Einstein sformułował nową teorię grawitacji - słynną ogólną teorię względności. Przewidywała ona rozszerzanie się wszechświata. Ekspansja tłumaczyłaby

zadowalająco obserwowane paradoksy. Einstein jednak, przytłoczony ciężarem tradycyjnych poglądów, nie chciał pogodzić się z konsekwencjami swojej teorii, czego wyrazem było dodanie przez niego do równań członu kompensującego ekspansję – stałej kosmologicznej. Nie wszyscy jednak zaakceptowali ten dość sztuczny wybieg. W 1917 r. Wilhelm de Sitter odrzucając stałą kosmologiczną uzyskał rozwiązania równań Einsteina opisujące rozszerzający się wszechświat. Wynik ten uzyskał poczyniając jednak dość kontrowersyjne uproszczenie. Przyjął mianowicie, że jest on pusty tzn. nie zawiera żadnych obiektów. Pięć lat później, w 1922 r. rosyjski fizyk Aleksander Friedman także odrzucając stałą kosmologiczną ale zakładając tylko izotropowość oraz jednorodność wszechświata⁴ znalazł podobne rozwiązania równań Einsteina. Z drugiej zaś strony empirycznie udało się dowieść poprawności niektórych przewidywań ogólnej teorii względności. Zmierzone np. ugięcie promieni świetlnych spowodowane grawitacją słońca (pierwszy pomiar nie był poprawny i tylko przypadkowo uzyskane dane zgadzały się z przewidywaniami). Teoria ta tłumaczy też zadowalająco niewielkie nieregularności ruchu orbitalnego Merkurego, uzasadniane wcześniej, w ramach grawitacji newtonowskiej, istnieniem pomiędzy Merkurym a Słońcem hipotetycznej planety, którą nazwano Wulkan.

Zaskakującemu rezultatowi Friedmana zdawały się jednak przeczyć obserwacje astronomiczne. Co prawda ok. 1917 r. Vesto M. Slipher na podstawie zaobserwowanych przesunięć, opracowanych przez siebie widm elektromagnetycznych kilkunastu mgławic, stwierdził ich ruch. Jak słusznie bowiem uważał, stwierdzone przesunięcia widm spowodowane były efektem Dopplera-Fizeau, który to efekt obserwuje się tylko w przypadku ruchomych źródeł fal. Rzeczywiście zdecydowana większość badanych przez Sliphera obiektów oddalała się od Ziemi.

W pierwszej połowie lat dwudziestych astronom Edwin Hubble zmierzył odległość do kilku mgławic⁵. Wyniki pomiarów świadczyły o tym, że przynajmniej gwiazdy w Wielkiej Mgławicy w Andromedzie nie należą do Drogi Mlecznej. Było to wielkie odkrycie, bowiem do tej pory utożsamiano wszechświat tylko z Drogą Mleczną, mgławice zaś uważano za obiekty do niej należące. Hubble pokazał, że w rzeczywistości są to odrębne galaktyki i tym samym zepchnął Drogę Mleczną do roli jednej z nich.

⁴ Tzn. jednakowe własności fizyczne we wszystkich punktach i kierunkach.

⁵ Najbliższa z nich, Wielki Obłok Magellana, odległa od Ziemi o 170 000 lat świetlnych, widoczna jest na niebie w postaci delikatnej mgiełki zajmującej obszar wielkości monety.

Odkrycie to było tym większe, że dokonane zostało przy użyciu dość prymitywnych narzędzi.

Współczesne teleskopy wyposażone w detektory elektroniczne i niejednokrotnie pracujące w zespole, są w stanie „ogłądać” bardzo odległe obiekty. Szczytowym osiągnięciem było umieszczenie w 1990 r. na okołozemskiej orbicie kosmicznego teleskopu (nazwanego Hubble – na cześć tego wielkiego uczonego). Instrument ten pracujący 600 km nad powierzchnią, z dala od zamazującego obraz wpływu atmosfery, dostarcza bezcennych danych na temat budowy i historii wszechświata. W przyszłości planuje się umieszczenie na orbicie nowocześniejszych teleskopów. Być może kiedyś pracować będą one także po drugiej stronie Księżyca z dala od zakłócającego blasku Ziemi. Niżej przedstawiona jest jej fotografia wykonana przez kosmiczny teleskop Hubble’a.



Fot. 1. Galaktyka Andromedy (M31) odległa od nas o 2,3 mln lat świetlnych. Fot. National Agency of Space and Aeronautics (NASA).

Około roku 1929 Hubble dokonał zestawienia uzyskanych wyników biorąc pod uwagę dystans od Ziemi i prędkość ruchu. Dzięki temu zauważył, że prędkość jest skorelowana z odległością, co mogło być równoznaczne z rozszerzaniem się wszechświata.

Co jednak mogłoby stanowić przyczynę ekspansji? Georges E. Lemaitre miał już wcześniej gotową odpowiedź. Znając rozwiązania Friedmana w 1927 r. stwierdził, że wszechświat był kiedyś skupiony w jednym małym obiekcie, który nazwał

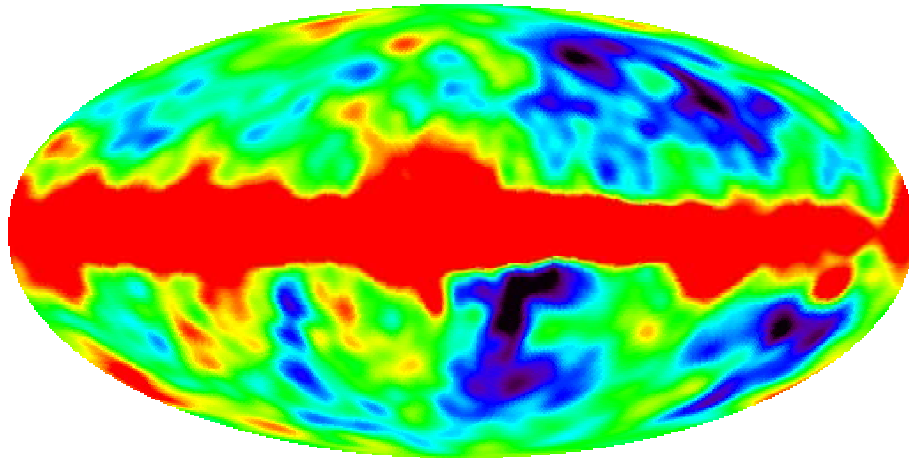
„kosmicznym jajem”, po czym eksplodował i do dziś się rozszerza. Pogląd taki prezentował także Friedman. Jego uczeń George Gamow uważał, że wszechświat kiedy był skupiony charakteryzował się tak olbrzymią temperaturą promieniowania, że powinna dać się ona jeszcze zaobserwować w postaci zewsząd dochodzącego sygnału radiowego. Potwierdzenie jego przypuszczeń nadeszło przypadkowo w roku 1965. Dwaj fizycy Arno Penzias i Robert Wilson podczas prób detektora mikrofalowego natknęli się na dochodzący ze wszystkich stron szum. Zakłócenie to nie było generowane przez ich aparaturę a pochodziło z zewnątrz. Całkiem niedaleko New Jersey, gdzie Penzias i Wilson borykali się ze wspomnianym szumem, w Princeton pracowało dwóch zwolenników poglądów Gamowa, Bob Dick i Jim Peebles. Dysponując odpowiednim sprzętem przygotowywali się wtedy do poszukiwań przewidzianego promieniowania. Spóźnili się. Gdy dotarła do nich wiadomość o kłopotach Penziasa i Wilsona stało się jasne, że właśnie oni rejestrowali słabe echo wydarzenia, które miało miejsce kilkanaście miliardów lat temu. Dociera ono do nas aż do chwili obecnej dzięki temu, że początek był niezwykle gwałtowny.

Teoria Wielkiego Wybuchu, choć jej podstawowe przewidywania zostały potwierdzone obserwacyjnie, napotkała kilka poważnych problemów, którym nie potrafiła bądź nadal nie potrafi sprostać. Jednym z nich była trudność w wyjaśnieniu genezy struktur obserwowanych w widocznej części wszechświata takich jak galaktyki czy też ich gromady. Aby takie struktury mogły powstać, konieczne było istnienie początkowych niejednorodności rozkładu promieniowania. W teoriach opisujących ekspandujący wszechświat niestety nie było na nie miejsca. Pojawiły się jednak udoskonalone modele. Fizyk Alan Guth wysunął, w swej teorii inflacji, hipotezę mówiącą, że wszechświat na początku ekspansji przeszedł przez fazę przyspieszonego, inflacyjnego rozszerzania. Hipoteza ta w dość elegancki sposób wyjaśniała powstawanie wspomnianych struktur jednak jej przewidywania były nie dość precyzyjne.

Sam jednak pomysł okazał się bardzo płodny. Kolejne modele inflacyjne, m.in. rezygnujący z koncepcji przejść fazowych model Andrieja Lindego, okazały się precyzyjniejsze w przewidywaniach.

Pierwszych pomiarów niejednorodności tła – echa Wielkiego Wybuchu, uzasadniających słuszność hipotez inflacyjnych dokonał w 1977 r. zespół George’a Smoot’a. Oczekiwane efekty przyniosła też, kierowana przez tego samego naukowca w 1989 r. misja satelity COBE. Jej wyniki ogłoszone w 1992 r., a rok później potwierdzone przez inny, niezależny zespół naukowców, zgadzają się z teoretycznymi

przewidywaniami ugruntowując inflacyjną koncepcję Wielkiego Wybuchu i rzucając nieco światła na szczegóły tego wydarzenia.



Rys.1. Zmierzone przez COBE fluktuacje promieniowania relikowego. Opublikowano za uprzejmą zgodą Davida Lesovitza.

Innym poważnym i jeszcze nie rozwiązany problemem jest wyjaśnienie genezy stałych fizycznych. Są one dopasowane do siebie z niewiarygodną dokładnością. Jak już wspomniano drobna zmiana którejkolwiek z nich uniemożliwiłaby istnienie jakichkolwiek dostatecznie trwałych struktur w dowolnej skali. Dlaczego stałe fizyczne są „dobre” z tak wielką dokładnością?

Istnieje wiele ciekawych pomysłów wyjaśnienia fenomenu stałych fizycznych. Jednym z nich jest znana w wielu odmianach tzw. zasada antropiczna. Najprościej można powiedzieć, że głosi ona następującą tezę: gdyby stałe fizyczne były inne niż są to nie byłoby nas. W odmianie teologicznej mówi ona, że istniejemy dzięki temu, że Bóg dobrał odpowiednie dla nas stałe fizyczne. Zasadę tą, a raczej sposób rozumowania, można napotkać w literaturze w bardzo wielu odmianach.

Inną, interesującą próbą wyjaśnienia niewiarygodnego dostrojenia stałych fizycznych jest hipoteza ewolucji wszechświatów Lee Smolina. Wedle niej istnieje olbrzymia ilość wszechświatów, a każdy z nich wyłonił się ze swojego wszechświata macierzystego – także potomka innego wszechświata itd. Miejscami „pączkowania” są czarne dziury, których ilość zależy od własności (czyli zestawu wartości stałych fizycznych) wszechświata. Jeśli każdy wszechświat potomny będzie różnił się nieco od macierzystego powstanie presja selekcyjna w kierunku wszechświatów o stałych fizycznych zapewniających powstanie maksymalnej liczby czarnych dziur. Choć

hipoteza ta wydawać się może niedorzeczna, nosi jednak wszelkie znamiona naukowości, przede wszystkim jej autor wykazał, że jest falsyfikowalna.

Gdyby udało się wykazać jej słuszność, nasz świat okazałby się wtedy tylko drobnym epizodem ewolucji zachodzącej w skali bliżej nieznanego metawszechświata.

Można sobie też wyobrazić bez odwoływania się do mechanizmów ewolucyjnych, że wszechświat wielokrotnie ekspandował za każdym razem z innym, losowym zestawem stałych fizycznych. Proces ten trwał dotąd aż dobrały się one tak jak to obecnie obserwujemy. Wszechświat mógł mieć na to czas.

Współcześni teoretycy spodziewają się, że znalezienie spójnego matematycznego opisu łączącego zjawiska kwantowe i grawitacyjne pozwoli w niedalekiej przyszłości wyjaśnić obserwowany obraz wszechświata wraz z jego stałymi fizycznymi. Być może któryś z przedstawionych tu pomysłów zyska w ten sposób pewną podbudowę.

Określenie wydarzenia powszechnie znanego jako Wielki Wybuch mianem katastrofy może wydawać się nieuzasadnione i sztuczne, niemniej jednak w niecałe trzy minuty z fluktuacji kwantowych powstała cała znana nam materia. Niemal z niczego powstało coś – to doprawdy katastrofalne wydarzenie – nagłe i powodujące diametralną zmianę.

Naturalne w tym miejscu wydaje się być pytanie o to, co było przed Wielkim Wybuchem. Najprostsza odpowiedź brzmi: nie było niczego o co można by zapytać. Wszelkie bowiem pytania zawsze w pewien sposób odnoszą się do znanego nam czasu i przestrzeni, a wcześniej nie było ich przecież. M.in. zwrócił na to uwagę św. Augustyn, stwierdzając, że skoro Bóg stworzył wszystko (łącznie z czasem), to nie ma sensu pytać o to co się działo przed aktem stworzenia.

Wielu naukowców nie godzi się jednak z takim stwierdzeniem. Być może przyszłe modele kwantowo-grawitacyjne dopuszczą wieczny bieg czasu. Liczne, mniej lub bardziej udane próby teoretycznego wglądu w historię przed Wielkim Wybuchem świadczą, że nie jest to wykluczone. Bez względu jednak na to wszechświat, w którym żyjemy miał początek. Jakiegokolwiek byłyby szczegóły tego wydarzenia wydaje się być rzeczą pewną, że dzięki niemu powstało wszystko co nas otacza.

Przebieg tego zdarzenia, dzięki teoretykom fizyki wysokich energii (i ich znakomitej znajomości matematyki), znany jest dość dokładnie od momentu 10^{-43} s po początku. Wcześniej, w tzw. erze Plancka średnia energia wszechświata była tak duża, że wszystkie znane rodzaje oddziaływań tzn. grawitacyjne, jądrowe słabe, jądrowe silne i elektromagnetyczne były prawdopodobnie jednym oddziaływaniem. Teoria takiego

oddziaływania, o czym wcześniej była mowa i fizyka tak skrajnie wielkich energii jeszcze nie istnieją. Stąd opis przebiegu powstania wszechświata można zacząć dopiero od chwili 10^{-43} s wynikającej z ekstrapolacji znanych praw fizyki. Słowo „dopiero” zdaje się zupełnie nie pasować do tak krótkiej chwili czasu. Jednak z punktu widzenia nauki jest ono zasadne, bowiem to co działo się przed tą chwilą jest niezwykle ważne i decydujące o własnościach wszechświata.

W chwili, od której można już zacząć opis czasoprzestrzeni miała ona nieprawdopodobnie małą średnicę 10^{-33} m (czyli daleko mniej niż średnica atomu⁶), temperaturę rzędu 10^{32} K i gęstość 10^{96} razy większą od wody. Oddziaływanie grawitacyjne przy tak wielkiej gęstości (w zwykłych warunkach dla dostatecznie małych obiektów fizycznych (cząstek) zaniedbywalnie małe) ma bardzo duże znaczenie. Wszechświatem rządziły wtedy tylko dwie siły grawitacja i siła elektronuklearna (zunifikowane oddziaływania jądrowe silne, słabe i elektromagnetyczne). Stan taki trwał do chwili kiedy od Wielkiego Wybuchu minęło 10^{-35} s. Na skutek ekspansji spadła temperatura, co spowodowało oddzielenie się silnego oddziaływania jądrowego od siły elektro-słabej (wciąż zunifikowanego oddziaływania jądrowego słabego i elektromagnetycznego). Podczas tego rozdzielenia wydzielona została olbrzymia ilość energii, która gwałtownie przyspieszyła ekspansję. W ciągu ok. 10^{-32} s wszechświat powiększył swoje rozmiary od miliony trylionów⁷ mniejszych od atomu wodoru do kilku centymetrów. Tak szalone tempo ekspansji tłumaczy obserwowaną obecnie wielkoskalową jednorodność wszechświata. Wydzielenie się energii podczas rozdziału oddziaływań pozwoliło też na zaistnienie materii, z której jesteśmy zbudowani. Przed erą inflacji materia istniała w postaci tzw. cząstek wirtualnych - okruszków materii żyjących dzięki pożyczce energii z próżni kwantowej. Pożyczka ta jednak była zawsze krótkotrwała dlatego żyły one krótko (tym krócej im większą pożyczły energię⁸). Proces inflacji stał się inwestorem pozwalającym cząstkom spłacić swoje długi. Dzięki niemu mogły one przejść od wirtualności do rzeczywistości. Tym

⁶ Atom nie jest tworem o dobrze określonej geometrii. Pojęcie jego średnicy można sprecyzować przyjmując, że jest to średnia odległość pomiędzy jądrami najbliższych atomów znajdujących się w monoatomowym (składającym się z jednego rodzaju atomów) ciele stałym.

⁷ milion → 1 000 000 = 10^6

miliard → 1 000 000 000 = 10^9

bilion → 1 000 000 000 000 = 10^{12}

biliard → 1 000 000 000 000 000 = 10^{15}

trylion → 1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}

tryliard → 1 000 000 000 000 000 000 000 = 10^{21}

⁸ Nieco więcej informacji o próżni kwantowej zawartych jest w rozdz. 10.

sposobem wszechświat poinflacyjny wypełnił się mieszaniną kwarków, elektronów, neutrin i fotonów oraz ich antycząstek.

Od tego miejsca teoria wspierana może być empirią, bowiem cząstki z tej fazy wszechświata dają się badać w ziemskich laboratoriach.

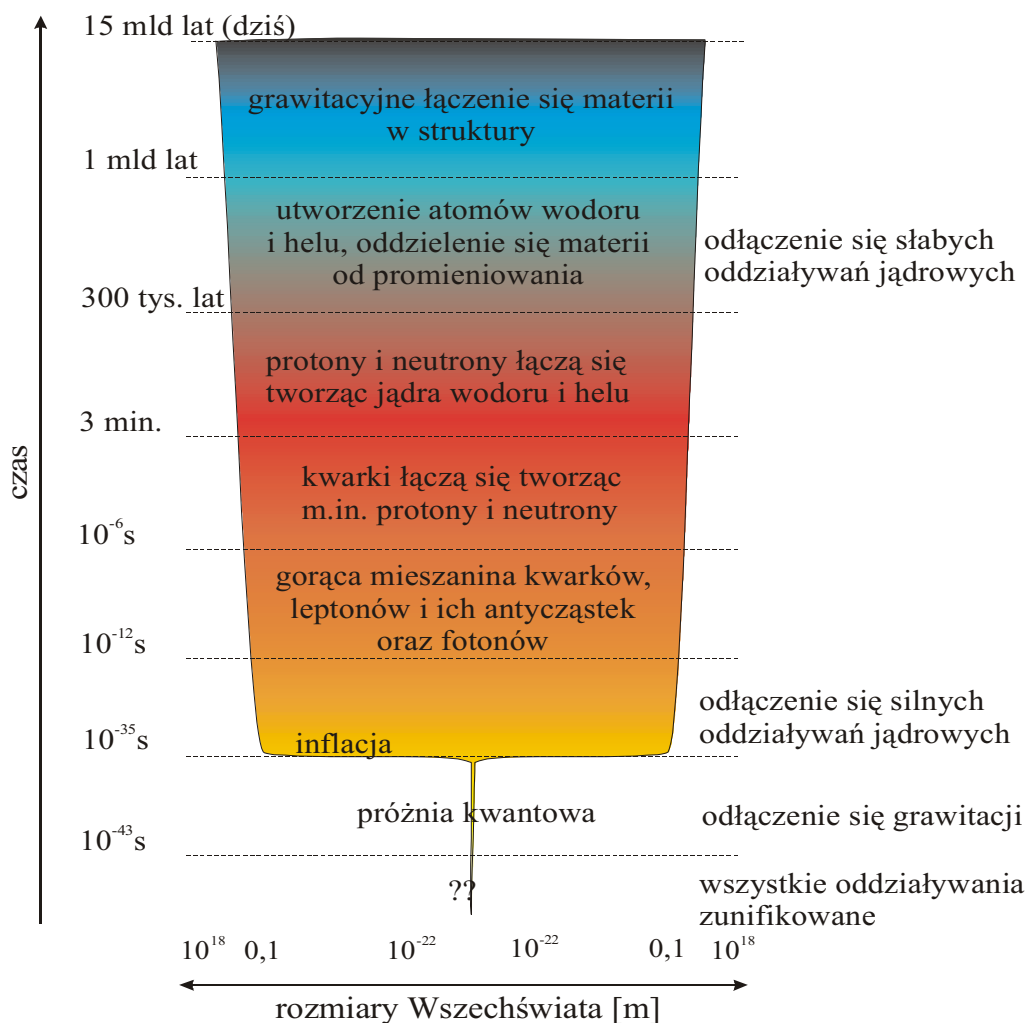
Powstałe po inflacji cząstki i antycząstki nieustannie anihilowały (unicestwiały się wzajemnie zamieniając na energię promieniowania elektromagnetycznego) i odwrotnie cząstki promieniowania dawały początek parom cząstka - antycząstka materii. Proces ten sprawił, że materia pozostawała z promieniowaniem w równowadze. Dalsza ekspansja i ochładzanie doprowadziły jednak do sytuacji kiedy energia spadła na tyle, że ustało wytwarzanie cząstek i antycząstek materii. Gdyby ich ilość była wtedy jednakowa dzisiejszy wszechświat wypełniony byłby tylko promieniowaniem. Natura jednak ujawniła swoje preferencje w stosunku do materii. Andriej Sacharow odkrył taką jej własność, że na każdy miliard antykwarków wyłaniających się z kwantowej próżni pojawia się miliard jeden kwark. Ta, wydawałoby się, śmiesznie mała nadwyżka to cała obecna materia wszechświata.

W chwili 10^{-6} s po Wielkim Wybuchu wszechświat był jeszcze bardzo gęsty. Temperatura spadła na tyle, że kwarki i antykwarki zostały uwięzione przez silne oddziaływanie jądrowe w protonach i neutronach oraz ich antycząstkach. Ponieważ protony i neutrony noszą wspólną nazwę hadronów (z grec. silny) era ta nazwana została erą hadronową. Trwała ona do 10^{-4} s po Wielkim Wybuchu. Po tej chwili nastąpiła era oddziaływań słabych (era leptonowa – lepton z grec. ozn. słaby). Gęstość materii była wciąż na tyle duża, że żadna cząstka (za wyjątkiem neutrin) nie mogła swobodnie się przemieścić bez zderzenia z inną. Wszechświat był całkowicie optycznie nieprzeźroczysty i pracowicie pozbywał się pozostałej jeszcze antymaterii. Na każdy miliard par elektron-antyelektron ocalał tylko jeden elektron.

W ciągu następnych stu sekund z neutronów i protonów usiłowały tworzyć się jądra ciężkiego wodoru, które jednak natychmiast były rozbijane przez fotony. Działo się tak dotąd aż temperatura spadła do 10^9 K, a gęstość do 100 kg/cm^3 . Po upływie stu sekund mogły już tworzyć się bez przeszkód nie tylko jądra ciężkiego wodoru ale także helu i litu. Wszechświat nadal się rozszerzał i po około trzech minutach jego energia była na tyle mała, że synteza cięższych jąder stała się niemożliwa. Ponieważ neutrony są cząstkami niestabilnymi (rozpadają się na proton, elektron i neutrino), a istnieją tylko dzięki protonom, które pochłaniając elektron zamieniają się w nie, można wyliczyć jakie proporcje tych cząstek występowały gdy wszechświat liczył sobie trzy minuty. W

ten sposób ustalono, że po fazie nukleosyntezy stosunek jąder helu do wodoru powinien wynosić 1:12. Co niezwykle ciekawe, dobrze zgadza się to z obserwacjami astronomicznymi. 300 000 lat po zakończeniu nukleosyntezy temperatura opadła do 3000 K co umożliwiło przechwycenie elektronów przez jądra atomowe. Nastąpił drastyczny spadek liczby swobodnych elektronów, co pozwoliło na rozprzestrzenianie się promieniowania, tego samego, które kilkanaście miliardów lat później zarejestrowali Arno i Penzias. Oczywiście jego temperatura na skutek nieustannej ekspansji znacznie zmalała i obecnie wynosi w przybliżeniu 2,7 K. Tak więc promieniowanie reliktowe tak naprawdę nie jest echem Wielkiego Wybuchu ale wydarzeń, które miały miejsce 300 000 lat później. Trzeba jednak zaznaczyć, że w porównaniu z obecnym wiekiem wszechświata to bardzo niewiele. Chwile wcześniejsze prawdopodobnie długo jeszcze opierać się będą obserwacjom, pozostając za optycznym parawanem.

Przedstawioną wyżej, w bardzo skrótowej formie, historię ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Najważniejsze wydarzenia z historii wszechświata

3. Gwiazdne katastrofy

300 000 lat od Wielkiego Wybuchu w stygnącym wszechświecie mogły pojawić się najprostsze atomy: wodoru, helu i litu. Obniżająca się stale temperatura doprowadziła jednak do zahamowania procesu nukleosyntezy. Początkowe, spowodowane inflacyjnym rozszerzaniem, niejednorodności zapoczątkowały skupianie się powstałych atomów w obłoki gazu stanowiące zaczątki przyszłych galaktyk. Obłoki te nie były jednorodne a gęściejsze ich drobne fragmenty kurcząc się pod wpływem własnej grawitacji zapaliły pierwsze w naszym świecie gwiazdy. Chociaż wydarzenie to skwitowane tu zostało jednym zdaniem od pojawienia się atomów do chwili zapalenia pierwszej gwiazdy musiało upłynąć około 50 milionów lat. Taki był początek również naszej galaktyki zwanej Droga Mleczną (fot. 2).



Fot. 2. Powyżej: kombinowany obraz naszej galaktyki otrzymany na podstawie danych satelity COBE dzięki umieszczonej na nim aparaturze do obserwacji nieba w zakresie bliskiej podczerwieni. Widok w płaszczyźnie galaktyki od strony północnej. Fot. NASA.



Po lewej: widok prostopadły do płaszczyzny dysku galaktyki spiralnej M 83. Uważa się, że jest ona bardzo zbliżona kształtem do Drogi Mlecznej. Nasz Układ Słoneczny znajduje się w połowie jednego z ramion takiej właśnie spirali. Fot. NASA.

Powstanie i ewolucja galaktyk i w ich obrębie gwiazd ma dla życia na Ziemi zasadnicze znaczenie. Bez nich nie byłoby życia. Łatwo się o tym przekonać oglądając rośliny, które całkowicie zależne są od światła słonecznego, a stanowią podstawowe ogniwo łańcuchów pokarmowych ziemskiej biosfery.

Samo światło i ciepło to jednak nie wszystko. Kluczową rolę dla życia na Ziemi mają też gwiazdne katastrofy.

Jeszcze całkiem niedawno nie potrafiono z dostateczną pewnością odpowiedzieć na pytanie: skąd we wszechświecie wzięły się pierwiastki ciężkie, skoro Wielki Wybuch wyprodukował tylko hel, wodór oraz niewielką ilość litu? Innymi słowy, nieznane było pochodzenie podstawowych cegiełek, z których składa się nasz świat, a także my sami. Teraz wiadomo, że odpowiedź tkwi właśnie wewnątrz gwiazd.

Obiekty takie rodzą się w przemierzających kosmiczne pustki wielkich obłokach gazowo-pyłowych. Z początku drobne siły, będące efektem np. wybuchu pobliskiej supernowej, naruszające równowagę obłoku, powodują, że w pewnym jego miejscu zaczyna nad innymi siłami dominować grawitacja. Początkuje to proces grawitacyjnego kurczenia, zwiększającego swe tempo w miarę wzrostu gęstości, co z kolei powoduje wzrost siły grawitacji. To dodatnie sprzężenie zwrotne sprawia, że końcowy etap jest niezwykle szybki. W efekcie, centralny obszar staje się tak bardzo gęsty i gorący, że następuje termonuklearny zapłon. Przemiana wodoru w hel jest procesem bardzo wydajnym energetycznie. Cztery jądra wodoru łączą się w jedno jądro helu, przy czym jego masa jest nieco niższa od sumy mas składników przed reakcją. Ten niedobór zamienia się na energię zgodnie ze słynną zależnością Einsteina $E = mc^2$. Ponieważ prędkość światła c ma bardzo dużą wartość, a we wzorze jest ona jeszcze podnoszona do kwadratu, uwalniana jest olbrzymia ilość energii, dzięki czemu powstałe ciśnienie gwałtownie zmienia kierunek ruchu materii z kurczenia się na ekspansję. Grawitacja gwiazdy jest jednak na tyle silna, że powstrzymuje proces ekspansji. Oscylacyjnie ustala się równowaga ciśnienia i grawitacji. Powoduje to szybsze wypalanie gwiazd masywniejszych bowiem większa siła grawitacji musi być zrównoważona przez odpowiednio większe ciśnienie co sprawia, że reakcje syntezy muszą przebiegać intensywniej. Mała gwiazda, nie przekraczająca 1,4 masy Słońca powoli wypala cały dostępny wodór.

Gdy paliwo wewnątrz gwiazdy zostanie zużyte, jej helowe jądro, wobec braku ciśnienia, kurczy się pod wpływem grawitacji. Gwiazda wchodzi wtedy w fazę tzw. czerwonego olbrzyma żyjąc jeszcze przez krótki czas dzięki spalaniu wodoru ze swojej

otoczki i ponad stukrotnie zwiększając swoją średnicę. Ostatecznie po takiej gwiazdzie zostaje tylko jądro tzw. biały karzeł, które powoli stygnąc przechodzi do ostatniej fazy czarnego karła – zimnego, ciemnego i bardzo, jak na ziemskie standardy, gęstego⁹ obiektu wielkości małej planety.

Wypalenie całego wodoru nie zawsze oznacza koniec życia gwiazdy, której losy zależne są od jej masy. Jeśli jest ona większa niż wspomniane 1,4 masy Słońca możliwe są dalsze reakcje jądrowe. Po wypaleniu wodoru i spadku wewnętrznego ciśnienia ponownie następuje grawitacyjne zapadanie, wzrasta temperatura i rozpoczyna się synteza helu, a dalej, po jego wyczerpaniu kolejnych pierwiastków (rys. 3). Reakcje te nie są już tak energetycznie wydajne jak synteza wodoru. Ostatnim pierwiastkiem, który nie może już ulegać dalszym przekształceniom jest żelazo ponieważ jądra następnych pierwiastków są cięższe od ich składników i kolejne reakcje wymagałyby dostarczenia energii z zewnątrz.

Proces syntezy pierwiastków cięższych nie jest wydajny. Ich udział w całkowitej masie gwiazdy jest rzędu pojedynczych procentów¹⁰.



Rys. 3. Przykładowy rozkład pierwiastków ciężkich wewnątrz masywnej gwiazdy. Astronomowie często przyrównują taką strukturę do cebuli. Cięższe pierwiastki na skutek działania siły grawitacji lokowane są bliżej jądra.

⁹ Typowa gęstość karłów wynosi 1000 kg/cm^3 . Tak wielka jej wartość wynika z grawitacyjnego zmiążdżenia atomów – bardzo gęstego upakowania elektronów i jąder. Ściśnięcie takie jest możliwe dzięki temu, że wszystkie atomy są właściwie puste w środku - 99,99 % ich objętości wypełnia próżnia. Gdyby udało się powiększyć atom tak dalece, że nukleony (protony i neutrony) wchodzące w skład jego jądra osiągnęłyby rozmiary rzędu 1 cm, to średnica całego atomu byłaby rzędu kilometra.

¹⁰ Słońce zawiera ich ok. 2%.

Gdy masywna gwiazda zużyje cały zapas paliwa następuje katastrofalny koniec. Jej jądro kurczy się w ciągu ułamka sekundy, co powoduje gwałtowną zmianę energii potencjalnej grawitacji na energię kinetyczną spadającej masy. Jeśli wytworzone siły nie zdołają pokonać jądrowego oporu materii zapadanie zostaje nagle zatrzymane. Powstaje wtedy gigantyczna fala uderzeniowa, która unosi część energii w otaczającą przestrzeń, odrzucając daleko w kosmos całą otoczkę gwiazdy. Wydarzenie to, nazywane wybuchem supernowej¹¹, jest tak gwałtowne, że blask obiektu kończącego w ten sposób życie może przewyższać jasność całej galaktyki. Obliczenia wykazały, że jest to tylko drobny procent całej energii wyzwolonej w trakcie kolapsu. Jej zdecydowana większość unoszona jest przez neutrino – super przenikliwe cząstki elementarne, które dzięki tej własności mogą z łatwością wydostać się na zewnątrz umierającej gwiazdy. Ten katastrofalny koniec, a w szczególności powstanie fali uderzeniowej, ma bardzo istotne znaczenie. Powoduje bowiem rozszanie części wyprodukowanych pierwiastków w rozległej okolicy. Energia uwalniana podczas takiego wybuchu umożliwia też syntezę pierwiastków cięższych niż żelazo. Bez katastrof supernowych tablica Mendelejewa byłaby bardzo uboga i kończyłaby się na liczbie atomowej 26, a nawet w ogóle mogłaby nie powstać, ponieważ niektóre pierwiastki cięższe od żelaza jak np. cynk, selen czy jod odgrywają ważną rolę w procesach zachodzących wewnątrz żywych organizmów – być może nie byłoby wtedy nikogo kto mógłby ją ułożyć.

Supernowe prawdopodobnie przyczyniają się też do intensyfikacji narodzin kolejnych pokoleń gwiazd, naruszając równowagę pobliskich obłoków gazowo pyłowych, co warunkuje rozpoczęcie lokalnych procesów ich kurczenia się.

Wybuchy supernowych obserwowane są stosunkowo często. Miały one miejsce nawet w naszej galaktyce. Ostatnio zdarzenie tego typu widziano w 1987 r. w rejonie mgławicy o nazwie Tarantula (zarejestrowano także pochodzące stamtąd neutrino). W wielu innych okolicach kosmosu odkryto też pozostałości po takich katastrofach. Dzięki nim wszechświat mógł wytworzyć w tyglach gwiazd dostateczną ilość planetarnego budulca.

Ostatecznie masywna gwiazda kończy swój żywot jako tzw. gwiazda neutronowa – materia ściśnięta do średnicy rzędu kilkudziesięciu kilometrów – niewiarygodnie małej w porównaniu z poprzednimi rozmiarami gwiazdy. Wewnątrz takiego obiektu znajdują

¹¹ Dokładnie supernowej typu II. Supernowe typu I ulegają raczej gwałtownemu spalaniu. Szczegóły fizyki supernowych znane są głównie dzięki symulacjom komputerowym. Przekonują one, że ich przebieg silnie zależy od masy wybuchającej gwiazdy.

się wyłącznie ciasno ułożone neutrony (stąd jego nazwa¹² - protony w warunkach wysokiego ciśnienia pochłaniają elektrony stając się neutronami). Gęstość takich tworów jest wprost niewyobrażalna – 100 milionów ton/cm³. Gwiazdy takie, na skutek obowiązywania zasady zachowania momentu pędu¹³, bardzo szybko wirują – nawet do kilkuset obrotów/s, a niektóre z nich, tzw. pulsary, emitują z rejonów biegunowych wąskie wiązki promieniowania elektromagnetycznego.

Możliwy jest jeszcze bardziej drastyczny epilog. Prawdopodobnie proces kurczenia szczególnie masywnych gwiazd nie kończy się powstaniem gwiazdy neutronowej. Jeśli masa jądra wybuchającej gwiazdy przekracza krytyczną wartość¹⁴ może ono zostać ściśnięte tak bardzo, że siły grawitacji zdolne będą do pokonania wszelkiego odpychania natury jądrowej powodując niekończące się zapadanie. Ogólna teoria względności przewiduje, że z jądra takiego obiektu zostanie tylko punkt i ekstremalnie silne pole grawitacyjne. W miejscu tym einsteinowska gęstość materii i krzywizna przestrzeni są nieskończenie wielkie, a czas przestaje płynąć. John Wheeler w 1969 r. nazwał taki obiekt czarną dziurą. Nazwa ta jest bardzo celna zważywszy na fakt, iż nawet światło nie jest w stanie oprzeć się grawitacyjnej sile takiego tworu¹⁵. Odkryto w kosmosie obiekty, które prawdopodobnie są czarnymi dziurami. Nie ma jednak, jak dotąd, co do tego całkowitej pewności. Przypuszcza się, że jądra wielu galaktyk zawierają takie obiekty. Być może także Droga Mleczna nie stanowi tu wyjątku. Mógłby o tym świadczyć, niedawno zauważony, skierowany ku jej centrum ruch gwiazd położonych w pobliżu jądra.

Jeden z takich obiektów, pokazany na fot. 3, został sfotografowany przez kosmiczny teleskop Hubble'a.

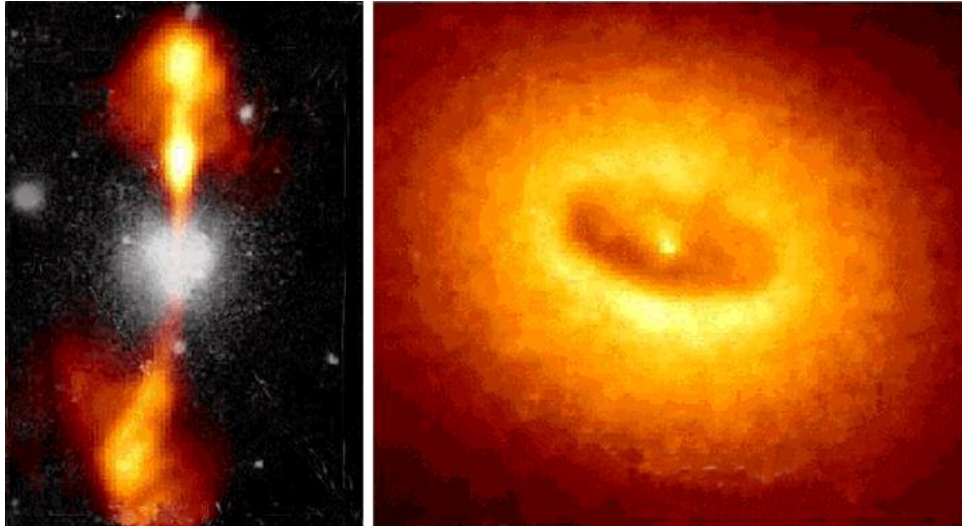
¹² Może też zachodzić proces opisany przez Geralda Browna i Hansa Bethego (drugi z wymienionych bardzo przyczynił się do wyjaśnienia mechanizmu funkcjonowania gwiazd), na skutek którego w gwieździe neutronowej pozostaną protony neutrony i kaony (cząstki uczestniczące w oddziaływaniach silnych). W zależności od tego co zawiera gwiazda neutronowa będzie kształtowała się jej masa. Jeśli dla żadnej gwiazdy neutronowej nie przekroczy ona ok. 1,5 masy Słońca będzie to dowód na słuszność teorii Browna-Bethego. Jeśli rzeczywiście okaże się ona poprawna będzie stanowić także poparcie dla hipotezy ewolucji wszechświatów Smolina, ponieważ wszechświat dążący do maksymalizacji liczby czarnych dziur powinien „wybrać” właśnie takie rozwiązanie.

Masy gwiazd neutronowych można mierzyć dość dokładnie w tzw. układach podwójnych, gdzie dwie gwiazdy obiegają siebie wzajemnie. Nieliczne „zważone” dotychczas gwiazdy tego typu nie przekroczyły wspomnianego progu 1,5 masy Słońca.

¹³ Dzięki tej zasadzie łyżwiarz figurowy, przyciągając do siebie ramiona w trakcie wykonywania piruetu, zwiększa prędkość wirowania.

¹⁴ Wartość tą wyznaczył Subrahmanyan Chandrasekhar, wynosi ona dla białych karłów ok. 1,44 masy Słońca, zaś dla żelaznych jąder masywnych gwiazd mieści się w granicach od 1,2 do 1,5 masy Słońca.

¹⁵ Można też powiedzieć, że pierwsza prędkość kosmiczna (tzn. prędkość pozwalająca uwolnić się spod wpływu pola grawitacyjnego) czarnej dziury przewyższa prędkość światła.



Fot. 3. Kandydat na czarną dziurę – NGC 4261. Po prawej znajduje się powiększenie centralnej części obiektu widocznego po lewej. Wewnątrz dysku (po prawej) znajduje się obiekt zdający się wsysać materię czemu towarzyszą, widoczne w zakresie rentgenowskim, wyrzuty gazu z biegunów (po lewej). Takie zachowanie obiektu odpowiada przewidywaniom teoretycznym. Szerokość obiektu po lewej wynosi ok. 88 000 lat świetlnych, zaś średnica widocznego z prawej strony centralnego dysku wynosi ok. 400 lat świetlnych. Fot. NASA.

Teoretyczne badania nad tymi wciąż jeszcze hipotetycznymi tworam, prowadzone z uwzględnieniem towarzyszących im efektów kwantowych wykazały, że nie są one jednak całkowicie czarne. Na początku lat 70. zauważono, że mimo wszystko mogą promieniować. Taką możliwość uzasadnił Stephen Hawking i jego nazwiskiem nazywano to promieniowanie.

Uwzględnienie w obliczeniach efektów kwantowych sprawia, iż w czarnej dziurze czas się nie kończy. Fenomen ten można wyjaśnić za pomocą zasady nieoznaczoności Heisenberga, która zezwala cząstkom na wędrówki poza horyzont zdarzeń¹⁶ (zasada ta szerzej omówiona jest w rozdz. 10). Wynik ten sprowokował szereg śmiałych spekulacji dotyczących istnienia za tą granicą czarnej dziury innych wszechświatów (por. ewolucja wszechświatów Lee Smolina w rozdz. 2). Historia tworzenia się takich obiektów ma bowiem wiele cech analogicznych do historii powstania wszechświata z zasadniczą jednakże różnicą: kolejność wydarzeń jest odwrotna. Może więc rzeczywiście czarne dziury są zaczątkami innych wszechświatów? Pomysł ten stanowi największe, jak

¹⁶ Horyzontem zdarzeń nazwano granicę, po przekroczeniu której nic, nawet światło nie może już pokonać pola grawitacyjnego czarnej dziury.

dotychczas, przeciwstawienie się antropocentrycznemu sposobowi myślenia na jakie człowiek kiedykolwiek się zdobył i choćby tylko z tego względu zasługuje on na uwagę.

Hipoteza ta jest równie interesująca co i niepokojąca. Sugeruje ona bowiem, że nie tylko nasz wszechświat matkuje innym, ale i sam jest dzieckiem - powstał po drugiej stronie czarnej dziury utworzonej w innym wszechświecie. Ciąg kreacji zdaje się tu nie mieć końca. Takie postawienie sprawy niweczy, a w każdym razie oddala w nieznane, ludzką możliwość dogłębnego poznania całego świata. Wszechświaty wyrastające z czarnych dziur na zawsze pozostaną dla nas nieznane. Nie znaczy to jednak, że pomysł jest zupełnie chybiony. Być może uda się nawet obserwacyjnie sprawdzić jego realność. Bez względu jednak na to w jaki sposób gwiazda kończy swój żywot, wyprodukowane w jej wnętrzu atomy, rozsiane następnie po wszechświecie w trakcie niezliczonej ilości gwiazdnych katastrof, stanowią budulec, z którego składają się nasze ciała i wszystko to z czego złożona jest dostępna nam rzeczywistość.

4. Dzieje Planet

Niektórym gwiazdom towarzyszą planety. Pierwszym człowiekiem, który odważył się wypowiedzieć podobne twierdzenie był Giordano Bruno. Za ten i inne śmiałe poglądy spłonął on na stosie w 1600 r. Choć w wielu kwestiach rzeczywiście się mylił¹⁷, przypuszczenie dotyczące istnienia innych układów planetarnych okazało się słuszne. Od śmierci tego uczonego minęło prawie 400 lat nim odkrycie planet poza Układem Słonecznym stało się faktem.

Wykrycie tych obiektów jest trudne z dwóch powodów. Po pierwsze świecą one tylko światłem odbitym, które jest zazwyczaj nikłe, a po drugie ich rozmiary są bardzo małe. Aby sobie to uzmysłować wystarczy przypatrzeć się naszemu Układowi Słonecznemu, który praktycznie składa się z samego Słońca. Zawiera ono bowiem 99, 85% jego całkowitej masy. Resztę rozdzielili między sobą planety (0,135%), komety (0.01%), naturalne satelity (0,00005%) i inne twory.

Mimo to w 1992 r. polski astronom Aleksander Wolszczan po raz pierwszy dowiódł istnienia innego układu planetarnego (wokół pulsara PSR 1257). To epokowe odkrycie zostało przyjęte dość chłodno. Po nim też nastąpiły kolejne¹⁸, również nie budząc szerszego oddźwięku. Stało się tak być może dlatego, że odkryć tego rodzaju od dawna się spodziewano. Nie przewróciły też one dotychczasowych poglądów, a wręcz ugruntowały niektóre nasze wyobrażenia na temat budowy wszechświata. Nie ma tutaj większego znaczenia czy odkryte układy są podobne do naszego i czy zrodziły życie. Ważne jest to, że je odkryto. Fakt ten zdaje się świadczyć o ich powszechności, tak samo jak znalezienie igły w olbrzymim stogu siana świadczy raczej o dużej zawartości w nim igieł niż o niewiarygodnym szczęściu szukającego. Powszechność, tak jak w przypadku gwiazd, może oznaczać powtarzalność cech. Z tego powodu twierdzenie, że nasz Układ Słoneczny należy do wyjątkowych nie musi być prawdziwe. Historia wielkich odkryć przekonuje raczej o tym, że taki antropocentryczny sposób rozumowania nie wytrzymuje próby czasu.

¹⁷ Twierdził, że jest nieskończenie wiele Słońc, wokół których krąży nieskończenie wiele Ziemi. Jeśli hipoteza Smolina okaże się czymś więcej niż śmiałą spekulacją, być może miał on jednak rację.

¹⁸ W 1995 r. Michel Mayer i Didier Queloz odkryli olbrzymią planetę wokół gwiazdy 51 Peg w gwiazdozbiornie Pegaza. Jest ona pierwsza z odkrytych planet, na której nie można wykluczyć istnienia życia.

Nasz układ planetarny powstał ok. 5 mld lat temu na zgliszczach wielu gwiazd, które katastrofalnie kończąc swój żywot, rozsiewały po rozległej okolicy naszej galaktyki wyprodukowane przez siebie pierwiastki. Cząsteczki gwiazdnej materii wędrowały przez kosmos popychane strumieniami dochodzących zewsząd innych cząstek oraz siłami grawitacji. Niektóre z nich utworzyły jeden z niezliczonej ilości obłoków gazowo-pyłowych (tzw. obłoków molekularnych), który stał się zaczątkiem naszego Układu Słonecznego. Podlegając zasadzie zachowania momentu pędu, obłok zaczął wirować wokół swojego środka ciężkości stopniowo przekształcając się w tzw. dysk akrecyjny – efekt równowagi między siłami grawitacji, a siłą odśrodkową. Po upływie ok. 50 mln lat doszło do syntezy wodoru w centralnej jego części, gdzie wzrastająca wraz z ciśnieniem temperatura przekroczyła wymagany próg. Zapłon gwiazdy podobnie jak wybuch gigantycznej bomby wodorowej wytworzył falę uderzeniową, która wymiotła w przestrzeń kosmiczną niemal całą materię znajdującą się w pobliżu. Jej grawitacja po pewnym czasie zatrzymała jednak część tej materii na około gwiazdnej orbicie oraz termojądrowy piec w pobliżu centrum masy. Odtąd siły działające na gwiazdę – grawitacja i ciśnienie - znajdować się będą w delikatnej równowadze aż do momentu wyczerpania zapasów paliwa. Zanim jeszcze ukształtowały się planety wzdłuż linii sił pola magnetycznego Słońce wyrzucało wąskie strumienie cząstek pozbywając się w ten sposób nadmiarowego momentu pędu i zwalniając tempo obrotów (obecnie 1/miesiąc). Zatrzymane na orbicie okruchy materii wirując wokół gwiazdy i wielokrotnie się zderzając między sobą tworzyły coraz to większe obiekty - planetozymany. Rosnąca wraz ze wzrostem mas kolidujących ciał energia zderzeń osiągała takie wartości, że często dochodziło do ich stapiania, a płynna materia pod wpływem sił grawitacyjnych przyjmowała energetycznie optymalne, zbliżone do kul kształty. Przypuszczalnie w ten sposób tworzyły się planety Układu Słonecznego¹⁹. Kolidacje te trwają do dziś. Ich intensywność znacznie jednak spadła ponieważ kosmiczny gruz stał się rzadszy i do pewnego stopnia uporządkowany. Część jego krąży po dość stabilnych trajektoriach za orbitą Neptuna tworząc tzw. pas Kuipera, a część prawdopodobnie wyrzucona została w zewnętrzne rejony Układu Słonecznego i weszła w skład tzw. chmury Öpika-Oorta. Obiekty z pasa Kuipera są dość duże. Ich wymiary mogą przekraczać 250 km.

¹⁹ Opisany tu scenariusz wymyślił ponad 200 lat temu Pierre Simon de Laplace – słynny francuski matematyk. Badania i obserwacje przeprowadzone w ciągu ostatniej dekady (m. in. za pomocą kosmicznego teleskopu Hubble'a) potwierdziły słuszność tej hipotezy wyjaśniając niektóre szczegóły planetogenezy.

Wiele faktów świadczy o tym, że w okresie powstawania planet i jeszcze długo po ich uformowaniu zderzenia były dramatyczne i powszechne. Misje sond kosmicznych umożliwiły odkrycie wielu kraterów uderzeniowych na powierzchniach planet i ich księżyców, a nawet na powierzchniach planetoid. Używając lornetki ślady potężnych zderzeń można z łatwością dostrzec na Księżycu w postaci kraterów sięgających średnicą dziesiątek kilometrów. Największy z nich Bailly ma średnicę aż 270 km. Niektóre wypełnione są zastygłą lawą, która powstała na skutek stopienia skał po zderzeniu. Na Księżycu, podobnie jak na wielu innych ciałach kosmicznych nie występują procesy erozji, stąd kraterki są dobrze widoczne (fot 4 i 5).



Fot. 4. Usłany kraterami fragment powierzchni Księżyca.

W centrum fotografii widoczny jest krater uderzeniowy Stöfler, częściowo naruszony przez krater Faraday i wiele mniejszych kraterów. Fot. NASA



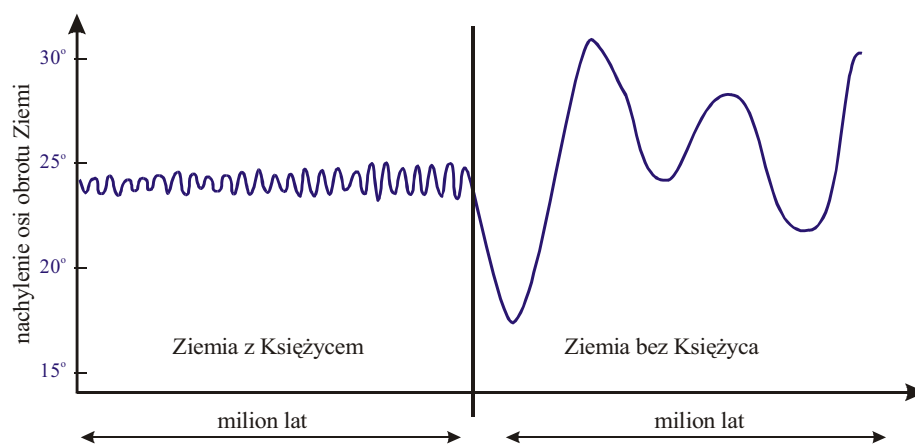
Fot. 5. Asteroida Ida sfotografowana przez sondę Galileo z dobrze widocznymi kraterami uderzeniowymi. Fot. NASA.

Drastyczne kolizje miały też miejsce w historii Ziemi. Efektem jednej z nich jest nasz najbliższy satelita - Księżyc. Próbkę jego gruntu zebrane dzięki lotom załogowym znacznie uwiarygodniły tę hipotezę.

Około 4,5 mld lat temu olbrzymie ciało mniej więcej wielkości Marsa uderzyło w powierzchnię Ziemi. Słaba jej skorupa została rozerwana aż po jądro, a duża ilość odłamków wyrzucona w kosmos. Część z nich zatrzymało ziemskie pole grawitacyjne i zmusiło do ruchu po orbicie tworząc pierścienie podobne do tych, które krążą obecnie wokół Saturna. Jądro ciała, które uderzyło, prawdopodobnie w całości utkwilo wewnątrz naszej planety. Wyzwolona energia była tak wielka, że częściowo Ziemia w

obrębie swojego płaszcza uległa stopieniu. Istniejąca wtedy być może pierwotna atmosfera wyparowała bez śladu. Z orbitującego gruzu, dzięki mechanizmom, podobnym do tych, które wcześniej utworzyły planety, uformował się Księżyc.

Choć istnieją też inne scenariusze²⁰, ten wydaje się najbardziej prawdopodobny. Przypuszczalne skutki takiej kolizji nie przeczą obserwowanym dziś faktom, takim jak np. jednakowy wiek oraz skład chemiczny Ziemi i Księżyca, a także zbyt duża jak na parametry fizyczne, prędkość rotacji naszego globu. Trzeba podkreślić, że ostatni z tych parametrów jest odpowiedzialny za długość doby. Jakkolwiek dokładnie nie wiadomo jaki wpływ miało opisywane zdarzenie na losy Ziemi uzasadnionym wydaje się twierdzenie, że był on zasadniczy. Zderzenie pozostawiło swoje piętno zarówno na klimacie jak i na budowie geologicznej naszej planety, a co za tym idzie silnie wpłynęło na kształt życia, które miało się w przyszłości narodzić. Przeprowadzone symulacje komputerowe wykazały też, że Księżyc pełni bardzo ważną rolę stabilizatora nachylenia osi obrotu Ziemi do płaszczyzny ekliptyki²¹, a tym samym jej nasłonecznienia. Na rys. 4 przedstawione są wyniki symulacji komputerowych przeprowadzonych przez Jacquesa Laskara i współpracowników.



Rys. 4. Na wykresie widoczne są wahania nachylenia osi obrotu Ziemi w stosunku do płaszczyzny ekliptyki przed i po teoretycznym usunięciu Księżyca. W symulacji uwzględniono także wpływ pozostałych planet Układu Słonecznego. Widocznym zmianom nachylenia odpowiadają zmiany nasłonecznienia Ziemi, które w określonych jej rejonach mogą sięgać 20 %.

²⁰ Obok opisanego brano pod uwagę jeszcze dwa inne: pierwszy sugerował przechwycenie przez ziemskie pole grawitacyjne przelatującego w pobliżu obiektu, drugi zaś oderwanie się od Ziemi jej fragmentu na skutek działania siły odśrodkowej i ewentualnie zewnętrznych sił grawitacji (sił pływowych) na płynną jeszcze powierzchnię naszej planety.

²¹ Ekliptyka jest okręgiem na niebie, po którym pozornie porusza się Słońce. Odpowiada ona rocznemu ruchowi orbitalnemu Ziemi.

Wg teorii Milankowicia wahania tego nachylenia są odpowiedzialne za obniżanie się temperatury w epokach lodowcowych. Gdyby nie Księżyc, wpływ grawitacji planet mógłby w sposób niemal dowolny zmieniać to nachylenie. Tak właśnie dzieje się w przypadku innych planet, które nie posiadają masywnego satelity (tab. 1).

Merkury	2,0°	Mars	25,2°	Uran	97,9°
Wenus	177,3°	Jowisz	3,1°	Neptun	29,6°
Ziemia	23,45°	Saturn	26,73°	Pluton	122,5°

Tab. 1. Nachylenie płaszczyzn równikowych planet Układu Słonecznego do płaszczyzn ich orbit.

Panuje tu zupełna dowolność. Wenus została przewrócona niemal o 180° i wiruje w przeciwnym kierunku niż reszta planet. Uran „leży” na boku. Jedyne Merkury i Jowisz utrzymują bliskie pionu ustawienia. Także Pluton²² uległ przewróceniu. Zmiany nachylenia osi obrotu, a nawet całej orbity do płaszczyzny ekliptyki mogły być spowodowane także kosmicznymi kolizjami, które być może miały również swój udział w zmianach prędkości wirowania planet. Odbiegają one, nieraz znacznie, od wartości wynikających z fizycznych własności rotujących układów. Wenus przypomina rozmiarami Ziemię, a doba na tej planecie trwa 243 dni. Z kolei doba na Marsie (24 h 37’) trwa prawie tyle co na Ziemi (23 h 56’) mimo, że Mars ma średnicę równikową niemal dwukrotnie mniejszą od ziemskiej. Rozbieżności są na tyle duże, że trudno je tłumaczyć grawitacyjnym wpływem pozostałych planet. Mogły je natomiast wywołać kosmiczne zderzenia, których liczne ślady można zaobserwować na powierzchniach wszystkich planet. Niektóre z nich były szczególnie drastyczne, jak choćby to, które utworzyło na Merkurym Równinę Żaru o średnicy 1300 km jednocześnie wypiętrzając góry po drugiej stronie tej planety. Nieprzeciętnie duże jądro Merkurego zdaje się też sugerować, że poprzez gigantyczne zderzenia został on niemal pozbawiony swojego skalnego płaszcza.

Prawdopodobieństwo zderzenia wciąż jest stosunkowo wysokie, a Ziemia nie stanowi tu żadnego wyjątku. Pomimo działania erozji i zjawisk tektonicznych odnaleziono na jej powierzchni prawie 200 kraterów pochodzenia meteorytowego (prawdopodobnie jest to ok. 1% wszystkich)²³.

²² Ostatnio astronomowie są skłonni przyznać, zwarzywszy na szczególne cechy Plutona, że jest on tylko dużą planetoidą.

²³ Szersze informacje na ten temat zawarte są w rozdziale 6.

W lipcu 1994 r. astronomowie byli świadkami zderzenia 21 fragmentów komety Shoemaker-Levy 9 z Jowiszem. Chociaż, jak oszacowano, żaden z lecących odłamków rozmiarami nie przekraczał 1 km to jednak na skutek znacznej ich prędkości wynoszącej ok. 220 000 km/h, energia wyzwolona podczas zderzenia była tak wielka, że ciemne plamy, które powstały w wyniku uderzenia każdego z kawałków komety, swą wielkością przekraczały średnicę Ziemi. Świadczy to o niezwyklej sile takich katastrof. W tym wypadku zderzenie nie wpłynęło w sposób zasadniczy na losy Jowisza ze względu na jego olbrzymie rozmiary. Gdyby jednak na drodze komety znalazła się planeta mniejszych rozmiarów zapewne byłoby inaczej.

Taki obraz Układu Słonecznego stoi w sprzeczności z utartym w ludzkiej świadomości wyobrażeniem majestatycznego, pełnego dostojności i precyzji, ruchu zawartych w nim obiektów. Uświadamia też przerażającą prawdę o tym, że nasz świat jest tylko igraszka potężnych sił natury.

5. Ogień, woda i życie

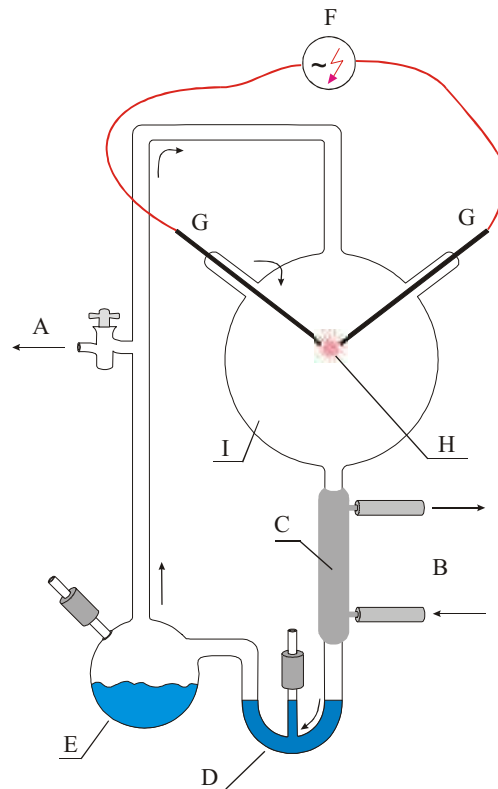
Pierwszym ziemskim żywiołem, ok. 4,6 mld lat temu, był ogień unoszący się nad powierzchnią rozżarzonych płynnych skał. Po upływie kilku milionów lat powierzchnia wystygła i wytworzyła się stała skorupa. Wzmoczona działalność wulkaniczna oraz przypuszczalnie częste zderzenia z meteoroidami przyczyniły się w końcu do wytworzenia gęstej gazowo-pyłowej atmosfery. Kiedy ostygła ona na tyle, że zawarta w niej para wodna mogła się skroplić spadł pierwszy w dziejach Ziemi deszcz. Opadając na gorącą powierzchnię nie miał jednak szans utworzenia choćby małej kałuży – każda kropla natychmiast parowała. Proces ten, powodując wzmożony transport ciepła w górne warstwy atmosfery i ostatecznie w zimną przestrzeń kosmiczną dość szybko ochłodził powierzchnię Ziemi. Trudno sobie wyobrazić tę gigantyczną saunę, po której, w konsekwencji ochłodzenia, nastąpiły trwające miliony lat nieprzerwane oberwania chmur i towarzyszące im monstrualne burze. Nie da się tego w żaden sposób porównać ze zjawiskami pogodowymi, które obecnie powszechnie nazywa się kataklizmami.

Na ostygłej już powierzchni, miliard lat po ogniu, mogła pojawić się płynna woda – drugi żywioł. Do niedawna sądzono, że ziemskie oceany w całości zostały „wypoccone” przez wulkanizm. Prawdopodobnie nie jest to jednak całkowicie zgodne z prawdą. Uważa się, że wody na Ziemi jest stanowczo za dużo aby mogła się ona pojawić w wyniku wyłącznie zjawisk wulkanicznych. Duża jej część mogła przybyć z kosmosu. Przeprowadzone za pomocą sond badania komety Halleya przekonały, że stosunek wchodzących w jej skład izotopów wodoru, jednego z dwóch składników wody, jest bardzo zbliżony do obserwowanego w ziemskich oceanach. W składzie chemicznym wielu komet odkryto też złożone substancje organiczne. Konfrontacja tych informacji z prawdopodobnie nad wyraz częstym bombardowaniem Ziemi przez komety może sugerować, że na oblicze naszej planety w tym czasie, a w szczególności jej chemizm miały wpływ liczne, większe lub mniejsze katastrofy. Wyzwalając znaczne ilości energii, były też one w stanie wielokrotnie pozbawiać Ziemię atmosfery, a także zreorganizować strukturę jej skorupy. Przyniesione przez nie proste cząstki organiczne mogły także mieć ważne znaczenie w procesie powstawania życia biologicznego.

Unoszące się w pierwotnej atmosferze substancje organiczne wypłukiwane były przez deszcze i spadały do świeżo utworzonych oceanów. Nie wykluczone, że już wtedy powstawały struktury zdolne do autopowielania. Te proste zawiązki życia mogły też wielokrotnie ulegać zagładzie powodowanej przez wciąż jeszcze liczne zderzenia. Jakkolwiek do dziś nie wiadomo w jaki sposób narodziło się życie to jednak wszystkie teorie zmierzające w sposób naturalny do wyjaśnienia tego fenomenu oparte są na własnościach wody. Wyniki wielu badań i eksperymentów rzeczywiście zdają się świadczyć o praoceanicznej genezie życia. Jest też prawdopodobne, zgodnie z tzw. hipotezą panspermii, że jego zarodki dotarły na Ziemię wraz z niesioną przez komety wodą lub wewnątrz innych, przybyłych z głębi kosmosu ciał. Potwierdzenie wymienionej hipotezy odsunęłoby w nieznane nasze szanse zrozumienia genezy życia. Życie może okazać się niesłychanie nieprawdopodobnym przypadkiem albo nieuniknioną konsekwencją istnienia wszechświata. Bez względu jednak na to co przyniosą przyszłe badania, biorąc tylko pod uwagę poprzedzające pojawienie się życia (oraz późniejsze) liczne katastrofy, jeśli tylko uznać je za losowe, trzeba przyjąć, że jego ziemską formę to całkowity przypadek.

Pierwotne organizmy prawdopodobnie nie potrafiły wykorzystywać promieniowania słonecznego. Prymitywne procesy fotosyntezy pojawiły się dużo później. Produktem tego procesu jest bowiem tlen, a badania najstarszych pokładów geologicznych raczej stwierdzają brak większych ilości tego gazu w pierwotnej atmosferze. Pierwociny życia do swej egzystencji i autopowielania potrzebowały cząstek chemicznych dostarczających im niezbędnego budulca i energii. Stężenie tych cząstek w pierwotnych oceanach było bardzo małe. Częściowo wytworzone wskutek efektu Millera (rys. 5), a częściowo, być może, przybyłe z kosmosu utrzymywały się one niedaleko powierzchni wody chronione przed promieniowaniem ultrafioletowym przez cienką, pochodzącą z fotodysocjacji, warstwę tlenu²⁴.

²⁴ Warstwa ta mogła być utrzymywana dzięki efektowi Ureya. Stanowi on przykład fizycznego, ujemnego sprzężenia zwrotnego. Na skutek fotodysocjacji polegającej na rozbijaniu wody na wodór i tlen, poprzez oddziaływanie ultrafioletowego promieniowania słonecznego, wytworzyła się nad powierzchnią wody cienka warstwa tlenu. Gaz ten, posiadając właściwości filtrujące, stopniowo odcinał dopływ promieniowania, dzięki któremu powstał. Odcięcie to powodowało spadek wydajności procesu, a tym samym zmniejszanie grubości warstwy tlenu. Cieńsza z kolei warstwa tlenu ponownie wzmagala fotodysocjację. W rezultacie grubość tlenowej warstwy filtrującej ustalała się na określonym poziomie.



Rys. 5. Schemat doświadczenia Millera. A – połączenie z pompą próżniową, B - obieg wody chłodzącej, C – skraplacz, D – syfon, E – kolba z wrzącą wodą, F – generator wysokiego napięcia, G - elektrody, H – wyładowania elektryczne, I – mieszanina metanu, pary wodnej, wodoru i amoniaku.

Stanley Miller w wyniku tego doświadczenia, modelującego burze w pierwotnej atmosferze, otrzymał niewielkie ilości prostych aminokwasów, lipidów, a nawet nukleotydów. Stanowi ono dowód na możliwość samorzutnej syntezy cząstek organicznych w pierwotnej atmosferze. Doświadczenie to było wielokrotnie powtarzane i to przy użyciu różnych źródeł energii (nawet tak nietypowych jak ultradźwięki) – niemal zawsze z pozytywnym skutkiem.

Procesy syntezy cząstek organicznych były jednak mało wydajne, a na dodatek ich produkty szybko ulegały ponownemu rozpadowi. Mechanizm ten ustalił stężenie produktów reakcji na stałym, niewielkim poziomie. Choć w mieszaninie molekuł związki organiczne stanowiły zupełny margines, mogły one w sprzyjających warunkach ulegać zagęszczeniu. W szczególności idealnym do tego miejscem są płyuczyny. Parująca tam woda powodowała zagęszczanie pierwotnego bulionu. Mogły do tego też przyczyniać się procesy adsorpcji²⁵ na powierzchni leżących na dnie płyuczyn minerałów.

²⁵ Wiązanie cząstek cieczy lub gazów na powierzchni ciał stałych.

Zagęszczenie cząstek organicznych mogło też powstać mechanicznie w płytkich i nasłonecznionych zakolach rzek.

Jak doszło do zapoczątkowania życia na razie nie wiadomo. Głównym problemem jest wyjaśnienie w jaki sposób owe cząstki organiczne, nawet znacznie zagęszczone, mogły zapoczątkować choćby najprostsze reakcje autokatalityczne.

Jak dotąd zaproponowano właściwie trzy hipotezy (oraz całe mnóstwo ich wariantów) zmierzające do rozwiązania tej zagadki.

Jedną z nich jest koncepcja bulionu pierwotnego Oparina-Haldane'a, która mówi niewiele więcej niż to, że w wodzie zawierającej mieszaninę cząstek organicznych życie pojawia się samorzutnie po dostatecznie długim czasie. Innymi słowy natura próbowała do skutku. Miała na to prawdopodobnie daleko ponad miliard lat, co nawet przy bardzo małym zagęszczeniu cząstek w praoceanie, daje olbrzymią liczbę prób. Trzeba też pamiętać, że reakcje te zasilane były wysokoenergetycznym promieniowaniem słońca (wobec braku tlenu w atmosferze), energią wyładowań atmosferycznych, trzęsień Ziemi, erupcji wulkanicznych oraz licznych uderzeń meteorytów. W obecności tak wielkich ilości energii i niezliczonych prób trwających ponad miliard lat do powstania życia wystarczył tylko jeden sukces²⁶. Pierwszy organizm był też prawdopodobnie niezwykle prosty, a jego funkcjonowanie wcale nie musiało być oparte o procesy biochemiczne wykorzystywane przez obecne organizmy.

Drugą interesującą propozycją jest zaproponowana przez Cairns-Smitha hipoteza przejęcia władzy genetycznej. Wg niej pierwszymi organizmami ziemskimi były kryształy jakiegoś minerału ilastego (np. kaolinitu). Kryształy rzeczywiście zdolne są do wzrostu, a także powielania błędów, spełniają zatem podstawowe warunki konieczne do ewolucji. Mają też one zdolności adsorbowania różnych cząstek organicznych. Te zaś mogły z czasem wytworzyć określone mechanizmy autokatalityczne pozwalające im na samodzielne funkcjonowanie.

Bardzo interesująca jest też idea abiotycznego powstania życia w głębi litosfery lub też w obrębie źródeł hydrotermalnych położonych w strefach dennych oceanów. Obydwa te środowiska, zdawałoby się skrajnie nieprzyjazne, wręcz kipią życiem. Podwyższona temperatura, wielkie ciśnienie i turbulentny przepływ nagrzonej wody sprzyja reakcjom chemicznym. W takich właśnie warunkach spotyka się najbardziej prymitywne

²⁶ Zasadniczy spór pomiędzy kreacjonistami a ewolucjonistami polega w zasadzie na rozbieżnych ocenach prawdopodobieństwa tego sukcesu. Wydaje się jednak, że wciąż niewielka wiedza o możliwej budowie pierwotnych organizmów w ogóle nie upoważnia do takich ocen. Pewne nadzieje na rozstrzygnięcie sporu budzi dynamicznie rozwijająca się biologia molekularna.

organizmy. Co ciekawe, często są one autotroficzne. Przykładem mogą być bakterie metabolizujące związki siarki z rodzaju *Thiobacillus*. Niektóre z nich potrafią nawet, w zależności od sytuacji, korzystać z kilku różnych źródeł pożywienia w tym także ze światła. Spotyka się też wśród bakterii takie kuriozalne sposoby odżywiania jak redukcja azotanu do gazowego azotu z wykorzystaniem wodoru (*Micrococcus denitrificans*).

Chociaż żadna z wymienionych hipotez nie wyjaśnia zadowalająco biogenezy to jednak wydaje się, że któraś może zawierać ziarno prawdy. Kwestia ta zostanie być może rozstrzygnięta w ciągu następnego ćwierćwiecza.

Jakikolwiek byłby jednak początek życia wydaje się, że pierwszą przeszkodą jaką napotkały pierwotne organizmy na swojej drodze rozwoju był głód (rozumiany tu jako brak źródeł energii i budulca). Jeśli nawet, jak uważa wielu naukowców, pierwociny życia pojawiły się wokół źródeł siarkowych na dnie praoceanów, to zważywszy na lokalny zasięg tych źródeł również one, rozmnażając się, musiały napotkać na barierę głodu stabilizującą populację na określonym, zapewne niewysokim poziomie. Także teraz bariera ta stanowi główny regulator wzrostu populacji organizmów. Łatwo obliczyć, że mikroskopijna bakteria *Escherichia Coli*, żyjąca w przewodzie pokarmowym człowieka, odpowiednio karmiona jest w stanie, w ciągu kilkudziesięciu godzin, rozmnożyć się tworząc kolonię o masie ponad dwukrotnie przekraczającej masę ziemskiego globu²⁷. Raczej nigdy populacja żadnego z organizmów nie rozrośnie się do tak monstrualnych rozmiarów. Głównym tego powodem, obok ograniczeń terytorialnych jest brak pożywienia.

Życie jest jednak bardzo żywotne i do tego ekspansywne. Pierwotne organizmy dzięki mutacjom, czyli drobnym modyfikacjom kodu²⁸, w którym zapisane są informacje o budowie organizmu, prawdopodobnie dość łatwo pokonały barierę głodu. Trzeba też podkreślić, że ze względu na brak w atmosferze tlenu redukującego siłę oddziaływania ultrafioletowego promieniowania słonecznego mutacje te musiały być znacznie częstsze niż obecnie²⁹. Dzięki nim, nawet najprymitywniejsze organizmy mogą się zmieniać, o

²⁷ Przyjmując przeciętną masę bakterii rzędu 10^{-12} g i tempo podziału 4 razy/godzinę po upływie 72 godzin otrzymuje się $\sim 5 \cdot 10^{72}$ g czyli ponad 2 razy więcej niż masa całej Ziemi.

²⁸ Kod ten, znany jako kod DNA, na początku kariery życia mógł być zupełnie inny, niekoniecznie nawet złożony z cząstek organicznych. Mutacja jest bardzo rzadkim i raczej drobnym błędem kopiowania tego kodu w trakcie podziału komórkowego. Błędy tego typu w zdecydowanej większości przypadków nic nie zmieniają w funkcjonowaniu organizmu albo są dla niego szkodliwe. Niemniej, niewielka (a nawet znikoma) ich ilość, może być dla zmutowanego organizmu korzystna.

²⁹ Powstająca na skutek działalności cywilizacji dziura ozonowa także, choć w dużo mniejszym stopniu, zwiększa prawdopodobieństwo występowania mutacji.

ile istnieje ku temu powód w postaci presji otoczenia. Osobnik, który przez zupełnie przypadkową mutację, otrzymał np. zdolność spożytkowania choćby jednej, w całym swoim życiu, cząstki pokarmu, z którego inni nie potrafią korzystać, zyskiwał w erze głodu statystyczną przewagę nad konkurentami. Mutacja taka, nie mająca przy obfitości pokarmu żadnego znaczenia, w obliczu głodu staje się cenna. Statystyczna przewaga przekłada się z kolei na minimalnie szybszy rozrost populacji potomków zmutowanego organizmu, którzy dziedziczą po nim korzystną zmianę, a co za tym idzie, skuteczniej się rozmnażają. Siła tego procesu tkwi w niebywalej ilości czasu jakim on dysponuje oraz kumulowaniu się takich właśnie drobnych zmian. Tak oto, w ciągu milionów lat, podążając za zmianami otoczenia³⁰, organizmy zmieniają się – z czasem diametralnie.

Opisany mechanizm, został odkryty w XIX w. przez Darwina. Choć nie wiedział on nic o mutacjach, a zatem nie rozumiał zasadniczej przyczyny zachodzących zmian³¹, to jednak sformułowana przez niego zasada najlepszego prosperowania najlepiej dostosowanych (nazwana doбором naturalnym) nadal pozostaje słuszna.

Kurczenie się zasobów pożywienia jest prawdopodobnie jedną z silniejszych presji ewolucyjnych. Głód doprowadzić musiał w końcu do uniezależnienia się organizmów od dostępu do cząstek organicznych. „Znalazły” one najprostsze rozwiązanie. Najbardziej rozpowszechnionym na Ziemi, a jednocześnie dostatecznie stabilnym źródłem energii jest najbliższa nam gwiazda – Słońce. Wśród żyjących organizmów, na skutek mutacji, pojawiły się osobniki, które potrafiły z tej energii skorzystać. Początkowo korzyści te mogły być znikome. Mechanizm doboru naturalnego mógł zadowolić się nawet jednym osobnikiem, który potrafił spożytkować tylko odrobinę światła w ciągu całego swojego życia, o ile dało mu to choćby minimalną przewagę nad konkurentami, a możliwość uszczknięcia choćby małej cząstki z niemal niewyczerpalnego źródła pokarmu daje taką przewagę. Dzięki niej, i jej pogłębianiu przez dobór naturalny, organizmy korzystające z energii Słońca zasiedliły praoceany. Było to korzystne także dla konserwatywnej konkurencji, która, choć żywiła się po staremu, mogła korzystać ze związków syntezowanych przez wykorzystującego energię słoneczną mutanta. „Wynalazek” fotosyntezy podzielił na zawsze ziemską biosferę na

³⁰ Pod pojęciem otoczenia rozumiane jest tutaj wszystko z czym styka się organizm, obok warunków klimatycznych i chemizmu środowiska, składają się nań także organizmy symbiotyczne, pasożyty, drapieżniki, przedstawiciele własnego gatunku i in.

³¹ Wyniki niektórych doświadczeń skłaniają do wniosku, że ważną rolę w procesie ewolucji obok mutacji pełni także tzw. system epigenetyczny tzn. uzależniony od wpływu środowiska naturalnego zespół reguł, wedle których odczytywany jest odziedziczony kod genetyczny.

zasadniczo dwa obozy: samożywny (autotroficzny) oraz cudzożywny (heterotroficzny). Światło nie jest bynajmniej jedynym źródłem energii, z którego potrafią korzystać żywe organizmy. Być może nawet nie zostało „odkryte” przez naturę jako pierwsze.

Ubocznym produktem fotosyntezy jest tlen - gaz niezwykle aktywny³². Dzięki takiej jego właściwości organizmy, które nauczyły się z niego korzystać mogły wykorzystywać dostępny pokarm zdecydowanie bardziej efektywnie niż beztlenowce. Metabolizm oparty na tlenie jest dużo bardziej wydajny energetycznie niż jego odpowiednik beztlenowy. Daje to organizmom tlenowym dodatkową przewagę nad beztlenowcami. Z tego względu te ostatnie stanowią obecnie margines i nie wyszły poza stadium drobnoustrojów.

Stężenie tego bardzo aktywnego chemicznie gazu, nieobecnego wcześniej, w tak wielkich ilościach, w ziemskiej atmosferze stale wzrastało. Te beztlenowe pierwociny życia, które nie zdołały się uodpornić na jego działanie nie miały żadnych szans na przeżycie w nowych warunkach i musiały wyginąć lub znaleźć sobie beztlenowe siedliska. Bakterie, które żyły wtedy w izolacji od atmosfery i tlenu, będąc przez to pozbawione ewolucyjnej presji, żyją do dziś w stosunkowo niewiele zmienionej formie. Ta wielka zmiana w historii Ziemi pozostawiła niezatarte piętno na kształcie obecnego życia. Jeśli warunkiem jego autokreacji był brak tlenu to od chwili pojawienia się tego gazu prawdopodobieństwo zajścia takiego procesu spadło całkiem do zera.

Koncepcje te być może zostaną zweryfikowane w najbliższym czasie, dzięki szeroko zakrojonym programom badawczym. Rozszyfrowanie i porównanie różnych kodów genetycznych dostarczy zapewne informacji o ich najstarszych fragmentach i pomoże wyjaśnić zasadnicze kwestie związane z budową pierwocin życia. Być może nawet cały proces biogenezy uda się w niedalekiej przyszłości zasymulować w komputerze. Wykorzystanie metod symulacyjnych, ze względu na czasową rozległość biogenezy, wydaje się wręcz nieodzowne.

Pojawienie się w atmosferze wielkich ilości tlenu całkowicie i na zawsze zmieniło obraz naszej planety. Choć dla wielu pragmatyków zmiana ta była katastrofalna w skutkach, to jednak dzięki niej istniejemy.

³² Jest on aktywny do tego stopnia, że w jego atmosferze w błyskawicznym tempie spalają się niepalne w powietrzu przedmioty. Drut stalowy w czystym tlenie płonie oślepiającym blaskiem.

6. Hekatomba gatunków

Śmierć jest w przyrodzie zjawiskiem powszechnym i naturalnym. Nie ma bowiem żadnej ewolucyjnej presji w kierunku eliminacji genów odpowiedzialnych za stopniową degradację organizmu. Ich działanie bowiem ujawnia się najczęściej wtedy gdy konkretny osobnik ma już za sobą najlepszy wiek do prokreacji i taka destrukcja nie wpływa znacząco na ten proces. Starzenie i śmierć, ograniczając potencjał prokreacyjny pojedynczego organizmu, sprzyjają powstawaniu bioróżnorodności. W tym sensie wzmagają więc efektywność ewolucji.

Naturalnym procesem ewolucyjnym jest też starzenie się i śmierć całych gatunków. Zjawisko to nie zostało jeszcze dobrze poznane niemniej jednak wiadomo, że gatunki mogą wymierać na skutek nasilonej konkurencji. Niewielka zmiana jakiegoś czynnika środowiskowego może dać określonej grupie organizmów pewne przywileje, co automatycznie stawia ich rywali w trudnej sytuacji i zmusza do regresu. Ewolucja biologiczna działając jednokierunkowo może też doprowadzić organizmy do ślepego zaułka. Ich los jest wtedy przesądzony. Wytworzenie bowiem przez gatunek jakiegoś organu, który nagle, na skutek zmian środowiska uszczupla jego potencjał rozwojowy, może okazać się zgubne. Nie jest możliwy przecież jego natychmiastowe przekształcenie się a tym bardziej zanik³³. Wymieranie gatunków jest także powodowane przez nagłe i duże zmiany klimatu nie dające czasu na ewolucyjną adaptację.

Wymieranie, ze względu na różnorakie występujące w biosferze współzależności może następować lawinowo. Śmierć jakiegoś gatunku często bowiem stanowi wyrok na gatunkach od niego zależnych. Jeśli wydarzenie takie zachodzi na niskich szczeblach łańcucha pokarmowego jest w stanie doprowadzić do zejścia całej lawiny wymierań.

Tak więc śmierć pojedynczych organizmów, a także całych gatunków może znaleźć uzasadnienie na gruncie ewolucjonizmu. Teoria ta przestaje jednak być użyteczna jeśli w grę wchodzi nagłe wymarcie kilkudziesięciu procent ogółu żyjących w danym

³³ Jednym z takich organów u ludzi jest wyrostek robaczkowy, którego zapalenie, bez interwencji chirurgicznej, może szybko doprowadzić do śmierci. Jego stopniowy zanik był spowodowany prawdopodobnie powolną zmianą diety. Gdyby jednak taka choroba należała w przeszłości do częstych doprowadzić mogłaby nawet do wymarcia gatunku.

okresie gatunków, a takie wydarzenia miały wielokrotnie miejsce w historii Ziemi. Wg różnych szacunków, obecnie żyje zaledwie 1% ogólnej liczby organizmów jakie kiedykolwiek zasiedlały ziemską biosferę³⁴.

Znany wszystkim podział dziejów Ziemi na ery został wyznaczony właśnie przez wielkie wymierania. W ciągu ostatnich 600 mln lat było ich bardzo wiele, a 5 z nich miało szczególnie spektakularne rozmiary.

440 mln lat temu, pod koniec ordowiku, zakończyło życie 60% gatunków flory i fauny³⁵. Podobna liczba organizmów wymarła pod koniec dewonu, 360 mln lat temu. Największe tego typu zdarzenie miało miejsce pod koniec permu, kiedy to w ciągu niespełna 1 mln lat (a wg niektórych szacunków nawet szybciej) wyginęło od 80 do 95 % wszystkich gatunków. Wobec tej katastrofy blednie 20% organizmów, które wymarły pod koniec triasu 205 mln lat temu. Ostatnia wielka zagłada miała miejsce na przełomie kredy i trzeciorzędu. Pochłonęła ona 60% żyjących gatunków, w tym także dinozaury.

Przyczyny poszczególnych masowych wymierań nie są dokładnie znane. Przypuszcza się, że następowały one w reakcji na nagłe i drastyczne zmiany klimatu³⁶. Z dużą dozą pewności było tak w przypadku ostatniego z wymienionych wielkich epizodów wymierań, w którym m.in. wyginęły dinozaury.

Te wielkie zwierzęta były gospodarzami Ziemi przez 160 milionów lat. W porównaniu z krótką, trwającą zaledwie 3,5 miliona lat historią człowieka był to okres niezwykle długi. Dzięki tak długotrwałej egzystencji gatunek ten zdołał doskonale dostosować się do warunków środowiskowych. Wymarł jednak, ujmując ten fakt w skali geologicznej, w błyskawicznym tempie.

Sugerowano możliwość wzmożonej działalności wulkanicznej, która mogła m.in. być powodem zaistnienia tzw. efektu zimy nuklearnej. Polega on na długotrwałym odcięciu życiodajnego promieniowania słonecznego i w konsekwencji, znacznym obniżeniu temperatury na powierzchni Ziemi poprzez zanieczyszczenie atmosfery bardzo dużymi ilościami pyłu - efekt taki może wywołać współcześnie wybuch bomby nuklearnej wielkiej mocy. Odkryto, co prawda gigantyczne pola zastygłej lawy - ślady dawnej

³⁴ Szacunki te są zapewne mało precyzyjne. Po pierwsze dlatego, że tzw. zapis kopalny, czyli wszelkiego rodzaju wykopaliska i informacje uzyskane na ich podstawie, jest bardzo niekompletny, a po drugie, nieznana jest, jak dotąd, liczba wszystkich żyjących współcześnie gatunków. Liczne, nieraz bardzo pomysłowe próby dokonania względnie dokładnego jej oszacowania nie przyniosły zadowalających rezultatów. Uzyskane wyniki znacznie różnią się między sobą.

³⁵ Podane tutaj wartości są oczywiście przybliżone. Rozbieżności pomiędzy różnymi szacunkami z reguły nie przekraczają jednak 10%.

³⁶ Możliwe przyczyny takich zwrotów klimatycznych wymienione będą w rozdz. 8.

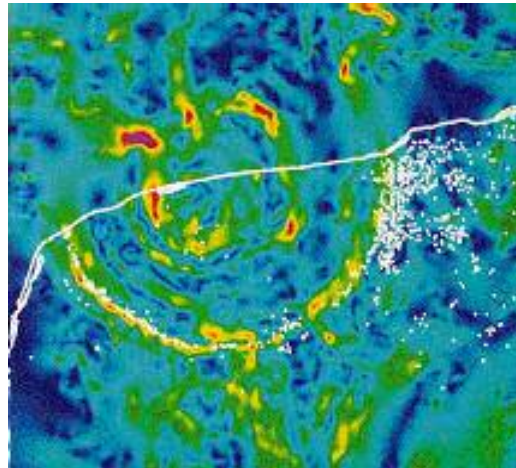
wzmoczonej działalności wulkanicznej, ale przypadek sprawił, że uwagę badaczy przyciągnęła inna koncepcja.

W 1980 r. geolog Walter Alvarez badając skały osadowe w pobliżu miejscowości Gubbio we Włoszech odnalazł centymetrowej grubości warstwę odpowiadającą przełomowi epoki kredy i trzeciorzędu. Warstwy osadowe stanowią dla geologów bardzo interesujący zapis dziejów Ziemi. Precyzyjne jego odczytanie nie należy jednak do zadań łatwych. Odnaleziona przez Alvareza warstwa była cienka, z czego wywnioskował on, że osadziła się w stosunkowo krótkim czasie. Ojciec Alvareza, Luis, zaproponował oryginalny sposób ustalenia tego czasu, oparty na pomiarze zawartości irydu w warstwie. W czasie kształtowania się Ziemi pierwiastek ten z racji swojego dużego ciężaru właściwego niemal w całości opadł do jądra Ziemi. Na powierzchni zaś pozostały jego śladowe ilości. Na każde 100 miliardów atomów pierwiastków wchodzących w skład skorupy ziemskiej przypadają średnio około 3 atomy irydu. Ewentualna nadwyżka tego pierwiastka może być wyłącznie pochodzenia kosmicznego. Znając zawartość irydu w pyłe kosmicznym opadającym na Ziemię oraz tempo jego opadania, przy założeniu stałości tych parametrów, łatwo wyliczyć czas osadzania się badanej warstwy. Potrzebne dane do obliczeń, oraz sprawdzenia poczynionego założenia, można stosunkowo łatwo zdobyć badając np. zawartość irydu w dostatecznie grubych warstwach osadowych, o znanym, ustalonym innymi metodami, czasie osadzania.

W warstwie znalezionej przez Alvareza zawartość irydu była stukrotnie wyższa od normalnej. Na tej podstawie wywnioskował on, że Ziemia zderzyła się wtedy z planetoidą lub kometą. Odkrycie to zostało szybko potwierdzone, nadwyżki irydu z czasów przełomu kredy i trzeciorzędu stwierdzono w ponad 100 miejscach na całym świecie. Znaleziono też inne ślady sugerowanej katastrofy: kwarc szokowy znany właśnie z kraterów meteorytowych, sadzę powstałą prawdopodobnie w wyniku gigantycznych pożarów, kropelki szkliwa (tzw. tektyty), a także nadwyżki innych pierwiastków z grupy platynowców. Odnaleziono wreszcie krater – prawdopodobne miejsce zderzenia. Nazwana Chicxulub³⁷ olbrzymia dziura w Ziemi ma średnicę około 180 km i znajduje się na północnym wybrzeżu półwyspu Jukatan. Jej ślady są mocno zatarte, niemniej jednak, analiza danych uzyskanych z wielu odwiertów, a także satelitarny pomiar anomalii grawitacyjnych (rys. 6) ujawniają miejsce kolizji, które jest

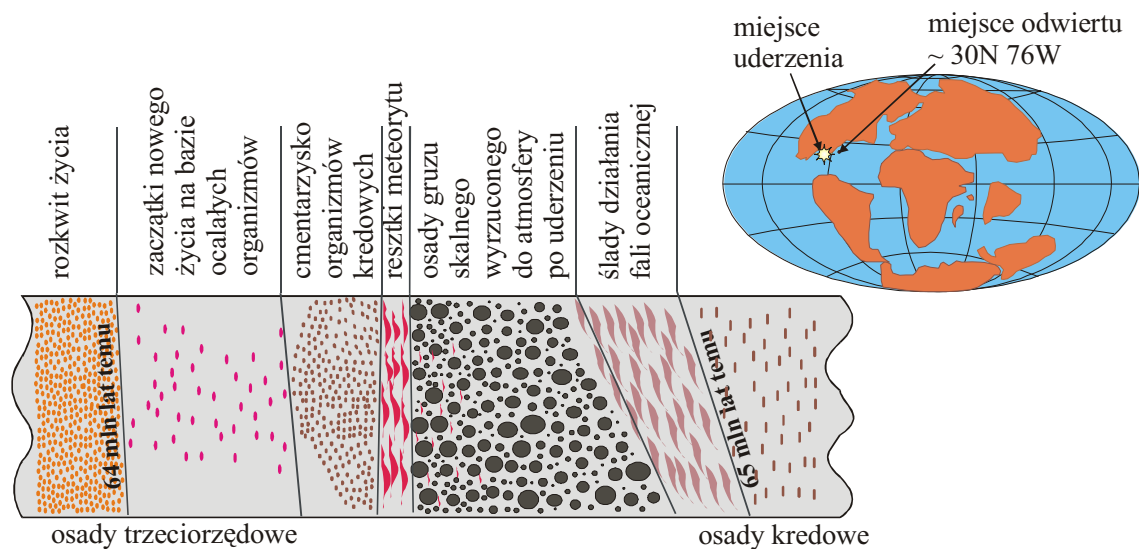
³⁷ Krater odnaleziono 15 lat po odkryciu Alvareza. Jego nazwa pochodzi od nazwy wioski, w pobliżu której wykonano pierwszy odwiert.

obecnie w połowie zalane wodami Zatoki Meksykańskiej.



Rys 6. Mapa anomalii grawitacyjnych w miejscu zderzenia. Fot. NASA. Biała kreska biegnie wzdłuż linii brzegowej półwyspu.

Niezależnego dowodu dostarczyły też odwierty z dna Oceanu Atlantyckiego w rejonie Blake Nose Plateau. Wydobyty rdzeń zawierał, w części odpowiadającej granicy kredy i trzeciorzędu, ciemną warstwę pozostałości planetoidy a nad nią kilkucentymetrowej grubości osad utworzony przez obumarłe organizmy – oceaniczne cmentarzysko katastrofy (rys. 5).



Rys. 5. Niżej: Szkic fragmentu rdzenia wydobytego spod dna Atlantyku przez JOIDES Resolution. Wyżej: Rozmieszczenie kontynentów 65 mln lat temu oraz obecne usytuowanie krateru Chicxulub i miejsca wykonania odwiertu.

Meteoryt – zabójca nie był zbyt wielki. Szacuje się, na podstawie globalnej nadwyżki

irydu, że jego średnica wynosiła ok. 10 km, a minimalna prędkość z jaką doszło do zderzenia 50 000 km/h. Energia wyzwolona podczas katastrofy zapewne wielokrotnie przekroczyła energię drzemiącą w ogólnoswiatowym arsenale nuklearnym. Meteoryt wybił krater o głębokości rzędu 25 km. Stopiona materia została wybita ponad atmosferę i spadając powodowała jej rozgrzewanie. Gazy atmosferyczne: azot i tlen połączyły się z parą wodną tworząc kwas azotowy. Kule rozżarzonej materii poruszające się po torach balistycznych spadały w różne rejony globu powodując lokalne kataklizmy i wzniecając gigantyczne pożary wielkich połaci lasów. Uderzenie spowodowało powstanie wewnątrz kuli ziemskiej potężnej fali uderzeniowej, która prawdopodobnie wywołała olbrzymie erupcje wulkaniczne. Wielokrotnie też i w różnych kierunkach obiegała glob powodując wielkie trzęsienia ziemi. Kilkukilometrowej wysokości tsunami zalało wiele wybrzeży (ślady działania tak wielkiej fali odkryto na Kubie). Trudno powiedzieć jak długo trwały te kataklizmy. Jednak to nie one spowodowały wymarcie 60 % gatunków. Ich śmiertelne skutki miały początkowo raczej zasięg lokalny. Najgorsze miało dopiero nastąpić, bowiem uderzenie meteorytu wywołało nagłe i globalne zmiany klimatyczne.

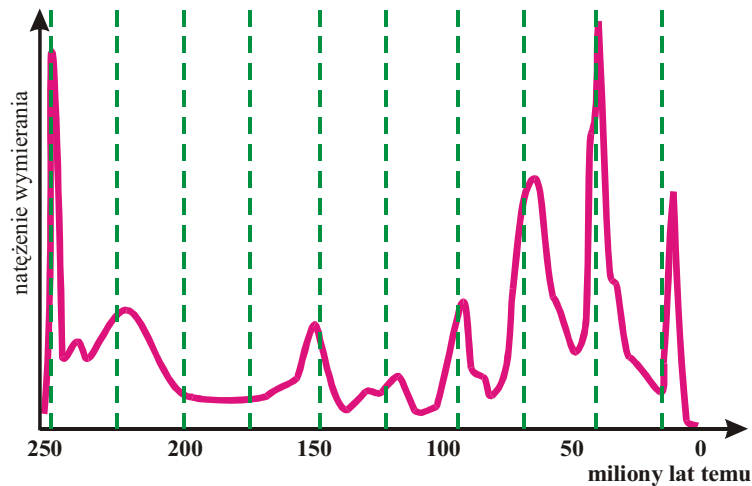
Na skutek efektu zimy nuklearnej przez kilka miesięcy na Ziemi panował całkowity mrok. W wielu miejscach temperatura obniżyła się nawet o 20 °C. Prawdopodobnie na rok zostały zatrzymane wszelkie procesy fotosyntezy. Unoszący się w atmosferze kwas azotowy spadał na powierzchnię Ziemi w postaci śmiertelnie kwaśnych deszczy. Przerwana została olbrzymia liczba łańcuchów pokarmowych doprowadzając do śmierci przede wszystkim organizmy znajdujące się na ich końcach. Z ciał martwych zwierząt uwolnione zostały do atmosfery wielkie ilości tlenu siarki oraz dwutlenku węgla. Pierwszy z tych związków po połączeniu z parą wodną tworzył kwas siarkowy, który spadał w postaci deszczu razem z kwasem azotowym. Dwutlenek węgla wywołał efekt cieplarniany, który w połączeniu z efektem zimy nuklearnej musiał spowodować duże i wieloletnie wahania klimatu.

Wyginęły nie tylko dinozaury. Zagłada planktonu spowodowała śmierć większości gatunków morskich. Kataklizm najlepiej mogły znieść rośliny, których nasiona miały szansę przetrwać pod grubą warstwą pyłu oraz małe, wszystkożerne, a szczególnie padlinożerne zwierzęta. Wśród tych szczęśliwców znalazły się też ówczesne, prymitywne ssaki.

Odkrycie Alvareza spowodowało lawinę poszukiwań dowodów zaistnienia innych zdarzeń tego typu, które mogłyby tłumaczyć inne znane wymierania. Aczkolwiek

odnaleziono pewne ślady kosmicznych uderzeń jak np. nadwyżkę irydu i tektyty w osadach z końca eocenu, to jednak jak dotąd nie ma niezbitego dowodu łączącego wymierania z kosmicznymi kataklizmami.

Najdalej w spekulacjach usiłujących wyjaśnić powody wielkich wymierań zaszli David Raup i John Sepkoski. Zebrali oni i zestawili dostępne im dane paleontologiczne dotyczące znanych wymierań na przestrzeni lat. Przebieg ich natężenia w czasie przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Uproszczony diagram sporządzony przez Richarda Mullera na podstawie danych zebranych przez Rauipa i Sepkoskiego.

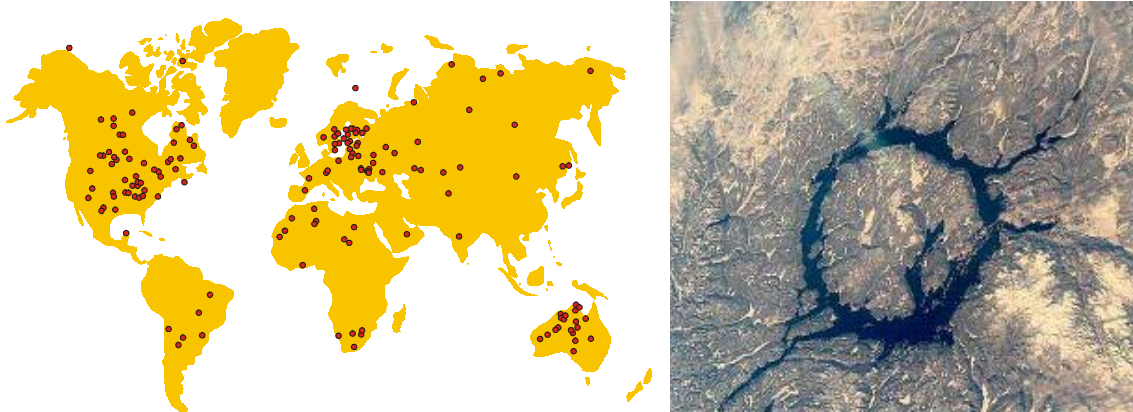
Zestawienie to sugeruje, że wymierania następują dość regularnie - co 26 mln lat (okres ten zaznaczono na rys. przerywanymi liniami). Z prośbą o wyjaśnienie możliwych przyczyn regularności zwrócili się oni m.in. do astronomów. Najciekawszą, jak się wydaje, hipotezę przedstawił Richard Muller³⁸. Biorąc pod uwagę powszechność występowania podwójnych układów gwiazdowych, tzn. par gwiazd wzajemnie siebie obiegających, uznał on, że również Słońce należy do takiego układu. Druga gwiazda, krążąca po wydłużonej orbicie wracając w pobliże Układu Słonecznego powodowałaby regularne zaburzenia stabilnych orbit kosmicznego gruzu w obłoku Oorta albo w pasie Kuipera ściągając tym samym na Ziemię śmiertelny grad. Gwiazdę tą nazwano Nemezis³⁹. Jej poszukiwania, jak dotąd, nie przyniosły żadnego rezultatu. Jeśli jest nią brązowy karzeł⁴⁰ mają one bardzo nikłe szanse powodzenia.

³⁸ Inną ciekawą propozycją wyjaśnienia sugerowanej periodyczności wymierań są, również zakłócające ruch kosmicznego gruzu, oscylacje grawitacyjne spowodowane obrotowym ruchem galaktyki.

³⁹ Tzn. gwiazda śmierci.

⁴⁰ Niewielkie ciało kosmiczne, które z powodu swej zbyt małej masy nie stało się gwiazdą i przypomina raczej olbrzymią planetę. Taką niedoszlą gwiazdą jest Jowisz.

Zestawienie Raupa i Sepkoskiego budzi jednak szereg kontrowersji. Po pierwsze zostało ono sporządzone na podstawie dość skąpych danych, a po drugie obarczone jest dużymi błędami datowania. Być może rzeczywiście badacze ci dopatrują się regularności w procesie losowym. Nie zmienia to jednak faktu, że bardzo silne uderzenia meteorytów wielokrotnie miały miejsce w historii Ziemi. Pomimo procesów erozyjnych odnaleziono już prawie 200 kraterów uderzeniowych. Część z nich zaznaczona jest na poniższym rysunku.



Rys 6. Po lewej: rozmieszczenie kraterów uderzeniowych odnalezionych na powierzchni Ziemi. Rysunek wg danych Canadian Geological Surve. Fot. 6. Po prawej: zdjęcie krateru Manicouagan (Quebec - Kanada) wykonane z pokładu kosmicznego wahadłowca. Jego średnica wynosi ok. 100 km zaś wiek szacuje się na ok. 210 mln lat. Fot. NASA.

Największym odnalezionym na Ziemi kraterem uderzeniowym jest Sudbury w Kanadzie. Jego średnica wynosi aż 200 km czyli jest o 20 km większa od krateru kojarzonego z zagładą dinozaurów, wiek szacuje się na niespełna 2 mld lat. Najmłodszym zaś jest 26 m średnicy i 6 m głębokości krater uderzeniowy powstały 12. 02. 1947 r. na Syberii. Wybił go meteoryt żelazny o masie oszacowanej na ponad 60 t, który eksplodował ok. 6 km nad powierzchnią Ziemi. Największy z jego odnalezionych kawałków ważył 1,8 t.

W tab. 2 zebrane zostały niektóre większe krateru meteorytowe.

nazwa	lokalizacja	średnica [km]	wiek [mln lat]
Vredefort	RPA	140	1970 ± 100
Kara-Kul	Tadżykistan	45	< 10

Ouadane	Mauretania	38	nieznany
Clearwater Lake West	Quebec - Kanada	32	290 ± 20
Mistasin Lake	Nowa Funlandia i Labrador	28	38 ± 4
Teague	Australia Zachodnia	28	1685 ± 0,5
Clearwater Lake East	Quebec - Kanada	22	290 ± 20
Gosses Bluff	Australia Północna	22	142,5 ± 0,5
Deep Bay	Saskatchewan - Kanada	12	100 ± 50
Bosumtwi	Ghana	10,5	1,3 ± 0,2

Tab. 2. Niektóre z odnalezionych kraterów meteorytowych

Do największych niedawnych przypadków uderzenia meteorytu należy katastrofa z 1908 r., mająca miejsce w okolicy rzeki Podkamienna Tunguzka również na Syberii. Prawdopodobnie jej sprawcą był meteoryt kamienny o średnicy ok. 60 m, który eksplodował 5-10 km nad powierzchnią Ziemi. Siłę fali uderzeniowej, która dotarła do powierzchni oszacowano na 15-20 milionów ton trotylu (megaton TNT). Efekty tego uderzenia obserwowano nawet w Europie, a powstała fala sejsmiczna obiegła cały glob. W świetle tych danych staje się jasne, że takie katastrofy w dziejach Ziemi wcale nie należą do rzadkości. Potwierdzenie ich regularności byłoby prawdziwą sensacją. Na razie jednak doniesienie Raupa i Sepkoskiego pozostaje w sferze naukowych spekulacji. Trzeba jednak przyznać, że koncepcja Nemezis w bardzo prosty sposób tłumaczy nagłość wielkich wymierań. Przynajmniej jedno z nich, z dużą pewnością, zostało wywołane czynnikami pozaziemskimi.

Całkiem niedawno pojawiła się koncepcja wytłumaczenia wymierań za pomocą teorii chaosu (o której krótka wzmianka zamieszczona była we wstępie). Wedle niej na wymierania ma wpływ szereg z pozoru mało znaczących czynników (np. drobna zmiana zwyczajów jakiegoś pasożyta, niewielki wzrost zasolenia oceanów itp). Procesy, w których znikoma zmiana parametrów powoduje diametralne zmiany warunków końcowych⁴¹ są od dawna znane matematykom i fizykom – nimi właśnie zajmuje się teoria chaosu. Zastosowanie jej do opisu dynamiki wymierania wydaje się pomysłem bardzo interesującym. Hipoteza, że proces ten rządony jest przez prawa chaosu w prosty sposób tłumaczy trudności z ustaleniem konkretnych przyczyn wymierań.

Opisane tu wydarzenia odegrały swoją ważną rolę w historii Ziemi, a także

⁴¹ Dobrym przykładem takiego procesu jest powstawanie i schodzenie lawin.

człowieka. Każdy taki epizod zwalniał wielką ilość nisz ekologicznych, które mogły być następnie zajmowane przez nowe organizmy. Za każdym też razem były one lepiej przystosowane do otoczenia. Katastrofy dokonują bowiem swego rodzaju filtracji gatunków – przeżywają tylko te, które zdołały ewolucyjnie się wyposażyć w odpowiednio wysokie zdolności adaptacyjne.

Twórcza działalność katastrof widoczna jest m.in. na przykładzie największego ze znanych, wymierania permskiego. Przez setki milionów lat morza zasiedlone były przez bardzo mało ruchliwe, denne formy życia. Gatunki aktywnie zdobywające pokarm należały do rzadkości. Katastrofa diametralnie zmieniła taki stan rzeczy. Niemal całkowite wymarcie form biernych otworzyło ewolucyjną ścieżkę, którą podążyły formy aktywne m. in. bezpośredni przodkowie dzisiejszych ryb, kałamarnic, ślimaków i krabów.

Niecałe 200 mln lat później, także dzięki globalnej katastrofie, swoją szansę rozwoju otrzymały prymitywne ssaki - nasi przodkowie. Ponownie zwolniona wielka liczba nisz ekologicznych z wolna zaczęła się nimi wypełniać.

7. Katastrofa tropikalnego lasu

Choć rozdział ten mógłby być poświęcony obecnej, barbarzyńskiej eksploatacji lasów, wydarzenia, o których będzie tu mowa miały miejsce około 5 mln lat temu w Afryce i zostały wywołane ruchami tektonicznymi skorupy ziemskiej. Określenie „katastrofa” w odniesieniu do nich może się wydać przesadzone, jednak, jeśli weźmie się pod uwagę długowieczność tropikalnych lasów użycie tego terminu wyda się bardziej uzasadnione.

W czasie trwania ery kenozoicznej w Afryce, Eurazji oraz Ameryce Północnej nadmiar ciepła pochodzący z wnętrza Ziemi zaczął wydobywać się na jej powierzchnię tworząc nowe śródkontynentalne strefy ryftowe, czyli system bardzo długich, wąskich i głębokich rowów tektonicznych. Wzdłuż tych pęknięć skorupy wydobywały się duże ilości lawy wulkanicznej tworząc rozległe pokrywy bazaltowe. Do największych śródkontynentalnych stref ryftowych zalicza się zespół trzech rowów afrykańskich przecinających kontynent z południa (od doliny rzeki Zambezi) na północ (do skraju Morza Czerwonego). Należą do nich: Wielki Rów Zachodni, Wielki Rów Wschodni i Rów Abisyński. Ich szerokość miejscami dochodzi nawet do 100 km, zaś powstałe uskoki schodowe osiągają wysokość 5 km.

Około 5 mln lat temu kształtujący się system uskoków całkowicie oddzielił wschodni skraj olbrzymiej połaci afrykańskiego lasu od życiodajnej wilgoci docierającej tam wraz z zachodnim wiatrem. Pozbawiony wody zaczął się on kurczyć i dzielić na mniejsze skupiska drzew, co stosunkowo szybko doprowadziło do przekształcenia się lasu w sawannę. Konsekwencje tej transformacji dla zamieszkującej lasy fauny były poważne. Wielkie skupiska drzew w sprzyjającym, wilgotnym klimacie stanowiły raj dla zwierząt, dając im schronienie w gąszczu konarów i obfitość pożywienia. Uskok tektoniczny przyczyniając się do przerzedzania wschodniej części lasu stopniowo zmuszał zwierzęta do zmiany stylu życia i znacznie przyspieszył procesy ewolucyjne. W szczególnie niekorzystnej sytuacji pozostawały gatunki, które w toku ewolucji uzależniły się od obfitości liści i owoców. Kurczące się nieustannie, porozdzielane obszarami trawiastymi leśne skupiska, stopniowo zmuszały te zwierzęta do migracji w poszukiwaniu schronienia i pożywienia. Przenosząc się od lasu do lasu, wobec ich

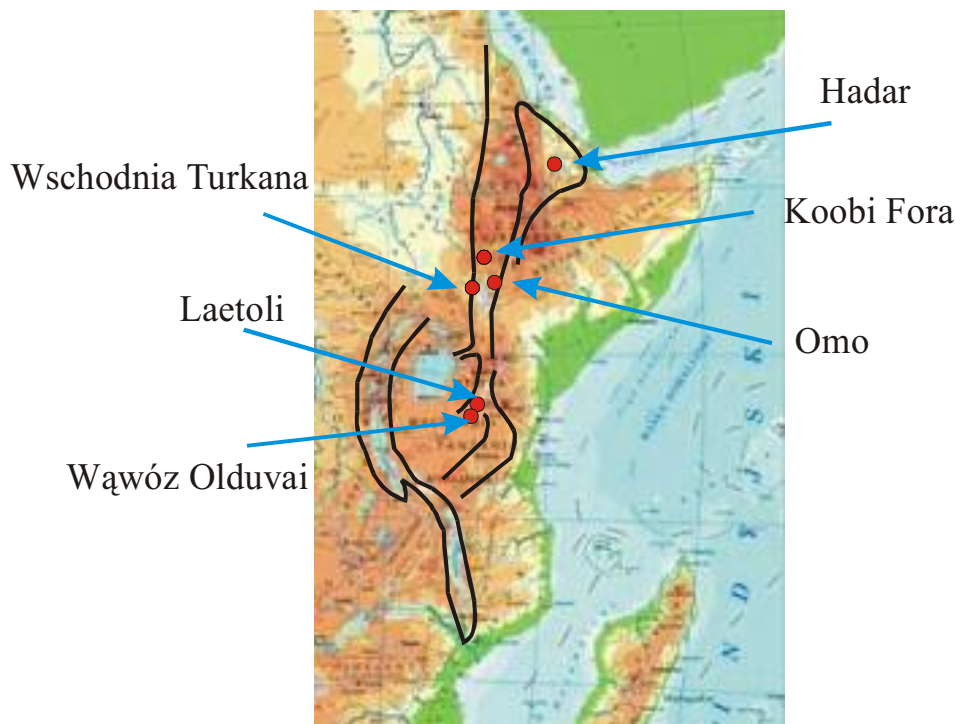
ostatecznego zaniku, musiały opanować sztukę przetrwania na sawannie. To nowe środowisko stanowiło dla nich prawdziwe wyzwanie. Zasoby pokarmowe nie były już tak łatwo dostępne, a zewsząd czaiły się drapieżniki.

Takim warunkom sprostać musieli także nasi przodkowie. Dzięki nadrzewnej wspinaczce, początkowo prawdopodobnie wymuszonej zwiększonym ciężarem ciała uniemożliwiającym przeskakiwanie z drzewa na drzewo, a potem wędrówkom z lasu do lasu, ich mięśnie zostały przygotowane do dwunożnego chodu. Do pionizacji postawy zmusiła ich konieczność życia na sawannie.

Pionowa sylwetka umożliwiała wypatrywanie w wysokiej roślinności trawiastej ewentualnych źródeł pokarmu oraz drapieżników. Wczesne hominidy raczej nie polowały, żywiły się tym co znalazły, bądź okazyjnie zdołały pochwycić. Mogły to być drobne zwierzęta, owoce czy też nadająca się do spożycia padlina.

Nasi przodkowie czyniąc, w poszukiwaniu pożywienia, coraz dalsze wypady poza kurczące się kompleksy leśne narażeni byli na odwodnienie. Również i z tego powodu dwunożność zapewniająca efektywniejszą, w stosunku do czworonogów, termoregulację wydaje się korzystna. Osobnik o takiej postawie wystawia na działanie słońca w południe tylko 7% powierzchni ciała podczas gdy czworonóg aż 20%. Dzięki takiemu przystosowaniu hominidy mogły szukać pożywienia na sawannie w czasie gdy konkurujące z nimi gatunki zmuszone były do ukrywania się przed upałem w cieniu drzew. Wymogi termoregulacyjne przyczyniły się też prawdopodobnie do stopniowej utraty owłosienia.

Lepszą gospodarkę wodną zapewnia też większe ciało zapewniające korzystniejszy stosunek powierzchni skóry do jego objętości. Jego powiększanie się, począwszy od wagi ok. 30 kg, jest dzięki wykopaliskom dość dobrze udokumentowane. System rowów wschodnioafrykańskich oraz główne stanowiska wykopaliskowe wczesnych hominidów ilustruje rys. 7.



Rys. 7. System rowów wschodnioafrykańskich (czarne linie) oraz położone wzdłuż nich stanowiska gdzie odnaleziono szczątki wczesnych hominidów (czerwone kółka).

Dwunożny tryb życia zmuszał też hominidy do podnoszenia z ziemi przedmiotów i dzięki temu sprzyjał rozwojowi kciuka. Wykształcone w dalszym toku ewolucji zręczne ręce, mogły następnie wykonywać proste narzędzia. Przypuszcza się, że ewolucja dwunożnego chodu i zręcznych rąk trwała ok. 2 mln lat.

Pionizacja postawy, pociągnęła także za sobą wykształcanie się odpowiednio dużej komory rezonansowej i ewolucję krtani, co umożliwiło w konsekwencji rozwój artykułowanej mowy i związanej z nią inteligencji.

Ponad 3 mln lat po katastrofie lasów tropikalnych w toku ewolucji pojawił się Homo Sapiens. Jako myśliwy i zbieracz żył on harmonijnie ze swoim środowiskiem coraz bardziej rozprzestrzeniając się po całym świecie.

Opisany tutaj scenariusz jest, rzecz jasna, tylko hipotetyczny⁴², nie mniej jednak odkryto szereg poszlak, które zdają się uzasadniać właśnie taki jego przebieg.

Należy do nich zaliczyć przede wszystkim:

- wyniki badań geologicznych określających czas wykształcenia się rowów

⁴² Inną wersję wydarzeń opisuje tzw. hipoteza multiregionalna. Wg niej człowiek ewoluował jednocześnie w kilku regionach świata. Na jej korzyść świadczą pewne wykopaliska, szczególnie z terytorium Chin. Wydają się one jednak słabo przekonujące. Także badania mtDNA (patrz kolejny przypis) zdają się podważać tą hipotezę.

- tektonicznych zbieżny z datowaniami wykopalisk najstarszych hominidów,
- położenie stanowisk wykopaliskowych najstarszych hominidów,
 - świadczące o stopniowej transformacji lasów w sawannę wyniki badań skamieniałych pyłków roślin znalezionych w pokładach geologicznych z rozważanego tu okresu,
 - bardzo małe, ok. 1% różnice genetyczne między szympanсами, a ludźmi, które świadczą, że rozdział między tymi gatunkami nastąpił ok. 5 mln lat temu,
 - wyniki badań zróżnicowania mitochondrialnego DNA⁴³ u współczesnych ludzi wskazujące geograficzne umiejscowienie naszej kolebki,
 - wyniki badań mutacji chromosomu Y u współczesnych ludzi,
 - odnalezienie najstarszych sekwencji nukleotydów u współczesnych ludów afrykańskich,
 - znaleziska narzędzi, najstarsze z nich, należące do Homo Habilisa, datowano na niecałe 2 mln lat,
 - niesprzeczność, a w wielu przypadkach zbieżność datowania i umiejscawiania wydarzeń za pomocą zupełnie różnych technik.

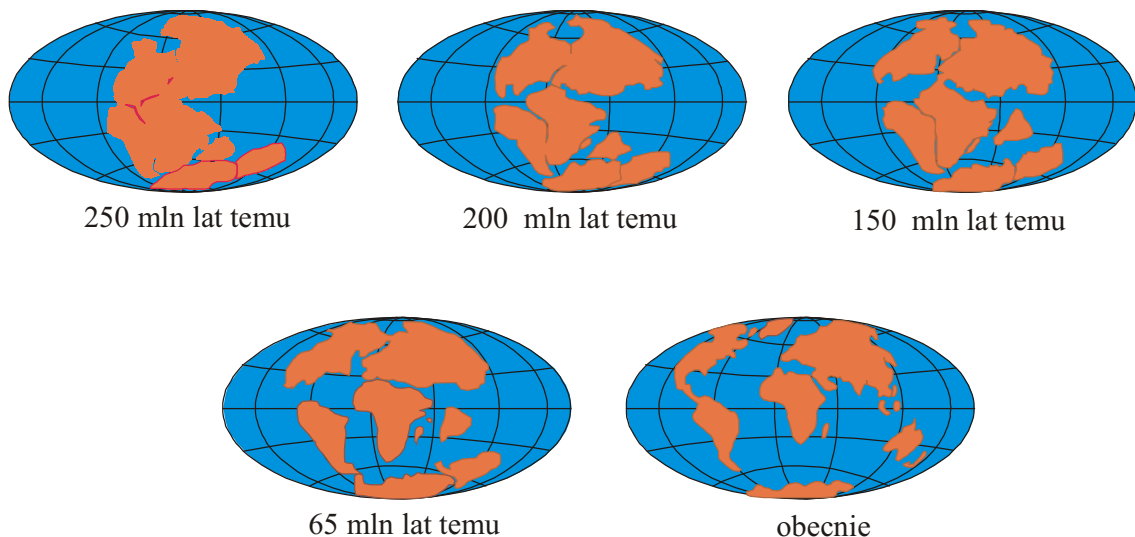
Katastrofa lasów wschodnioafrykańskich zakończyła zapewne życie wielu gatunków roślin i zwierząt, które nie potrafiły adaptować się do warunków sawanny. Otworzyła ona jednak nowy rozdział historii naturalnej - ludzką ścieżkę ewolucji.

⁴³ Mitochondria, centra energetyczne komórek posiadające własne DNA (oznaczane skrótem mtDNA). Nie jest ono przekazywane przez ojca podczas zapłodnienia i każdy osobnik dziedziczy mtDNA tylko od matki. Badania mtDNA wielu populacji ludzkich wykazały największy stopień jego zróżnicowania wśród ludów wschodniej Afryki, co zdaniem prowadzących je naukowców świadczy o naszym wschodnioafrykańskim rodowodzie. Pierwsze takie badania przeprowadzono w 1987 r. na uniwersytecie w Berkeley. Ich inicjatorem był Alan Wilson. Wyniki tych prac zostały jednak potraktowane dość sceptycznie. Na ogół wątpliwości budziły ich metodologiczne podstawy i zbyt wąski zakres przebadanych populacji ludzkich. Niemniej jednak badania te były wielokrotnie powtarzane przynosząc podobne rezultaty. Wydaje się też, że metody genetyczne dają znacznie precyzyjniejsze i łatwiejsze do sprawdzenia wyniki niż np. paleontologiczne.

8. Katastrofalne zmiany klimatu

Ewolucja życia, a w szczególności człowieka, związana była przede wszystkim z nagłymi, katastrofalnymi zmianami ziemskiego klimatu. Jego szybkie globalne transformacje były prawdopodobnie jednym z najsilniejszych czynników wywierających ewolucyjną presję na żyjące gatunki.

Fakt istnienia nagłych zmian klimatycznych jest dobrze znany, choć ich powody nie są całkowicie jasne. Zapewne jedne z największych katastrof pogodowych zostały zapoczątkowane po rozpadnięciu się Pangei – superkontynentu, w którego skład wchodziły prawdopodobnie wszystkie obecne lądy. Wtedy to rozpoczęła się, trwająca nadal wędrówka kontynentów (rys. 8).



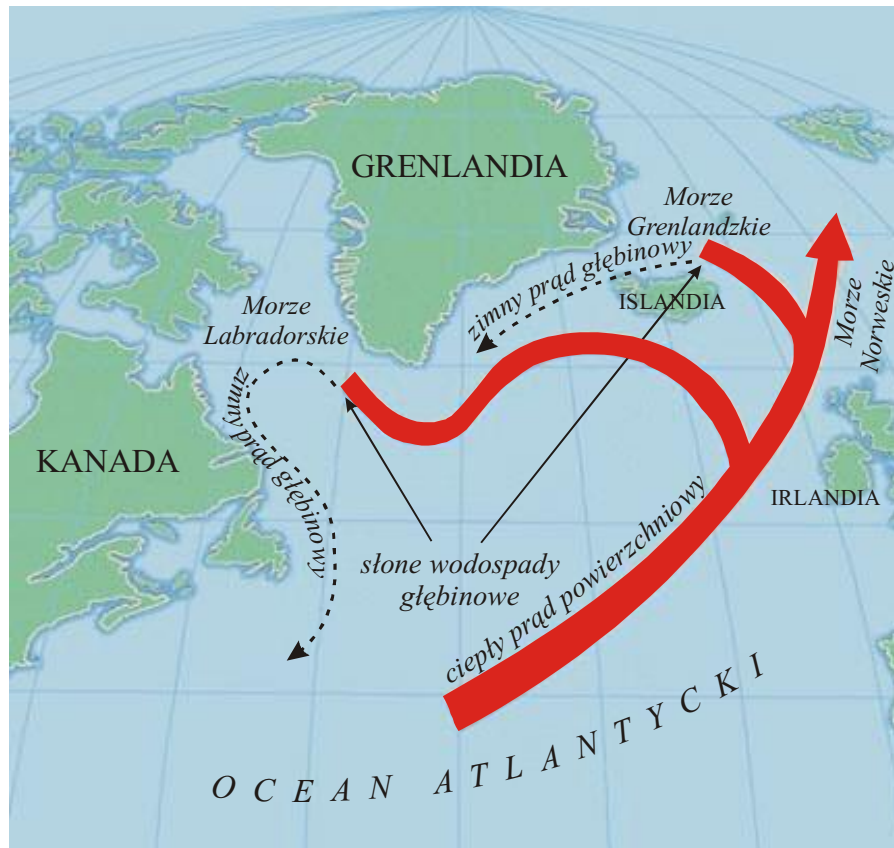
Rys. 8. Dryf kontynentów.

Dryfujące na północ części Pangei z wolna pokrywały się lodowcem, a utworzony pomiędzy Afryką a Ameryką ocean Atlantycki stale powiększał swoją powierzchnię. Pochodzące ze strefy równikowej ciepłe powierzchniowe prądy atlantyckie nie docierały na północ, a przedostawały się do Pacyfiku poprzez cieśninę pomiędzy Ameryką północną, a południową. W północnych rejonach świata zapanował klimat zimny i z powodu związania przez lodowiec znacznych ilości wody, suchy. Oziębianie się i osuszanie klimatu jest procesem z dodatnim sprzężeniem zwrotnym. Osuszenie powoduje bowiem osłabienie efektu cieplarnianego (para wodna jest gazem

cieplarnianym) i w konsekwencji dalsze ochłodzenie pociągające za sobą rozrost lodowców i jeszcze większe wysuszenie. Większe czapy lodowe odbijają też więcej promieniowania słonecznego, co dodatkowo wzmacnia oziębienie. Procesy takie doprowadziły do znacznych różnic klimatycznych między północą a południem. W tym miejscu warto jednak skupić się na wielkich zmianach klimatycznych, które mogły odegrać zasadniczą rolę w czasach kiedy na arenie ziemskiej biosfery pojawił się człowiek.

Niespełna 3 mln lat temu doszło bowiem do nagłego i poważnego zakłócenia rozkładu prądów oceanicznych. Wzmocniona aktywność wulkaniczna w rejonie cieśniny między Amerykami w szybkim tempie spowodowała powstanie tam pasma wulkanów, które połączyły lądowym pomostem obydwie kontynenty. Konsekwencje tej zmiany były bardzo poważne. Ciepło, które przez miliony lat przedostawało się do Pacyfiku nagle straciło swoje ujście. Prąd oceaniczny został skierowany w północne obszary Ziemi. W miejscu jego zwrotu powstał olbrzymi wir, który do dziś wytycza granice Morza Sargassowego. W taki sposób narodził się Prąd Zatokowy czyli Gólfström. Ziemia „znalazła” sposób na transport nadmiaru ciepła z równika w stronę bieguna północnego. Ciepło niesione na północ szybko ogrzało lodowce. Dzięki czemu trendy pogłębiające różnice między południem a północą uległy nagłej odwróceniu. Rozpoczęło się gwałtowne ocieplenie. Nie trwało ono jednak długo. Słodka i zimna woda z topniejących lodowców zakłóciła mechanizm transportu ciepła.

System prądów oceanicznych jest dość skomplikowany. Obok powierzchniowych prądów termicznych powstają głębinowe prądy gęstościowe pokazane na rys. 8.



Rys. 8. Powierzchniowe i głębinowe prądy atlantyczne. Opublikowano w zmienionej formie za zgodą Williama Calvina.

Na skutek dużych różnic temperatury wody i powietrza w regionach polarnych następuje szybsze parowanie. Powoduje ono wzrost zasolenia wody, która nie ulegając mieszanii tonie pod własnym ciężarem. Zjawisko to jest tak wyraźne, że można mówić o podwodnych słonych wodospadach⁴⁴. Największy z nich znajduje się na Morzu Grenlandzkim. Takie zatapianie zimnej słonej wody powoduje zwiększony napływ wód ciepłych. Z powodu tego zjawiska Prąd Zatokowy jest dużo szybszy i transportuje dużo więcej ciepła niż prądy powierzchniowe istniejące na wodach mniej zasolonych. Gofsztrom przetacza w ciągu minuty 4 mld ton wody. Dolanie do takiego systemu pompy ciepłej słodkiej wody z topniejących lodowców oraz w postaci obfitych deszczów, skutecznie może zakłócić jego pracę. Zwolnienie lub nawet zatrzymanie Prądu Zatokowego jest w stanie spowodować ponowne przełączenie klimatu w fazę oziębienia. W taki sposób zamknięty zostaje cały cykl. Mechanizm taki mógł radykalnie zmieniać klimat na dużych obszarach Ziemi. Zmiana taka może zająć bardzo szybko, szczególnie gdy dolanie słodkiej wody następuje w sposób gwałtowny. Istnieją liczne

⁴⁴ Wodospad taki wpada do Atlantyku poprzez próg Gibraltaru z silnie zasolonego Morza Śródziemnego.

dowody na istnienie takich gigantycznych powodzi. Powstają one wtedy, gdy odpływ wód z topniejącego lodowca zostanie zatamowany.

Ostatnie duże wahnięcie klimatu, ok. 12 tysięcy lat temu, spowodowane było prawdopodobnie taką właśnie powodzią słodkiej wody. Topniejący lodowiec, który zajmował większą część kontynentu północnoamerykańskiego utworzył na granicy dzisiejszej Kanady (Manitoba, Ontario, Saskatchewan) i Stanów Zjednoczonych (Minnesota, Dakota) gigantyczne Jezioro Agassiza⁴⁵. Rekonstrukcję jego położenia przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Jezioro Agassiza. Ciemnym kolorem zaznaczono obecnie istniejące jego największe pozostałości: jeziora Winnipeg, Winnipegosis i Manitoba.

Odpływ był zaklinowany przez lodową zapórę. Poziom wód zawartych w jeziorze rósł więc nieustannie aż do momentu, gdy tama została przerwana. Wg niektórych szacunków powierzchnia całego zbiornika mogła osiągnąć nawet 285 000 km² (czyli ponad trzykrotnie więcej niż obecnie największe na Ziemi słodkowodne Jezioro Górne), zaś głębokość doszła do 200 m. Osady po tym zbiorniku spotyka się na powierzchni 0,5 mln km².

Uwolniona nagle woda prawdopodobnie poprzez rejon Jeziora Górnego i zatoki Św. Wawrzyńca wlała się do Atlantyku mieszając z prądem oceanicznym. Znacząca ilość słodkiej wody pochodziła też prawdopodobnie z terenów Europy, gdzie do Atlantyku wlała się zawartość Lodowego Jeziora Bałtyckiego.

Uwolnienie tak wielkiej masy zimnej i słodkiej wody do oceanu zaburzyło cyrkulację

⁴⁵ Nazwa ta została nadana w 1879 r. na cześć Louisa Agassiza (1807-1873) szwajcarskiego (później amerykańskiego) glajcologa, paleozoologa i geologa za jego wkład do teorii epok lodowcowych.

słonych wód (tzw. cyrkulację termohalinową), co w konsekwencji doprowadziło do zatrzymania ciepłego prądu oceanicznego i drastycznych zmian klimatu.

Połodowcowych powodzi było więcej. Do największych i najlepiej poznanych zalicza się cykliczne powodzie Spokane⁴⁶ oraz powódź Bonneville, które także miały miejsce w Ameryce Północnej.

Pierwsze z nich powstawały na skutek blokowania lodem dolin odwadniających Góry Skaliste. Pochodząca z topniejącego lodowca woda, której objętość szacuje się ok. 10 % dzisiejszego Morza Bałtyckiego, spiętrzyła się do wysokości ponad 500 m i runęła do Pacyfiku. Ilość przepływającej w ciągu sekundy wody oszacowano na 21 mln m³. Powodzie takie powtarzały się w kilkudziesięcioletnim cyklu. Ich początek datuje się na 15 300, a koniec 12 700 lat temu. Mniej więcej w tym samym okresie w odległości 600 km na południowy wschód od Spokane, miała miejsce inna katastrofalna powódź. Znaczną część dzisiejszej Wielkiej Kotliny stanowiło, utworzone przez naturalną zaporę skalną jezioro Bonneville. W wyniku przerwania zapory do Pacyfiku spłynęło 4 700 km³ słodkiej wody. Głębokość rzeki przekraczała miejscami 100 m, a prędkość przepływu dochodziła do 30 m/s. Ilość wody przepływającej w ciągu sekundy oszacowano na 1 mln m³. O ile takie powodzie słodkiej wody spływającej do Pacyfiku raczej niewiele wpłynęły na klimat Ziemi o tyle tego typu zdarzenia po wschodniej stronie Ameryki, ze względu na znaczne zasolenia Atlantyku i decydujący wpływ Golsztromu na klimat w dużej części świata, miały wpływ zasadniczy.

Opisane tu mechanizmy bynajmniej są jedynymi jakie mogły znacząco wpłynąć na klimat. Uważa się, że nagłe i drastyczne jego zmiany są w stanie wywołać również takie czynniki jak:

- powtarzające się cyklicznie (co 40 400 lat) zmiany nachylenia osi ziemskiego obrotu do płaszczyzny ekliptyki,
- zmiany prędkości obrotowej Ziemi⁴⁷,
- dryf kontynentów,
- rozmieszczenie i orientacja, względem przepływających mas powietrza, wypiętrzających się pasm górskich,
- aktywność wulkaniczna,
- uderzenia meteorytów,
- cykliczne anomalie grawitacyjne spowodowane oddziaływaniem Księżyca bądź

⁴⁶ Inną nazwą jest Missoula.

⁴⁷ Ziemia zwalnia swoje obroty w tempie ok. 0,0025 s na 100 lat.

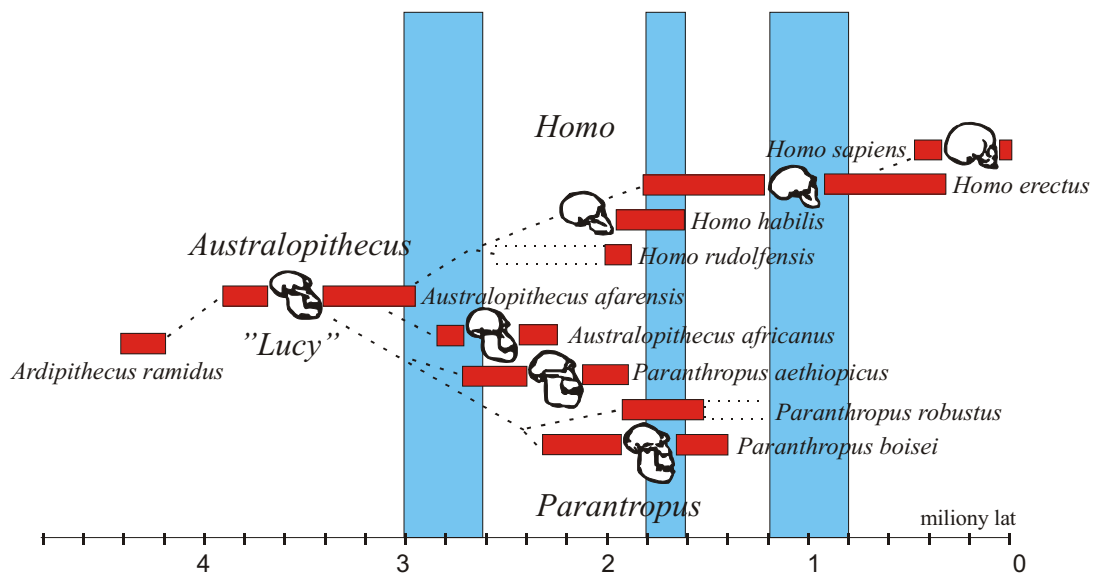
specyficznym ułożeniem planet.

Z całą pewnością każdy z wymienionych czynników mógł odegrać swoją rolę.

Zmiana klimatu na zimny i suchy, spowodowała kurczenie się arealu lasów i rozszerzanie stepów oraz, na północy, obszarów tundry. Skurczyły się znacznie powierzchnie występowania flory i fauny ciepłolubnej natomiast powiększyły siedliska gatunków preferujących niższe temperatury. Nastąpiła całkowita przebudowa ekosystemów.

Okresy zimne w dziejach ziemskiego klimatu były rzecz jasna przetykane okresami ciepłymi. Paleoklimatolog Peter deMenocal analizując osady z różnych miejsc dna oceanicznego ustalił przybliżony przebieg zmienności klimatu afrykańskiego na przestrzeni ostatnich 3 mln lat.

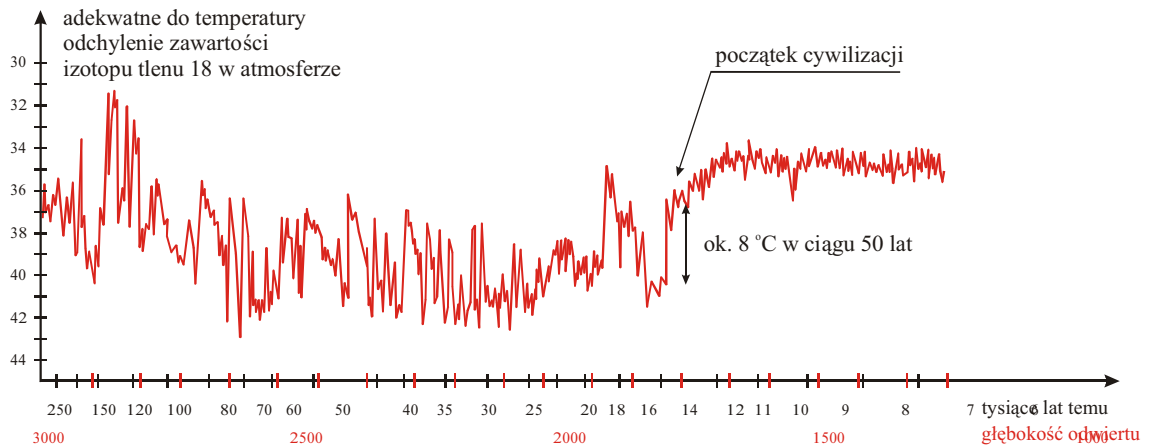
Osady denne akumulujące się od ponad 8 mln lat systematycznie nawiewane były przez wiatry wiejące nad kontynentem afrykańskim. Przetransportowane w ten sposób i osadzone na dnie Atlantyku cząstki gleby oraz drobiny traw stanowią cenną informację o dawnym klimacie. Ustalone w ten sposób jego zmiany wydają się dość dobrze skorelowane ze znanym paleontologom drzewem rodowym człowieka, którego boczne rozgałęzienia powstają i zanikają właśnie na skutek zmian klimatycznych (rys. 10).



Rys. 10. Korelacja między zmianami klimatycznymi, a rozgałęzieniami drzewa ewolucyjnego człowieka. Niebieskie słupy przedstawiają okresy cieplejsze. Opublikowano w zmienionej formie za zgodą Petera de Menocala.

Prawdopodobnie zapoczątkowały też one drogę ludzkości do cywilizacji ok. 11 tys. lat temu. Drastyczne wahnięcia globalnej temperatury są zilustrowane na rys. 6. Wykres

został uzyskany dzięki odwiertom wykonanym w lodach Grenlandii.



Rys. 11. Zmiany klimatyczne na przestrzeni 250 tys. lat. Opublikowano w zmienionej formie za zgodą Williama Calvina.

Poprzedzający proces ucywilizowania okres ciepły, charakteryzował się dostatkami pożywienia i sprzyjał przechodzeniu coraz większej ilości ludzi na osiadły tryb życia. Choć nadal byli oni myśliwymi i zbieraczami to jednak zasobność najbliższego otoczenia w pokarm zachęcała do zakładania stałych siedzib. Z tego okresu odkryto na terenach dzisiejszej Syrii dobrze zachowane ludzkie osady. Obfitość pokarmu sprzyjała także wzrostowi populacji. Ludzie nie musieli już poświęcać całego swojego czasu na zdobywanie pokarmu. Jego znaczną część mogli wreszcie przeznaczyć tylko dla siebie.

Prawdziwa eksplozja kulturalna zaczęła się jednak tuż po kolejnej katastrofie klimatycznej. Suchy i zimny klimat nieubłaganie, w szybkim tempie, zamieniał lasy w obszary krzaczasto-trawiaste, te zaś z wolna w pustynie. Ludzie w przeciągu kilku pokoleń stracili terytoria łowieckie. Obfitość lasu została zamieniona na pokarmową jałowość stepu. Zupełnie jak wygnanie z Raju. Zwiększona w okresie ciepłym populacja ludzi stanęła nagle przed koniecznością rozwiązania palącego problemu: jak przeżyć bez życiodajnych lasów? Ich brak, który pchnął kiedyś naszych przodków na ludzką ścieżkę ewolucji, ponownie roztoczył przed nimi widmo głodu. Najprostsze rozwiązania są najlepsze. Człowiek nie może żywić się trawą, ale może zjadać zwierzęta, które zjadają trawę! Taka powszechnie dostępna aparatura do przerobu trawy na wartościowy pokarm została z pewnością natychmiast zauważona. Hodowla posiada też sporo innych zalet. Oprócz mięsa zwierzęta bowiem dają cenne mleko i skóry. Tak więc jedynym wyjściem z sytuacji staje się hodowla. Odchody zwierząt stanowią także mogły doskonały nawóz. W odkrytych wioskach znaleziono, pochodzące z tego okresu,

skamieniałe nasiona różnych roślin – jadalnych i niejadalnych. Także badania skamieniałych pyłków roślin znalezionych w osadach odpowiadających temu okresowi stwierdzają podwyższoną zawartość pyłków zbóż, szczególnie dzikiej pszenicy. Człowiek zmuszony katastrofalną zmianą klimatu podejmował zatem liczne eksperymenty również z zakresu upraw zbóż, zmierzając do uzyskania samowystarczalności. Dzięki niej zachował on wygodny, osiadły tryb życia. Trudno z całą pewnością określić co zostało wynalezione wcześniej uprawa czy hodowla. Być może obydwie te umiejętności wykształciły się równolegle. Hodowla jednak jest łatwiejsza, a karmiąc zwierzęta roślinami człowiek mógł próbować też innych sposobów ich wykorzystania. Być może wtedy właśnie odkrył zadziwiające własności nasion.

Najistotniejszym aspektem zmiany trybu życia jest jednak fakt, że zarówno hodowla zwierząt jak i uprawa roślin wymagają odpowiedniej wiedzy, a także umiejętności jej zdobywania i przekazywania. Trzeba wiedzieć co, jak i kiedy siać, jak dbać o zwierzęta, jak je rozmnażać itd. Człowiek miał też więcej czasu na myślenie. Nie musiał już oddalać się od osady w poszukiwaniu pokarmu. Miał go przecież pod ręką. Rolnictwo i hodowla z czasem zaczęły dostarczać nadwyżek pokarmu. Te zaś stały się pierwszym źródłem bogactwa ludzi, którzy byli sprawniejsi w uprawie, hodowli, a także w wymianie uzyskanych tą drogą dóbr. Bogactwo i handel wymienny doprowadziły z czasem do rozrostu osad w miasta. Starożytna Ebla, która powstała prawdopodobnie 5 tys. lat temu liczyła 200 000 ludzi i stanowiła centrum wymiany handlowej płodów rolnych. W odkopanych szczątkach, znajdującej się kiedyś w tym mieście biblioteki, odnaleziono 15 tys. glinianych tabliczek zapisanych pismem klinowym. Treści w nich zawarte dotyczą głównie spraw gospodarczych.

Ludzka cywilizacja zaczęła się od klimatycznej katastrofy. Pozostająca na stałym poziomie ok. 10 mln krzywa demograficzna zaczęła od tego moment gwałtownie rosnać aby obecnie dojść do poziomu 8 mld.

9. Katastrofa biosfery

Wykładniczy wzrost populacji ludzkiej niesie ze sobą groźbę kolejnej wielkiej katastrofy. Nie będzie ona związana jednak z niemożnością wyżywienia ludzi przez ziemską biosferę. Jest rzeczą pewną, że racjonalne jej wykorzystanie mogłoby zapewnić pożywienie rzeszom znacznie większym niż żyjące obecnie. Problem polega na tym, że człowiek bezmyślnie niszczy przyrodę. Niestety, nie robi tego aby przetrwać, ale po to aby się wzbogacić albo, co gorsza, ze zwykłej głupoty. Klasycznym jej przejawem było wytepienie nielotnego ptaka dodo. Nie miał on naturalnych wrogów i w ogóle nie był przygotowany na nagłe pojawienie się istoty, która zabija dla samego zabijania. Ptak ten nie znał ucieczki jako strategii przetrwania. Spotkawszy zatem człowieka nie uciekał. Mięso dodo nie nadawało się do jedzenia. Wedle opisów holenderskich kolonistów było gorzkawe i łykowate. Dlaczego więc został on wytepiiony? Odpowiedź jest trywialna, a zarazem straszna – dlatego, że nie uciekał.

Podobny przykład wiąże się z Polinezyjczykami, którzy zaludnili Hawaje. Na podstawie wykopanych kości oszacowano, że zgładzili oni całkowicie przynajmniej 30% endemicznych⁴⁸ gatunków zwierząt.

Człowiek i żyjące w jego otoczeniu zwierzęta, które celowo przysposobił, bądź te, które towarzyszyły mu wbrew jego woli (np. szczury) niejednokrotnie stały się przyczyną zagłady innych gatunków. Rozmnożenie się nieznanych drapieżników na wyspie z reguły oznacza wyrok na organizmy przystosowane tylko do lokalnych zagrożeń. Jaskrawym tego przejawem jest wymieranie zwierząt i roślin na Mauritiusie, Komodo, Nowej Zelandii i in. Biosfera jest bardzo delikatna i podatna na zewnętrzne wpływy, szczególnie jeśli jest ona zamknięta w obrębie niewielkiego obszaru w postaci wyspy.

Prawdopodobnie już od samego zarania swoich dziejów człowiek był przyczyną wymierania zwierząt. Paul Martin sądzi, że z jego powodu wyginęły pod koniec pleistocenu wielkie ssaki takie jak mamuty czy leniwce. Istotnie, zapis kopalny świadczy o tym, że były one głównym składnikiem diety ówczesnych ludzi. Ich skóry i kości stanowiły też znakomity materiał do konstrukcji niemal wszystkiego co było wtedy potrzebne człowiekowi do życia – włączając w to także jego domostwa. Tu

⁴⁸ Gatunek endemiczny to taki, który występuje tylko na określonym terenie.

jednak możnaby szukać usprawiedliwienia – zabijanie było niezbędne do przetrwania. Obecnej natomiast, destrukcyjnej działalności usprawiedliwić nie można. Ocenia się, że rocznie z winy człowieka bezpowrotnie znika z powierzchni Ziemi około tysięcy (!) gatunków flory i fauny. Dla porównania trzeba w tym miejscu dodać, że normalne, z punktu widzenia ewolucji, tempo wymierania gatunków, jak się szacuje, wynosi jeden na sto lat, włączając do statystyki nawet takie zagłady jak wspomniane już wymieranie permskie.

Ta szokująco duża liczba unicestwianych rocznie gatunków może być nawet zaniżona. Wycinanie lasów tropikalnych równoznaczne z zagładą lokalnych ekosystemów zawierających liczne gatunki endemiczne uwiarygodnia taką przerażającą ocenę. Lasy tropikalne, jak oceniają fachowcy, są siedliskiem połowy wszystkich ziemskich gatunków. Nie przeszkadza to jednak ludziom w corocznym wycinaniu drzew na obszarze wielkością odpowiadającym 2/3 terytorium Polski. Jak długo biosfera będzie wytrzymywać taki proceder? Liczba wymierających rocznie gatunków może być znacznie większa od wspomnianej, także ze względu na fakt, że do dziś nie wiemy z jakiej ich liczby składa się nasza biosfera. Możliwe, że unicestwiamy gatunki, których istnienia nie zdołaliśmy nawet odnotować. Jak dotąd opisanych zostało ok. półtora miliona gatunków samej fauny, a niektórzy naukowcy twierdzą, że liczba ta może być nawet 20-krotnie większa!

Ludzie przełomu XX i XXI wieku mogą jeszcze spać spokojnie. Nie wiadomo jednak, zwłaszcza w świetle teorii o roli chaosu w procesie wymierań, co stanie się z biosferą po kilkudziesięciu kolejnych latach rabunkowej eksploatacji. Oby nie było tak, że przyszłe pokolenia będą na nas patrzyły z politowaniem, tak jak my obecnie nie możemy pojąć bezmyślności tych, którzy wytępili dodo. Niestety, rozpaczliwe usiłowania garstki ludzi zmierzające do ocalenia tego co pozostało z niedawnej różnorodności wciąż niweczone są przez bezmyślność innych.

Katastrofa biosfery nie jest, bynajmniej, związana wyłącznie z wycinaniem lasów tropikalnych. Spalenie w przeciągu ostatnich stu lat dużej części zasobów ropy i węgla, które tworzyły się w karbonie przez dziesiątki milionów lat uwolniło do atmosfery wielkie ilości szkodliwych substancji, przede wszystkim związków, węgla, azotu, siarki, metali ciężkich, a także sadzy. Przemysł i motoryzacja skaziły też glebę, a przede wszystkim wodę. Fakt ten doskonale widoczny jest w polskich rzekach, z których wiele zamieniło się w prawie całkowicie pozbawione życia kanały ściekowe, a wielu przecież ludzi jeszcze dobrze pamięta obfitość żyjących w nich ryb.

Naruszenie powłoki ozonowej poprzez emisję związków freonu pozbawia naszą planetę powłoki chroniącej przed zabójczym dla życia promieniowaniem ultrafioletowym zaś gazy cieplarniane podnoszą temperaturę atmosfery. Paradoksalnie takie ocieplenie może spowodować nagłe oziębienie. Topnienie lodolodu powoduje powstawanie olbrzymich konwekcyjnych prądów morskich i mieszanie, już z dala od lodowców, ciepłych prądów oceanicznych z zimnymi prądami głębinowymi. Takie oziębienie powierzchni oceanów może w szybkim tempie obniżyć globalną temperaturę średnioroczną i zmniejszyć wilgotność. Podobne mechanizmy, o czym była mowa w poprzednim rozdziale, zmieniały już wielokrotnie w przeszłości ziemskie warunki klimatyczne.

Zmiany takie są jednak z punktu widzenia człowieka dość wolne, a przez to trudno dostrzegalne. Łatwo natomiast dostrzec zmiany w biosferze. Jaskrawym ich przykładem są wspomniane już zatrute rzeki. Na tym jednak nie koniec. Wystarczy rozejrzeć się wokoło aby stwierdzić, że destrukcja biosfery zachodzi wszędzie i to na naszych oczach. Wielu czytelników zapewne pamięta jaskółki siedzące na drutach elektrycznych czy nawet całe ich stada uganiające się za muchami. Czy są one teraz takie powszednie? Co się stało z żabami, których obfita jeszcze kilkadziesiąt lat temu ilość zamieszkiwała obrzeża większości stawów? Dochodzi do tego, że coraz częściej bociany z powodu braku pożywienia porywają kurczęta z wiejskich podwórek. Dlaczego opowiadania dziadka o lasach i polanach pełnych grzybów wydają się dziś niedorzeczne? Co stało się z gęstymi, śnieżno-białymi dywanami zawilców kwitnących każdej wiosny? Pytania takie można mnożyć, a przecież dotyczą one tylko naszej najbliższej okolicy.

Katastrofalna dewastacja środowiska naturalnego jest faktem i trzeba mieć nadzieję, że ludzie poważnie się w końcu nad tym zastanowią, zwłaszcza, że tak naprawdę niewiele jeszcze wiemy na temat funkcjonowania biosfery, której część stanowimy. Z nieznanym lepiej nie igrać.

Dowodem naszej ignorancji w tym zakresie jest fiasco eksperymentu pod nazwą Biosfera II. W ramach niego grupa naukowców zamknęła się w hermetycznej kopule zawierającej rośliny i zwierzęta, które miały za zadanie imitować ziemską biosferę. Choć skład gatunkowy tego sztucznie stworzonego środowiska był niezwykle starannie dobrany ze względu na konieczność zaspokajania podstawowych potrzeb organizmów żywych, to jednak dość szybko okazało się, że jest on nieodpowiedni i trudny do kontrolowania. Naukowcy nie docenili bakterii glebowych, które bardzo zubożyły ilość tlenu zawartą w kopule Biosfery II. Z powodu tych mikroskopijnych organizmów atmosfera tego sztucznego środowiska nie nadawała się do oddychania. Z drugiej zaś

strony bakterie te są cennym, z punktu widzenia roślin, składnikiem gleby.

Być może podobne, przyszłe eksperymenty zakończą się lepszym skutkiem. Trzeba jednak przyznać, że fiasko Biosfery II pozwoliło zrozumieć jak mało jeszcze wiemy na temat biocenologii i samych biocenoz.

10. Katastrofy poglądów

Wszechświat wykazuje ogólną tendencję do przechodzenia od prostoty do coraz większej komplikacji - wydaje się to prawem uniwersalnym. Z prostego stanu początkowego zrodził proste atomy, z nich galaktyki i gwiazdy, układy planetarne, życie i w końcu myśl - niezwykły twór, który przejął na swoje barki wytwarzanie dalszej złożoności. Bez tego „wynałazku” skończyłaby się ona na poziomie organizmów biologicznych. Myśl daje nadzieję na jego przekroczenie, a z całą pewnością można powiedzieć, że jest w stanie znacznie przyspieszyć tempo wzrostu złożoności. Co ciekawe proces ten jest antyentropijny⁴⁹ i możliwy tylko w układach otwartych dalekich od równowagi termodynamicznej. Wszechświat dobrze spełnia te dwa warunki. Dopóki się rozszerza jest otwarty i dopóki istnieją gwiazdy będzie daleki od stanu równowagi termodynamicznej. Skoro tendencja do wzrostu złożoności jest, jak się wydaje, ogólnym prawem przyrody, można pokusić się o stwierdzenie, że pojawienie się myśli to także zjawisko naturalne, kolejny etap tej tendencji.

Historia tego fenomenu jest bardzo krótka, liczy sobie prawdopodobnie nie więcej niż kilkanaście tysięcy lat. W jej toku, któremu towarzyszył wzrost zasobów ludzkiej wiedzy, także zdarzały się (i nadal będą zdarzać) wielkie katastrofy. W świetle poprzednich rozdziałów jawią się one jako nieodłączny składnik wszelkich zmian w stronę złożoności.

Towarzyszą one także ludzkim poglądom na naturę świata. Katastrof w tym zakresie było tak wiele, że z powodzeniem mogą stanowić materiał na napisanie odrębnej książki. Niemniej jednak niektóre z nich, szczególnie spektakularne, wypada tutaj wymienić.

Do jednej z największych, niewątpliwie należy zaliczyć obalenie systemu Ptolemeusza przez polskiego astronoma Mikołaja Kopernika. System ten, stanowiący zmodyfikowaną⁵⁰ wersję poglądów Platona i Arystotelesa, przetrwał ponad 1500 lat, a

⁴⁹ Entropia jest miarą nieporządku. W termodynamicznych układach zamkniętych dalekich od stanu równowagi obowiązuje prawo wzrostu entropii, tzn. reguła, która stwierdza, że w tego typu układach nieporządek zawsze rośnie. Aby się o tym naocznie przekonać proszę przez kilka dni niczego nie układać w mieszkaniu.

⁵⁰ Modyfikacja ta polegała na wprowadzeniu pojęcia epicyklu czyli okręgu, o środku przymocowanym do przypisanej danej planecie sfery niebieskiej, po którym poruszała się ta planeta. Dzięki epicyklom udało

„Almagest”⁵¹ Ptolemeusza, w którym został on opisany, przez 7 wieków stanowił podstawowy podręcznik astronomii. Ta imponująca żywotność świadczy o wielkości tego dzieła. Żaden inny twór myśli ścisłej nie przetrwał tak długo bez większych zastrzeżeń. Co prawda pojawiały się one co pewien czas,⁵² ale żadne z nich nie było w stanie konkurować z obowiązującym systemem. Sytuacja ta uległa zmianie po r. 1543 kiedy został opublikowany traktat Kopernika „De revolutionibus orbium coelestium”⁵³. Dzieło to spowodowało nie tylko katastrofę przekonań naukowych ale także, a może nawet przede wszystkim, załamanie się całego systemu filozoficznego, w którego centrum stał człowiek.

Rewolucja w kopernikańskim stylu powtórzyła się jeszcze wielokrotnie, bowiem na usunięciu Ziemi z tronu wszechświata ciąg katastrof się nie skończył. Kolejnej detronizacji dokonał Harlow Shapley odsuwając nasz Układ Słoneczny na peryferie Drogi Mlecznej. Niedługo później Edwin Hubble dokonał tego samego z Drogą Mleczną, dowodząc, że jest ona tylko jedną z niezliczonej ilości rozmaitych galaktyk rozsianych po całym wszechświecie. Na tym jednak nie koniec. Ostatnie wyniki prac teoretyków i fizyków wysokich energii zdają się zmierzać do konkluzji, że nasz wszechświat jest jednym z niezliczonej ilości odrębnie egzystujących wszechświatów. W tym miejscu rewolucje kopernikańskie raczej się kończą. Znajomość dziejów nauki nakazuje jednak daleko idącą powściągliwość w wytyczaniu granic ludzkiego poznania.

Rewolucje poglądów zdarzały się też badaczom świata w skali mikroskopowej. Pojęcie atomu, niepodzielnej cząstki, wymyślili greccy filozofowie, których najznakomitszymi przedstawicielami byli Demokryt i Leucyp. Idee bywają bardzo żywotne. Atomizm został na nowo wskrzeszony wraz z rozwojem chemii. Jednym z pierwszych uczonych, którzy zwrócili uwagę na możliwość istnienia prostych i niepodzielnych cząstek materii był Antoine Laurent Lavoisier – człowiek, który stworzył podwaliny chemii. Jego idee podjął następnie John Dalton ogłaszając w latach 1803-1808 swoją teorię atomistyczną. Wedle niej atomy, podobnie jak u greckich filozofów, były niepodzielne, natomiast w odróżnieniu od nich, miały różne masy a nie kształty. Aż do początków XX w. atom był uważany za niepodzielną cząstkę.

Jego podzielność wykazał dopiero w 1911 r. Ernst Rutherford analizując wyniki

się Ptolemeuszowi pogodzić istniejące już teoretyczne modele wszechświata z obserwowanym ruchem planet.

⁵¹ z jęz. arabskiego: Największy astronom.

⁵² Wsuwano zastrzeżenia główne natury teologicznej. Trudno mianowicie było pogodzić skończoność i centralną rolę Ziemi we wszechświecie Ptolemeusza z nieskończonością i wszechobecnością Boga.

⁵³ z jęz. łac. O obrotach sfer niebieskich.

doświadczenia nad przechodzeniem cząstek alfa (jąder helu) przez złotą folię. Wyniki tego eksperymentu dały się wyjaśnić tylko przy założeniu istnienia wewnątrz atomu małego i twardego jądra otoczonego przez elektrony, których istnienie uzasadnił w 1897 r. Joseph John Thomson⁵⁴. Przed odkryciem Rutherforda uznawano model Daltona, przedstawiający atom w postaci „ciasta z rodzynkami” czyli dodatnio naładowanej kuli z ujemnymi ładunkami przytwierdzonymi do jej powierzchni⁵⁵. 8 lat później prace Rutherforda dostarczyły wskazówek, co do możliwości istnienia protonów. Między 1930, a 1950 odkryto (w kolejności) pozyton, neutron, miony, piony i kaony. Odkrycie tych cząstek wprawilo fizyków w zakłopotanie, ale to co nastąpiło wraz z nadejściem lat 50. można śmiało nazwać katastrofalną powodzią nowych cząstek. Odkryto ich tak wiele, że poódz ta zdawała się nie mieć końca. Aby w niej nie utonąć dwaj fizycy Murray Gell-Mann i George Zweig ok. 1964 r. rozwinęli koncepcję kwarków, których różne kombinacje mogły być obserwowane są w postaci różnych cząstek. Te czysto teoretyczne twory, jak zdołano wykazać doświadczalnie, istnieją jednak w rzeczywistym świecie. Tak więc nie tylko jądro ma swoje składniki ale one same nie są elementarne – czy to się kiedyś skończy?

Niektórzy fizycy są obecnie skłonni twierdzić, że dotarli do kresu możliwości redukcji. Jeśli jednak próby skonstruowania teorii unifikującej wszystkie oddziaływania⁵⁶ zakończą się pomyślnie, może się okazać, że kres ten leży gdzie indziej niż to sobie wyobrażamy.

Jak na razie dotychczasowe odkrycia, zarówno eksperymentalne jak i teoretyczne podsumowane zostały w zespole teorii zwanym Modelem Standardowym⁵⁷, który operuje 12 cząstkami materii (wraz z ich antymaterialnymi odpowiednikami) oraz cząstkami przenoszącymi oddziaływania między nimi.

Wbrew pozorom największa katastrofa poglądów nie nastąpiła wcale z powodu powodzi cząstek, ale odkrycia, że prawa nimi rządzące są zupełnie odmienne od powszechnie uznanych praw fizyki. Ich odmienność nie byłaby jeszcze tak druzgocąca

⁵⁴ 10 lat wcześniej pruski fizyk Emil Wiechert był również bliski tego odkrycia.

Termin „elektron” wprowadził w 1874 r. irlandzki fizyk George Johnstone Stoney jako nazwę jednostki elektryczności, którą traci atom stając się jonem.

⁵⁵ Ładunek ujemny równoważył dodatni dzięki czemu atom Daltona był elektrycznie obojętny.

⁵⁶ Tzn. elektromagnetyczne, jądrowe słabe, jądrowe silne i grawitacyjne.

⁵⁷ W skład Modelu Standardowego wchodzi: chromodynamika kwantowa – opisująca oddziaływania silne oraz teoria Glashowa-Salama-Weinberga łącząca oddziaływania elektromagnetyczne i słabe we wspólne, elektro-słabe, oddziaływanie.

gdyby nie fakt, że zupełnie kłóć się one ze zdrowym rozsądkiem⁵⁸.

Rewolucję zapoczątkował w 1900 r. Max Planck, wysuwając przypuszczenie, że promieniowanie wysyłane jest nie w sposób ciągły lecz porcjami (kwantami). Do takiego wniosku doprowadziły go próby wyjaśnienia niezgodności przewidywań klasycznej teorii promieniowania z danymi eksperymentalnymi w zakresie wysokich częstotliwości - tzw. katastrofa w nadfiolecie. Planck zakładając, że energia promieniowania jest skwantowana, znalazł funkcję odpowiadającą uzyskiwanym danym eksperymentalnym. Analogiczne założenie dotyczące pochłaniania promieniowania umożliwiło też Einsteinowi wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego. Doprowadziło to do sformułowania hipotezy o dualizmie promieniowania (tzw. dualizm korpuskularno-falowy) tj. przejawianiu przez nie, w zależności od okoliczności, własności falowych bądź materialnych.

W 1913 r. Niels Bohr przedstawił kwantowy model atomu wodoru, który postulował skwantowanie momentów pędu elektronów. Stało się bowiem jasne, że mechanika Newtona nie jest w stanie poprawnie opisać ich ruchu.

Worek z odkryciami rozsypał się w latach 20. XX w. W 1923 r. Arthur Compton odkrył kwantową naturę promieni Roentgena, a Bohr sformułował zasadę korespondencji, w myśl której fizyka klasyczna jest granicznym przybliżeniem kwantowych praw przyrody. Rok później Louis de Broglie rozciągnął dualizm promieniowania również na cząstki. Idea ta została potem potwierdzona w eksperymencie Davissona-Germera stwierdzającym korpuskularno-falową naturę elektronów. Oznaczało to, że obiekty rzeczywiste, zależnie od okoliczności przejawiają własności materialne lub falowe. Korzystając z tej idei Erwin Schrödinger skonstruował w 1926 r. równanie falowe opisujące zachowanie się cząstek w skali atomowej. Szybko zorientowano się, że opisuje ono cząstki w kategoriach prawdopodobieństwa.

Również pod koniec lat 20. Werner Heisenberg sformułował swoją mechanikę macierzową (jak się potem okazało równoważną mechanice Schrödingera) oraz słynną zasadę nieoznaczoności, stwierdzającą fundamentalne ograniczenie przyrody – niemożność jednoczesnego i dokładnego wyznaczenia pędu (iloczyn masy i prędkości) i położenia cząstki⁵⁹. Ta prosta zasada przyniosła ze sobą niezwykle poważne

⁵⁸ Einstein stwierdził kiedyś, że zdrowy rozsądek to zespół przesądów, których nabiera człowiek po 16 roku życia.

⁵⁹ Wynika ona z faktu, że do pomiaru zawsze używa się pewnej cząstki sondującej, która uderzając w cząstkę mierzoną zmienia zarówno jej pęd jak i położenie.

konsekwencje. Nieoznaczoność energii i pędu prowadzi m. in. do nieoznaczoności energii i czasu - a to z kolei zezwala na spontaniczne wyłanianie się z próżni cząstek wirtualnych bez naruszania zasady zachowania energii. Mechanika kwantowa, a w szczególności zasada nieoznaczoności, zabraniają istnienia absolutnej pustki. Innymi słowy teoria ta uzasadnia możliwość powstania czegoś, praktycznie z niczego. Fakt, że takie cząstki istnieją i mogą wywoływać w rzeczywistym świecie pewne mierzalne efekty przewidział w 1948 r. holenderski fizyk Hendrick Casimir. Zauważył on, że jeśli by zbliżyć do siebie dwie elektrycznie obojętne płyty na dostatecznie małą odległość to przestrzeń między nimi będzie preferować tylko cząstki wirtualne o długości fali (w sensie de Broglie) mniejszej niż ów dystans. Ponieważ krótsza długość fali odpowiada większej energii fakt ten powinien się objawiać w postaci ciśnienia wywieranego na wewnętrzne strony płyt, gdyż od zewnętrznej ich strony nie ma żadnych ograniczeń na długość fali cząstek i ich średnia energia jest niższa.

Niewielkie siły przewidziane przez Casimira zmierzyl dopiero w 1996 r. Steven Lamoreaux uzyskując dobrą zgodność z przewidywaniami. Jego płyty kwarcowe pokryte warstwą złota odchylone zostały z niewielką siłą (ok. 0,0000001 g), nie mniej jednak efekt został zaobserwowany.

Innym, równie ważnym osiągnięciem mechaniki kwantowej jest wyjaśnienie mechanizmów łączenia się atomów w cząstki (reakcji chemicznych) i tym samym położenie pomostu pomiędzy fizyką i chemią oraz biologią. Innymi słowy w ramach tej teorii rysuje się potencjalna możliwość wyjaśnienia procesów leżących u podstaw życia. Obok niewątpliwych osiągnięć, mechanika kwantowa ciągnie za sobą, jak każda zresztą istniejąca teoria, obszerny bagaż kłopotów. Do najważniejszych z nich trzeba zaliczyć trudności z fizyczną interpretacją uzyskiwanych dzięki niej wyników oraz liczne paradoksy pojawiające się przy próbach przerzucenia pomostu pomiędzy światem mikroskopowym a makroskopowym.

Rozpatrywanie układów fizycznych w kategoriach prawdopodobieństwa (właściwych mechanice kwantowej) prowadzi do różnego typu „dziwactw” całkowicie sprzecznych z ludzką intuicją. Kulka wpuszczona do miednicy będzie się toczyć w jej wnętrzu i w końcu spocznie na dnie bez szans na jej opuszczenie. Gdyby jednak układ miednica-

Patrząc na jakiś przedmiot analizujemy odbite od niego światło - wiązkę fotonów, która wykrywana przez oko jest następnie odpowiednio interpretowana przez mózg. Jednak w akcie odbicia fotony przekazują oglądanemu przedmiotowi część swojej energii, skutkiem czego ulega zmianie jego prędkość i położenie. Ponieważ wykrywane przez oko fotony niosą ze sobą bardzo małą energię, efekt taki byłby odczuwalny tylko podczas obserwacji obiektów niezwykle małych, a tych przecież nie można dostrzec gołym okiem. Z tego m. in. powodu wydaje nam się, że świat mikroskopowy zachowuje się inaczej niż makroskopowy.

kulka miał dostatecznie małe rozmiary zasada nieoznaczoności zezwoliłaby na wędrówki kulki poza miednicę! Co ciekawe „dziwactwa” takie są skrzętnie wykorzystywane we współczesnej elektronice⁶⁰.

Innym, klasycznym ich przykładem jest tzw. kot Schrödingera - paradoks wynikający z połączenia mikroświata z makroświatem. Kot zamknięty jest w nieprzeźroczystym pudle, w którym znajduje się także pojemnik ze śmiertelną, natychmiast działającą trucizną. Pojemnik otwierany jest poprzez mechanizm wyzwalany uderzeniem cząstki alfa pochodzącej ze źródła promieniotwórczego. Paradoks polega na tym, że cząstka ta emitowana jest z pewnym prawdopodobieństwem, zatem kwestię czy kot żyje czy też nie, póki nie zajrzy się do pudła, można rozpatrywać tylko w kategoriach prawdopodobieństwa. Innymi słowy, przed otwarciem pudła, kot częściowo jest żywy, a częściowo martwy!⁶¹

Katastrofa dotknęła też utrzymujących się przez wiele wieków absolutystycznych poglądów na czas i przestrzeń. Teorie względności Alberta Einsteina⁶² zupełnie zburzyły współczesne poglądy dotyczące czasu, przyspieszenia, masy, siły, pędu, energii itd., a także umożliwiły całkiem nowe spojrzenie na naturę grawitacji. Znów okazało się, że mechanika Newtona nie opisuje wszystkich obiektów. Wymykają się jej także te, które poruszają się zbyt szybko. Podobnie jak mechanika kwantowa, teoria względności powstała w związku z niezgodnością danych doświadczalnych z przewidywaniami istniejących teorii. M. in. w ramach ówczesnej fizyki nie można było wyjaśnić rezultatów doświadczenia Michelsona-Morleya, którzy mierzyli prędkość światła zgodnie i przeciwnie z kierunkiem ruchu Ziemi za każdym razem otrzymując jednakowe wyniki⁶³. Einstein próbując rozwiązać m. in. ten problem oparł swoje rozumowanie na dwóch prostych postulatach. Pierwszy z nich to zasada względności mówiąca, że we wszystkich inercjalnych układach odniesienia⁶⁴ wszystkie prawa natury są jednakowe (nie tylko prawa mechaniki jak uważano wcześniej). Innymi

⁶⁰ Zobrazowane tutaj zjawisko nosi nazwę tunelowania i jest wykorzystywane m. in. w diodzie tunelowej. Naukowcy usiłują nawet praktycznie wykorzystać efekt Casimira! Stwierdzenie „układ jest zasilany energią próżni”, brzmiące jak wyjątek z powieści fantastyczno-naukowej, być może będzie kiedyś powszechnie używane w opisach zasad działania urządzeń elektronicznych.

⁶¹ Jest to jedna z wersji tego eksperymentu. Niedawno wytworzono mikroelektroniczny odpowiednik kota Schrödingera, który zachowuje się analogicznie do tutaj opisanego.

⁶² Teorie te są najlepszym przykładem przydatności naukowych spekulacji prowadzących do nowych odkryć.

⁶³ Zgodnie z zasadą Galileusza powinny być one różne; w kierunku zgodnym z ruchem Ziemi prędkości powinny się sumować, w kierunku przeciwnym odejmować. Doświadczenie nie wykazało jednak spodziewanej różnicy.

⁶⁴ tzn. nieruchomych lub poruszających się ze stałą prędkością.

słowy, wg tej zasady, układy inercjalne są nierozróżnialne. Drugi postulat był niejako odpowiedzią na wyniki doświadczenia Michelsona-Morleya i zakładał stałość prędkości światła.

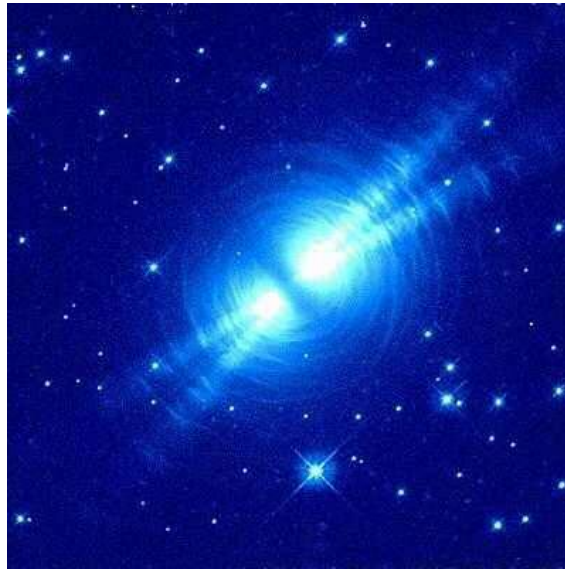
Sformułowanie takiej zasady wykluczyło od razu analogię między falami mechanicznymi (np. dźwiękowymi), a elektromagnetycznymi, ponieważ te pierwsze ewidentnie takiej zasadzie nie podlegają. To z kolei prowadzi do rezygnacji z przedstawiania fali elektromagnetycznej w postaci mechanicznych odkształceń ośrodka⁶⁵. Dalsza analiza konsekwencji postulatów prowadzi do nieoczekiwanego wniosku, że długość ciała poruszającego się względem układu inercjalnego musi ulegać skróceniu, które zwiększa się w miarę wzrostu prędkości tego ciała (tzw. skrócenie relatywistyczne). To z kolei prowadzi do wniosku, że czas, masa, pęd, przepływ prądu, natężenie pola elektrycznego i in. wielkości fizyczne są różne z punktu widzenia różnych układów inercjalnych. Konsekwencją tego jest słynna zależność energii spoczywającego ciała od jego masy i kwadratu prędkości światła.

Dla ruchów powolnych (nawet rzędu tysięcy km/s) relatywistyczne zmiany własności ciał są minimalne, jednak np. dla cząstek elementarnych, które często poruszają się z prędkościami bliskimi prędkości światła mogą być one bardzo duże.

Poszukiwania sposobu sformułowania praw przyrody niezależnego od układu odniesienia doprowadziły następnie Einsteina do sformułowania nowej teorii grawitacji czyli ogólnej teorii względności, opartej o zasadę równoważności siły grawitacji i siły związanej z przyspieszeniem ciała. Zasada ta pozwala wprowadzić równoważność pomiędzy układami inercjalnymi i nieinercjalnymi pod warunkiem, że te ostatnie znajdują się w odpowiednim polu grawitacyjnym. Einstein znalazł przy tym sposób na rozciągnięcie tejże równoważności na dowolnie rozległy obszar, co z kolei doprowadziło go do wniosku o zakrzywieniu przestrzeni. Zakrzywienie to jest istotne w pobliżu wielkich mas, dlatego w codziennej praktyce znakomicie sprawdza się teoria grawitacji Newtona. Jednak w badaniach kosmosu, gdzie spotyka się olbrzymie masy, zjawiska tego nie można pominąć. Klasycznym jego przejawem i jednocześnie kolejnym dowodem poprawności ogólnej teorii względności jest przewidywane przez nią tzw. soczewkowanie grawitacyjne – optyczny miraż spowodowany przejściem promieni światła przez zakrzywiony, na skutek obecności masywnego ciała, obszar

⁶⁵ Hipotetyczny ośrodek propagacji fal elektromagnetycznych nazywano eterem. Teoria względności postulowała jego zbędność. Rozwój nauki doprowadził wcześniej do porzucenia wielu takich sztucznych koncepcji. Do najbardziej znanych obok eteru należy flogiston (substancja decydująca o palności ciał) i ciepłik (nośnik ciepła).

przestrzeni (fot. 7).



Fot. 7. Niezwykle efektowna fotografia soczewki grawitacyjnej wykonana przez kosmiczny teleskop Hubble'a. Fot. NASA.

Kiedy dostrzeżono powiązania między różnymi działami nauk przyrodniczych stało się jasne, że nie można zniwelować przepaści między mechaniką kwantową, opisującą obiekty bardzo małe (królestwo oddziaływań elektro-słabych i silnych), a ogólną teorią względności, opisującą obiekty bardzo duże (królestwo oddziaływania grawitacyjnego). Istnienie obok siebie dwóch fundamentalnych i empirycznie sprawdzonych teorii, które są całkowicie rozbieżne jest bardzo niepokojące i wróży kolejny przewrót. Na razie do niego jeszcze nie doszło ale katastrofa naszego pojmowania świata zdaje się znowu wisieć na włosku.

Kandydatka na teorię, która może pogodzić obydwie tu wymienione powstała już w 1968 r. Młody teoretyk Gabriel Veneziano skonstruował wtedy formułę matematyczną, która pozwalała przewidzieć prawdopodobieństwo rozproszenia w określonym kierunku podczas zderzeń dwóch cząstek przy czym ogólne własności tej formuły spełniały zarówno wymagania teorii względności jak i mechaniki kwantowej. Właśnie ta jej cecha przyciągnęła uwagę fizyków którzy zauważyli, że reprezentacja Veneziano w istocie opisuje obiekty przypominające struny⁶⁶. Różne typy ich drgań przejawiają się jako różne cząstki elementarne. Strun tych nie można obserwować z powodu ich niezwykle małych rozmiarów porównywalnych z długością Plancka - 10^{-35}

⁶⁶ Ostatnio wysunięto przypuszczenie, że teorie strun są tylko szczególnymi przypadkami teorii ogólniejszej (nazwanej M-teorią) opisującej obiekty, które przez analogię do strun możnaby nazwać membranami.

m. Współczesne akceleratory umożliwiają badanie obiektów o rozmiarach nie mniejszych niż 10^{-18} m czyli większych od strun o 17 rzędów wielkości. Z tego powodu obserwowane cząstki elementarne wydają się być punktowe i tak też opisywane są w Modelu Standardowym. Rezygnacja z takiego opisu i potraktowanie cząstki jako makroskopowego efektu drgania mikroskopowej struny, jak się okazuje, umożliwia pogodzenie teorii względności z mechaniką kwantową. Konieczność zapewnienia spójności równań teorii strun wymaga jednak operowania w przestrzeni przynajmniej dziesięciowymiarowej (jeden wymiar czasowy i dziewięć przestrzennych). Fakt ten zdaje się stać w sprzeczności z obserwowaną czterowymiarową rzeczywistością (trzy wymiary przestrzenne i jeden czasowy). Sprzeczność ta jednak może być pozorna. Jeśli bowiem popatrzeć z daleka na długą nitkę to zdaje się ona być obiektem jednowymiarowym - jej grubość jest znikoma w porównaniu do długości. Podobnie niedostrzegalne mogą być dodatkowe wymiary sugerowane przez teorię strun.

Pomysł, że wszechświat ma więcej niż cztery wymiary nie jest wcale nowy. W 1921 r. dwaj matematycy T. Klause i O. Klein próbowali niezależnie od siebie, poprzez wprowadzenie piątego wymiaru, wytłumaczyć istnienie ładunku elektrycznego. Wg nich, wszechświat w tym wymiarze jest bardzo silnie zakrzywiony i mały, a wymiar ten jest odczuwalny jako ładunek elektryczny. Jest niezwykle interesujące, że idea ta powróciła i umożliwia powiązanie także słabych i silnych oddziaływań jądrowych jako przejawów dodatkowych wymiarów.

Problem połączenia grawitacji z Modelem Standardowym wciąż pozostaje otwarty i nie wykluczone, że zakończy się powstaniem zupełnie nowej teorii, która przewróci nasze wyobrażenie o świecie.

Rewolucje intelektualne nie ominęły także poglądów na naturę i genezę życia. Autorem jednego z największych przewrotów był Charles Robert Darwin. Dokonując licznych obserwacji przyrodniczych sformułował on teorię wyjaśniającą przyczyny zróżnicowania organizmów żywych. Teoria ta prowadziła do konkluzji, że wszystkie występujące na Ziemi gatunki flory i fauny pochodzą od jednego organizmu, który ewoluował, tzn. podlegał niewielkim zmianom i jeśli były one korzystne, czyli zwiększały prawdopodobieństwo przetrwania, a tym samym i rozmnożenia organizmu, utrwały się w populacji. Kumulacja tych drobnych i stopniowych zmian z czasem prowadziła do wyodrębnienia się odmiennego organizmu. Ta zdumiewająco prosta zasada tłumacząca pochodzenie gatunków w połączeniu z możliwością powstania

wszechświata ex nihilo⁶⁷ jest w stanie dać równie zdumiewająco prostą odpowiedź na zasadnicze pytanie: skąd się wszystko wzięło - brzmieć ona może: z niczego.

Darwin jednak nie umiał podać rzeczywistych mechanizmów ewolucji - nie wiedział, że jednymi z ważnych jej przyczyn są mutacje genetyczne.

Obecnie też wiadomo, iż ewolucyjne zmiany nie zachodzą w stałym tempie i mogą nawet znacznie przyspieszać, zależnie od presji środowiska. Ta zaś z kolei, jak się wydaje silnie zależy od zmian lokalnego klimatu. Bez względu na to, podana przez Darwina zasada lepszego prosperowania organizmów lepiej dostosowanych do środowiska jest słuszna. Trudno sobie wręcz wyobrazić aby mogło być inaczej.

Wiele lat później Richard Dawkins próbując określić najniższy z możliwych poziomów ewolucji doszedł do wniosku, że dzieje się ona na poziomie genów, a organizmy są tylko ich nośnikami – „maszynami przetrwania”, których jedynym zadaniem jest efektywne rozmnożenie genów w populacji. Wedle Dawkinsa obserwowany świat organizmów żywych to tylko przejawy niezliczonej ilości sposobów do jakich doszły geny, aby jak najlepiej spełnić zadanie własnej prokreacji.

Takie postawienie sprawy to kolejny przewrót myślowy redukujący rolę organizmów, w tym także ludzi, jedynie do zapewnienia przetrwania pewnych cząstek chemicznych, które osiągnęły stopień komplikacji umożliwiający im samopowielanie. Takie rozumowanie to prawdziwa klęska ludzkiego ego, sprowadzonego do jednego z licznych, „wynalezionych” przez geny sposobów przetrwania. Koncepcja samolubnych genów wydaje się jednak całkiem sensowna i dość dobrze uzasadniona.

Jeszcze większą rewolucję przyniesie zapewne znalezienie odpowiedzi (jakakolwiek by ona nie była) na wciąż otwarte pytanie o pochodzenie pierwszego organizmu. Istnieją co prawda hipotezy zmierzające do wyjaśnienia fenomenu życia ale są one jednak bardzo trudne do sprawdzenia. Być może jest to częściowo spowodowane dużą rozległością czasową procesów biogenezy, a częściowo trudnościami w ustaleniu czym w ogóle jest życie. Rozwiązanie zagadki przejścia od materii nieożywionej do ożywionej będzie kolejnym wielkim przełomem, a dla wielu systemów filozoficznych wręcz intelektualną katastrofą. Śmiałe eksperymenty przeprowadzane w wielu ośrodkach badawczych na całym świecie wskazują, że może do niej dojść nawet w najbliższej przyszłości. W kilku laboratoriach udało się już zsyntezować proste cząstki chemiczne zdolne do samoreplikacji, a nawet ewolucji.

⁶⁷ Ex nihilo nihil (fit) łac. z gr., nic (nie powstaje, nie rodzi się) z niczego, Lukrecjusz, „O naturze wszechrzeczy”.

Rozstrzygnięcie problemu biogenezy wypełni jedną z istotnych luk w historii nas samych i być może uświadomi nam całkowitą bezcelowość życia, przynosząc prawdziwą katastrofę naszych aspiracji i nadziei. Pojęcie sensu wymyślił przecież sam człowiek i może być ono przyrodzie zupełnie obce. W konsekwencji, całkowicie rozsypać się mogą fundamenty wielu pięknych idei, które towarzyszą ludziom od samego początku człowieczeństwa. Trudno sobie nawet wyobrazić w jaki sposób wpłynie to na ludzką społeczność.

Niemniejszej rangi rewolucję może również przynieść odkrycie życia poza Ziemią – nawet najprymitywniejszych jego przejawów (choćby w postaci skamielin). Byłby to dowód na powszechność, wręcz nieuchronność takiego zjawiska we wszechświecie. Nastąpiłaby też kolejna detronizacja; po Ziemi, Układzie Słonecznym, Drodze Mlecznej i Naszym Wszechświecie (?) – odartych z wszelkich przywilejów i sprowadzonych do przeciętności – przyszlaby kolej na następny bastion ludzkich wyobrażeń – życie. Znalezienie dowodów na zwyczajność tego zjawiska z całą pewnością będzie wielką intelektualną katastrofą.

Są podstawy do przypuszczeń, że któraś z wymienionych katastrof nastąpi w ciągu najbliższego ćwierćwiecza. Na najbliższe 25 lat planuje się bowiem przeprowadzenie szeregu spektakularnych eksperymentów m. in. wysłanie sond kosmicznych na Europę (księżyc Jowisza, gdzie może występować woda w stanie ciekłym) i Tytana (księżyc Saturna, którego atmosfera jest bogata w związki organiczne). Planowany jest także lot załogowy na Marsa, w celu definitywnego rozstrzygnięcia kwestii czy był on kiedykolwiek żywą planetą.

Niezależnie od tych kosmicznych przedsięwzięć coraz większe zastępy naukowców⁶⁸, w coraz lepiej wyposażonych laboratoriach i z bagażem osiągnięć XX w. będą próbować zmierzyć się z zagadką życia. Jest możliwe, że niebawem się to uda.

⁶⁸ Liczba naukowców pracujących w XX w. jest daleko większa od ogólnej liczby naukowców pracujących we wszystkich wiekach poprzednich!

11. Przyszłe katastrofy

Wyobrażenie, że wszystkie katastrofy świat ma już za sobą jest najwyraźniej błędne. Przeciwnie, będą się one zdarzać nadal, a niektóre z nich nadejdą wkrótce i można jedynie mieć nadzieję, że nie za naszego życia. Przewidywanie przyszłych zdarzeń jest możliwe najczęściej wtedy, gdy są one wynikami poznanych procesów naturalnych, a w szczególności jeśli procesy te dają się opisać w języku matematyki.

Ruch ciał niebieskich dobrze opisują równania Newtona i Einsteina, które pozwalają precyzyjnie obliczyć ich położenie i prędkość w dowolnej chwili, jeśli tylko wielkości te znane są w chwilach poprzednich lub w tzw. chwili początkowej. Podobnie, na podstawie równań można obliczyć kiedy zgaśnie Słońce i jak proces gaśnięcia będzie przebiegał.

Bywa też, że przyszłość daje się dość precyzyjnie przewidzieć bez obliczeń matematycznych. Na ogół jest to możliwe dzięki znajomości historii danego zjawiska, szczególnie jeśli ma ono charakter cykliczny. Na tej zasadzie można przewidzieć, iż wieczorem nastąpi zachód Słońca bez znajomości zasad dynamiki Newtona.

Niestety w zdecydowanej większości przypadków nie są możliwe nawet szacunkowe prognozy. Powodem tego jest najczęściej nieznanie procesu albo też jego chaotyczność wyrażająca się zależnością od wielkiej ilości różnych czynników, których drobne zmiany są w stanie radykalnie zmienić przyszłość.

Zagrożeń jakie czyhają na ludzkość jest mnóstwo. Z większości nie zdajemy sobie w ogóle sprawy, ale niektóre przyszłe katastrofy można jednak przewidzieć.

Pierwszą katastrofą do jakiej zapewne dojdzie i jakiej pierwsze symptomy łatwo zauważyć będzie katastrofa biosfery. Niszczenie ekosystemów, jakiego codziennie dokonuje człowiek, może mieć w niedalekiej przyszłości opłakane skutki, którym niezmiernie trudno będzie zaradzić. Co gorsza, jak do tej pory, nie zdołano dostatecznie dobrze zrozumieć funkcjonowania ekosystemów, a w szczególności nie ustalono ich wrażliwości na działania jakich dopuszcza się człowiek. Ludzie nie zdołali też i nieprędko zdołają uniezależnić się od naturalnych źródeł pożywienia, a ich populacja w zastraszającym tempie rośnie. Wzrost ten pociąga za sobą stałe zwiększanie zużycia zasobów naturalnych a tym samym dalszą degradację ekosystemów. Wygląda na to, że z

punktu widzenia natury człowiek jest raczej bombą z opóźnionym zapłonem niż tryumfem procesu ewolucji. Wyewoluowanie rozumu, zdolnego do pojmowania jej mechanizmów, a zapewne w przyszłości samej istoty życia, stanowi paradoksalnie, śmiertelne dla niej zagrożenie. Biosfera może nie wytrzymać narzuconego tempa zmian, sama bowiem, w porównaniu z działaniami człowieka, ewoluuje niezwykle wolno i choć elastyczność organizmów żywych wyposażonych w DNA jest niewiarygodnie duża, to jednak ich możliwości adaptacyjne są skończone. Trzeba mieć tylko nadzieję, że człowiek zdoła powstrzymać swoje niszczycielskie zapędy, a dotychczasowe ekosystemy jakoś przetrwają gehennę, bezlitosnej eksploatacji.

Z drugiej strony trzeba przyznać, że homo sapiens opanował umiejętności adaptacyjne w stopniu mistrzowskim. Dzięki swoim wynalazkom może przebywać on w skrajnie niekorzystnych warunkach, co skłania do przypuszczeń, że zdoła jakoś przetrwać, nawet gdy bardzo zniszczy biosferę.

Jeśli przetrwa, będzie miał okazję stawienia czoła następnym katastrofom – przyszłym erom lodowcowym.

Anomalie pogodowe notowane już od początku lat 70. i odczuwane przez wszystkich stopniowe ocieplenie klimatu, świadczą o tym, że kolejne zlodowacenie może nadejść szybciej niż się spodziewamy. Być może stanie się to również z powodu działalności człowieka. Zwiększona emisja gazów cieplarnianych do ziemskiej atmosfery przyspiesza ocieplenie klimatu, to zaś z kolei przybliży nadejście zlodowacenia (mechanizm tego zjawiska był wcześniej omawiany). Do tego czasu technologie człowieka posuną się prawdopodobnie bardzo naprzód (nie sposób przewidzieć jakie cuda ludzie jeszcze wymyślą) ale ogólne ochłodzenie z pewnością przyniesie poważne problemy żywnościowe. Tym poważniejsze, że będą one spotęgowane poprzez daleko posuniętą degradację biosfery oraz przeludnienie. Spadek średniej temperatury rocznej i wilgotności na dużych obszarach kuli ziemskiej jest w stanie poważnie zagrozić światowej gospodarce, silnie zależnej od wegetacji roślin uprawnych.

Dużym zagrożeniem, o trudnych do przewidzenia skutkach, może być także zachwianie obiegu dwutlenku węgla w Ziemskiej atmosferze. Jest to proces bardzo wolny, ale stanowi jeden z podstawowych czynników umożliwiających istnienie życia. Mars i Wenus – najbliższe nam planety nie wykształciły takiego obiegu i m. in. dlatego pozostały martwe, choć w przeszłości były one do Ziemi bardzo podobne. Obecnie Mars z powodu braku dwutlenku węgla jest zbyt zimny, Wenus zaś bardzo gorąca, wskutek nadmiaru tego gazu. Nadwyżki ziemskiego dwutlenku węgla są pochłaniane

m. in. przez organizmy żywe, które obumierając tworzą z czasem skały osadowe, te zaś subdukcyjnie⁶⁹ dostają się do wnętrza Ziemi gdzie stopione z powrotem oddają do atmosfery dwutlenek węgla poprzez erupcje wulkaniczne. Na zachwianie tego obiegu naturalnego mają wpływ dwa działające równocześnie czynniki ludzkie: zwiększona emisja dwutlenku węgla do atmosfery i niszczenie biosfery.

Śmiertelne zagrożenie może przyjść w każdej chwili z najbliższej okolicy kosmosu np. w postaci bliskiego wybuchu supernowej, uderzenia w Ziemię choćby nawet niewielkiego meteorytu lub zdarzeń, o których niewiele albo w ogóle jeszcze nic nie wiadomo.

O ile wybuch pobliskiej supernowej to czysta spekulacja o tyle uderzenie meteorytu jest całkiem realne. Tego typu katastrofy nie należą do rzadkości a Ziemia, pomimo erozji, wciąż nosi ich liczne ślady. Są też one odpowiedzialne za przynajmniej jeden exodus życia. Nie wykluczone, że kiedyś ludzie podzielał los dinozaurów, które niepodzielnie panowały na Ziemi aż przez 160 mln lat.

Kosmiczny gruz stanowi ciągle poważne zagrożenie, na które ludzie nie są w ogóle przygotowani.

Tak czy inaczej w odległej przyszłości historia ziemskiej biosfery zakończy się definitywnie. Za ok. 3 mld lat Droga Mleczna wchłonie Wielki Obłok Magellana, a ok. 0,7 mld lat później zderzy się z Galaktyką Andromedy. Tego typu kosmiczne kolizje nie należą wcale do rzadkości. Astronomowie zaobserwowali wiele obiektów stanowiących różne stadia takiego wydarzenia. Jeśli zderzenie nie będzie centralne, wtedy ewentualne szkody ograniczą się do utraty gwiazd z zewnętrznych części jednej lub obydwu galaktyk. Niestety nasz Układ Słoneczny znajduje się właśnie w takim peryferyjnym rejonie. Zderzenie centralne spowoduje zaś zlanie się ze sobą obydwu galaktyk w jedną galaktykę eliptyczną czemu zwykle towarzyszy wyrzut strumieni gazu z dysku galaktycznego w przestrzeń kosmiczną. Ponieważ kolidujące galaktyki są ciałami o bardzo małej średniej gęstości istnieje duża szansa, że Układ Słoneczny wraz z Ziemią przetrwają to zderzenie choć z pewnością odczują jego skutki.

Za około 4,5 mld lat Słońce, nasza najbliższa gwiazda, wyczerpie zapas wodoru i rozpocznie spalanie helu. Przejdzie ono wtedy w fazę czerwonego olbrzyma ponad stukrotnie powiększając swoją średnicę. Średnia temperatura na powierzchni Ziemi sięgnie 1200 °C, co będzie równoznaczne z definitywnym końcem życia na niej. Ludzie

⁶⁹ Subdukcja jest procesem zachodzenia na siebie poruszających się płyt kontynentalnych skutkiem czego niższe warstwy skał osadowych wpychane są w głąb Ziemi i zatapiane w magmie.

jednak, dzięki swoim wynalazkom i uzyskanym z ich pomocą zdolnościom adaptacyjnym znajdą sobie zapewne miejsce do życia gdzieś w innej oazie wszechświata. Słońce tym czasem skurczy się i przejdzie przez kolejne przemiany, a po 10 mld lat stanie się zimnym ciemnym obiektem tzw. czarnym karłem. Ludzie, o ile tak długo przetrwają, zasiedlą pewnie w tym czasie inne układy planetarne i będą mieli za sobą co najmniej drugą przeprowadzkę. Po upływie 50 mld lat wszechświat ochłodzi się do ok. 1 K i potroi swoje rozmiary.

Scenariusz ten może mieć w zasadzie dwa zakończenia. Jeśli gęstość materii we wszechświecie przekracza granicę gęstości krytycznej tj. 3 atomy wodoru w m^3 to po ok. 100 mld lat nastąpi wielka zapaść czyli powrót do stanu sprzed Wielkiego Wybuchu i nic się wtedy nie uratuje. Nawet bliskie nam cząstki elementarne jak protony czy neutrony zginą w powodzi kwarków i antykwarków.

Dużo szersze perspektywy niosą scenariusze wszechświata płaskiego lub otwartego, które spełnią się jeśli średnia jego gęstość jest odpowiednio równa lub większa od gęstości krytycznej. Wtedy ekspansja nie będzie mieć końca. Obydwa rozszerzać się będą w nieskończoność. Po bilionie lat zgasną wszystkie gwiazdy. Trylion lat wystarczy aby galaktyki stały się czarnymi dziurami, a po milionie tryliardów lat to samo stanie się z gromadami galaktyk. Dalej brakuje nazw liczb. Ostatecznie, po niewyobrażalnie długim czasie wszystko stanie się niezwykle zimnym, zmierzającym do temperatury 0 K, promieniowaniem. Wydaje się, że to zakończenie, choć znacznie dłuższe, jest także pesymistyczne dla życia.

Tak czy inaczej kiedyś nastąpi jego ostateczny kres.

12. Zakończenie

Zarysowany tu zaledwie obraz, lokujący nasz świat i nas samych pośród sił przyrody, na które nie mamy prawie żadnego wpływu, może się wydać bardzo przygnębiający. Możliwy tu przyrównać go do wielkiego mrowiska zamieszkiwanego przez dumne ze swojego zbiorowego dokonania mrówki, nieświadome jednocześnie rozległości i złożoności lasu oraz tego co istnieje poza nim, a także związanych z tym zagrożeń. Taka nieświadomość jest nie tylko przygnębiająca ale wręcz przerażająca. Jedno przewrócone drzewo może przecież łatwo położyć kres egzystencji mrowiska i nie będzie to jakaś szczególna złośliwość losu – ot zwykłe, naturalne dla lasu zdarzenie.

Taki wydźwięk tej książki nie wynika jednak, bynajmniej, z mojego nastawienia do rzeczywistości ale z wymowy faktów, które postarałem się tu tylko zebrać.

Osobiście jednak uważam, że daleko bardziej od nich przygnębiająca jest, mimo znacznych postępów w nauce, nasza wciąż rozległa niewiedza. Siły i procesy, z grubsza przez nas poznane to przypuszczalnie tylko wierzchołek góry lodowej, której istnienia możemy się tylko domyślać.

U progu XX w. panowało przekonanie, że do rozwiązania pozostało tylko kilka mniej istotnych problemów. Zaraz potem okazało się, iż do ich zrozumienia konieczne było sformułowanie nowych teorii, które zupełnie zmieniły nasze pojmowanie świata.

Historia nauki pełna jest stwierdzeń podobnych do tego jakie wyraził Max Born po zapoznaniu się z pracą Diraca: „fizyka będzie ukończona w ciągu sześciu miesięcy”⁷⁰. Od tego momentu minęło ponad 70 lat, a końca fizyki nie widać. Gorzej, ilość zagadnień jakimi się ona zajmuje stale rośnie, a zajmujący się nimi specjaliści napotykają nowe gęstsze problemy. Za kluczowymi zagadnieniami, które być może niedługo uda się rozwiązać zapewne kryją się kolejne – znacznie trudniejsze.

Niezależnie od tego należy też podkreślić, że nasza wiedza ścisła właściwie ogranicza się tylko do świata materialnego. Mimo licznych i stale podejmowanych wysiłków nie zdołaliśmy przetrząsnąć choćby wąskiej kładki między sferami materialną i duchową, a ta ostatnia przecież niezaprzeczalnie istnieje. Nie mam tutaj na myśli jakichś zjawisk paranormalnych (nie znam ani jednej naukowej publikacji mogącej świadczyć o ich

⁷⁰ Pod koniec XX w. też pojawiały się takie zapowiedzi.

istnieniu), ale rozległy obszar ludzkiego ego, na którego gruncie mogą rodzić się wyższe uczucia. Nasza znajomość matematyki, a co za tym idzie zdolność ścisłej analizy układów o wielkim stopniu złożoności wydaje się daleko niewystarczająca.

Dychotomia świata jest bardzo smutna i rodzi wiele nieporozumień między tymi, którzy widzą tylko fizyczne jego aspekty, a tymi, dla których nie są one w ogóle istotne. Nie ma sensu jednak podważać istnienia obydwu tych aspektów oraz faktu, że wpływają one na nasze postrzeganie i rozumienie świata. Składa się nań bowiem zarówno obiektywna rzeczywistość jak i subiektywizm naszego jej postrzegania, dzięki którym jest ona dla nas obiektem niesłychanie ciekawym.

Warszawa 1. 01. 2001 r.

Spis literatury

Książki

1. Adams D., Cawardine M., Ostatnia okazja by ujrzeć, Zysk i S-ka, Poznań 1998.
2. Borówka K. R., Wielka encyklopedia geografii świata, Wyd. Kurpisz, Poznań 1996.
3. Brockman J., The third Culture, Simon & Schuster, 1995.
4. Calvin H. W., The ascent of mind, Bantam 1990.
5. Chandrasekhar S., Prawda i piękno. Estetyka i motywacja w nauce, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.*
6. Chomiński L., Śladami życia na Ziemi, LSW Warszawa 1953.
7. Coveney P., Highfield R., Strzałka czasu, Zysk i S-ka, Poznań 1997.
8. Darwin R. C., The origin of species by means of natural selection, wyd. 6., Gutenberg Project.
9. Davis P., Ostatnie trzy minuty, CIS Warszawa 1995.
10. Dawkins R., Samolubny gen, Prószyński i S-ka, Warszawa 1996.
11. Dawkins R., Wspinaczka na szczyt nieprawdopodobieństwa, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
12. Demiański M., Astrofizyka relatywistyczna, PWN, Warszawa 1978.*
13. Desonie D., Kosmiczne katastrofy, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.
14. Ditfurth H., Duch nie spadł z nieba, PIW, Warszawa 1980.
15. Ditfurth H., Dzieci wszechświata, PIW, Warszawa 1978.
16. Ditfurth H., Na początku był wodór, PIW, Warszawa 1989.
17. Ditfurth H., Nie tylko z tego świata jesteśmy, PAX, Warszawa 1985.
18. Einstein A., Grawitacja, oprac. pod red. W. Kruczka t. 3, Biblioteka Dydaktyczna Zespołu Metodologii Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.*
19. Einstein A., Historia i filozofia teorii względności, oprac. pod red. W. Kruczka t. 2, Biblioteka Dydaktyczna Zespołu Metodologii Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.*
20. Einstein A., Szczególna teoria względności, oprac. pod red. W. Kruczka t. 1,

* Gwiazdką oznaczone są pozycje wymagające, dla ich pełnego zrozumienia, dobrej znajomości matematyki.

Biblioteka Dydaktyczna Zespołu Metodologii Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983.*

21. Gould J. S., Niewczesny pogrzeb Darwina”, PIW, Warszawa 1991.
22. Halpern P., Struktura wszechświata, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
23. Hawking W. S., Czarne dziury i wszechświaty niemowlęce oraz inne eseje, Zysk i S-ka, Poznań 1997.
24. Hawking W. S., Krótka historia czasu, Alfa Warszawa 1990.
25. Hoffman A., Wokół ewolucji, PIW, Warszawa 1997.
26. Hubble E., Weinberg S., Sagan C., Trefil J. i in., Skarby astronomii, Amber, Warszawa 1997.
27. Jaroszyński M., Galaktyki i budowa wszechświata, PWN, Warszawa 1993.
28. Kopczyński W., Trautman A., Czasoprzestrzeń i grawitacja, PWN, Warszawa 1984.*
29. Leakey R., Lewin R., Szósta katastrofa, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.
30. Narlikar J., Struktura Wszechświata, PWN, Warszawa 1985.
31. Postgate J., Człowiek i drobnoustroje, PWN, Warszawa 1994.
32. Rees M., Przed początkiem, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.
33. Reichholf H. J., Zagadka rodowodu człowieka, PWN, Warszawa 1992.
34. Smolin L., Życie wszechświata, Alkazar, Warszawa 1997.
35. Sproule A., Karol Darwin, Czytelnik, Warszawa 1991.
36. Trinh Xuan Thuan, Ukryta melodia, Zysk i S-ka, Poznań 1998.
37. Weinberg S., Pierwsze trzy minuty, ISKRY, Warszawa 1980.
38. Weinberg S., Sen o teorii ostatecznej, Alkazar, Warszawa 1994.

Artykuły

1. Allègre J. C., Schneider H. S., Ewolucja Ziemi, Świat Nauki nr 12, 1994.
2. Alley B. R., Bemder L. M., Czas zamrożony w lodach Grenlandii, Świat Nauki nr 4, 1998.
3. Arani-Hamed N., Dimopoulos S., Dvali G., Dodatkowe wymiary wszechświata, Świat Nauki, nr 11, 2000.
4. Borenstein P. M., Sandford A. S., Allamandola J. L., Pozaziemskie cząsteczki życia, , Świat Nauki nr 9, 1999.
5. Bothun G., Fantomatyczne Galaktyki, , Świat Nauki nr 4, 1997.

6. Calvin H. W., Jak powstała Inteligencja, Świat Nauki nr 12, 1994.
7. Cronin W. J., Gaisser K. T., Swordy P. S., Promienie kosmiczne, Świat Nauki nr 3, 1997.
8. Cullen M. H., deMenocal P. B., i in., Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea, Geology nr 4, 2000.
9. Cullen M. H., deMenocal P. B., North Atlantic influence on Tigris-Euphrates streamflow, International Journal of Climatology nr 29, 2000.
10. Czerny B., Historia Mlecznej Drogi, Postępy Astronomii, nr 3, 2000.
11. Dąbrowski P. D., Oscylujące wszechświaty, Wiedza i Życie nr 2, 1997.
12. de Duve C., The beginnings of life on Earth, American Scientist, 9-10, 1995.
13. deMenocal P. B., Archer D., Leth P., Pleistocene variations in Atlantic deep circulation and calcite burial: A combined data-model approach, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, nr 154, 1997.*
14. deMenocal P. B., Baker L., Data report: Benthic stable isotope data from sites 1014 and 1020 (0.6-1.2 MA), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, nr 167, 2000.
15. deMenocal P. B., Ortiz J., Guilderson T., Sarnthein M., Coherent high-and low latitude climate variability during the Holocene warm period, Science nr 228, 2000.
16. deMenocal P. B., Plio-Pleistocene African climate, Science nr 270, 1994.
17. Demiański M., Nowy, wspaniały wszechświat, Wiedza i Życie nr 2, 1997.
18. Doolittle F. W., Filogeneza na rozstajach, Świat Nauki, nr 5, 2000.
19. Duff J. M. Powrót teorii strun, , Świat Nauki nr 4, 1998.
20. Erwin H. D., Największe z wielkich wymierań, Świat Nauki nr 9, 1996.
21. Fagan M. B., Introduction to archeology, The Regents of the University of California, 1999-2000.
22. Fishman J. G., Hartmann H. D., Błyski gamma, , Świat Nauki nr 9, 1997.
23. Gould J. S., Ewolucja życia na Ziemi, Świat Nauki nr 12, 1994.
24. Halliwell J. J., Kosmologia kwantowa i stwarzanie wszechświata, Świat nauki nr 2, 1992.
25. Hogan J. C., Pierwotny deuter a Wielki Wybuch, , Świat Nauki nr 2, 1997.
26. J. V. Torrence, Misja Galileo do Jowisza i jego księżyców, Świat Nauki, nr 5, 2000.
27. James P., Peebles E., Schramm N. D., Turner L.E., Kron G. R., Ewolucja

- wszechświata, Świat Nauki nr 12, 1994.
28. Kaku M., Co się wydarzyło przed Wielkim Wybuchem, Wiedza i Życie nr 2, 1997.
 29. Karl R. T., Trenberth E. K., Wpływ człowieka na klimat, Świat Nauki, nr 1, 2000.
 30. Kirshner P. R., Pierwiastki Ziemi, Świat Nauki nr 12, 1994.
 31. Kotliński R., Musielak S., Rozwój oceanów, Wiedza i Życie nr 8, 1998.
 32. Laskar J., Księżyc a powstanie życia na Ziemi, Świat Nauki nr 11, 1994.
 33. Leakey M., Walker A., Australopitek znad afrykańskiego jeziora, Świat Nauki nr 8, 1997.
 34. Liss M. T., Tipton L. P., Odkrycie kwarka top, Świat Nauki nr 11, 1997.
 35. Luu X. J., Jewitt C. D., Pas Kuipera, Świat Nauki nr 7, 1996.
 36. Macchetto D. F., Dickinson M., Galaktyki w młodym wszechświecie, Świat Nauki nr 7, 1997.
 37. Maclay J. G., Analysis of zero-point electromagnetic energy and Casimir forces in conducting rectangular cavities, Physical Review A, nr 61, 2000.*
 38. Maddox J., Nieprzewidywalna przyszłość nauki, Świat Nauki, nr 1, 2000.
 39. Mariak Z., Afrykańskie wypiekanie, Wiedza i Życie nr 10, 1997.
 40. Nakamura T., Umeda H., Nomoto K., Thielemann F-K., Burrows A., Nucleosynthesis in type II Supernovae and the abundances in metal-poor stars, Astrophysical Journal, 1998*.
 41. Pieńkowski A., Tykanie izotopowego zegara, Wiedza i Życie nr 4, 1998.
 42. Pieńkowski A., Wiek Ziemi, Wiedza i Życie nr 4, 1998.
 43. Pieńkowski A., Wiercenia w dnie oceanu odsłaniają tajemnicę z życia Ziemi, Wiedza i Życie nr 8, 1997.
 44. Raup D., Sepkoski J., Marine fossil record shows extinctions happened at regular times, Conference at Northern Arizona University 1983.
 45. Ray P. T., Gejzery młodości. Burzliwe początki życia gwiazd, Świat Nauki, nr 11, 2000.
 46. Rebek J. Jr., Syntetyczne samoreplikujące się cząstki chemiczne, Świat Nauki nr 9, 1994.
 47. Sagan C. Poszukiwanie życia pozaziemskiego, Świat Nauki nr 12, 1994.
 48. Sandweiss H. D., Maasch A. K., Anderson G. D., Transitions in the Mid-Holocene, Science nr 283, 1999.

49. Strzałko J., Kaszycka, A. K., Kujawa B., Najpiękniejsza jest przeciętna, Wiedza i Życie nr 5, 1996.
50. Susskind L., Czarne dziury i paradoks informacji, Świat Nauki nr 6, 1997.
51. Swerpiel S., Niezwykła pętla, Wiedza i Życie nr 9, 1998.
52. Tarter C. J., Chyba F. C., Pozaziemskie cywilizacje, Świat Nauki, nr 1, 2000.
53. Tattersall I., Pożegnanie z Afryką, Świat Nauki nr 6, 1997.
54. Taylor G. J., Naukowa spuścizna programu Apollo, Świat Nauki nr 9, 1994.
55. Weinberg S., Czy uda się do roku 2050 zunifikować fizykę?, Świat Nauki, nr 1, 2000.
56. Weinberg S., Życie we wszechświecie, Świat Nauki 1994.
57. Wilde P., Berry N. B. W., Destabilization of the oceanic density structure and its significance to marine "extinction" events, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, nr 48 1984.
58. Wong K., Ancestral Quandary, Scientific American nr 1, 1998.
59. Wong K., Kim byli Neandertalczyki?, Świat Nauki, nr 6, 2000.
60. Wong K., Rozstanie z „pożegnaniem z Afryką”?, Świat Nauki nr 10, 1999.
61. Wynn C. J., Shoemaker M. E., Kiedy piaski zajaśniały ogniem, Świat Nauki nr 1, 1999.
62. Zorpette G., Dlaczego na Marsa?, Świat Nauki, nr 6, 2000.

Wybrane strony Internetowe

1. Archeolog news archive, www.tamu.edu/anthropology/newsarch.html
2. Archiwum listy dyskusyjnej „Przyroda”, darwin.iz.uj.edu.pl/przyroda/archiwum.html
3. Calvin H. W., Climate instability and hominid brain evolution, WilliamCalvin.com.
4. Calvin H. W., The great climate flip-flop, WilliamCalvin.com/climate, 1998, www.theatlantic.com/issues/98jan/climate.htm.
5. Dijkgraaf R., String theory, turing.wins.uva.nl/~rhd/string_theory.html.
drake-bg.html.
6. Dyskusja pomiędzy subskrybentami internetowej listy dyskusyjnej „Przyroda”, zredagowana w Biuletynie Antropologicznym nr 2, 1998,

www.archeo.uw.edu.pl/antropologia/biuletyn/Dysku-1.htm.

7. Ferris P. J., Studies on the origins of Life: The formation of the RNA world, www.origins.rpi.edu/chem.html.
8. Grant B., The origins of life: Prebiotic evolution and the precambrian fossil record, www-micro.msb.le.ac.uk/109/Origins.html.
9. Kahn C., Freshwater flood cooled atmosphere for centuries at end of the Ice Age, cjonline.com/stories/072229/new_flood.shtml.
10. Kahn C., Freshwater flood cooled the atmosphere at the end of the Ice Age, www.canoe.ca/CNEWSScience9907/22_ice.html.
11. Percy J., Black holes, www.aspsky.org/education/tnl/24/24.html
12. Silk J., Big Bang nucleosynthesis, cfpa.berkeley.edu/darkmat/bbn.html.
13. Sleep H. N., Plate tectonics and the evolution of climate, www.agu.org/revgeophys/sleep00/sleep00.html.
14. Szeleper M., A brief introduction to Supersymmetry, www.fuw.edu.pl/~michals/susy.html.
15. The SETI Institute, Drake equation, www.seti-inst.edu/science/
16. Thinking ahead about climate change, The Calvin Bookshelf Climate Collection, WilliamCalvin.com/bookshelf/climate.htm, (obszerna bibliografia temetu z komentarzami Williama Calvina).
17. Upham W., The glacial lake Agassiz, www.lib.ndsu.nodak.edu/govdocs/text/lakeagassiz/.
18. Wolsh B., Origins of life, nitro.biosci.arizona.edu/courses/EEB105/lectures/Origins_of_Life/