

Ziemia wraz ze swą pierwotną atmosferą powstała z obłoku materii międzygwiazdowej. Nic więc dziwnego, że skład owej atmosfery w pełni odzwierciedlał proporcje zawartości podstawowych pierwiastków we Wszechświecie. Choć była to materia wzbogacona już w pierwiastki ciężkie (przypomnijmy: Słońce jest gwiazdą I populacji, powstało więc z gazu częściowo przetworzonego we wnętrzu innych gwiazd), zdecydowanie dominowały w niej wodór i hel, zawartość pozostałych składników była znikoma. W niczym nie przypominała naszej dzisiejszej atmosfery, której skład jest dość dziwny jak na warunki kosmiczne. Powszechnie akceptowana obecnie hipoteza objaśniająca osobliwości składu naszej atmosfery wskazuje, że powstała ona w czasie, gdy Ziemia już była uformowana i z pierwotną otoczką gazową nie ma nic wspólnego.

Na małych protoplanetach, relatywnie niewielkich skupiskach materii, najlżejsze pierwiastki ulegają (ze względu na małą – znów relatywnie – grawitację) rozproszeniu w przestrzeń międzygwiazdową. Należałoby więc oczekiwać, że w atmosferach małych planet wodoru i helu będzie mało. I, jeśli chodzi o hel, oczekiwanie takie jest uzasadnione. Z wodorem sprawa jest jednak bardziej złożona.

Mała masa tworzącej się planety sprzyja nie tylko utracie lekkich pierwiastków, lecz także szybkiemu stygnięciu. A niższa temperatura umożliwia tworzenie się związków chemicznych (nieobecnych przy temperaturach gwiazdnych). Z tego właśnie powodu utrata wodoru była mniej intensywne niż helu – wodór był obecny w atmosferze (co wówczas oznaczało najlżejszą i dlatego zewnętrzną warstwę gazów protoplanety) jako  $\text{CH}_4$  (metan),  $\text{NH}_3$  (amoniak) i  $\text{H}_2\text{O}$  (woda). A one, jako cięższe od cząsteczkowego wodoru (i helu także), mniej były podatne na ucieczkę w przestrzeń.

Aktywność chemiczna wodoru jest tak wielka, że dość szybko w atmosferze Ziemi praktycznie nie pozostał wolny ani wodór, ani tlen, ani azot. Wśród związków wodoru największe znaczenie miała woda (ma zresztą

to znaczenie dla Ziemi do dziś). Skraplając się w górnych warstwach atmosfery spadała na niższe położone warstwy w postaci deszczów padających miliony lat. W zetknięciu z niższymi warstwami natychmiast parowała i wędrowała do góry, skąd strumieniami ulewy spadała ponownie przyspieszając w ten sposób bardzo wydatnie chłodzenie Ziemi, a co za tym idzie – wyodrębnienie się znanych nam do dziś składowych Ziemi: jądra (gorącego, złożonego z najcięższych pierwiastków, ciągle jeszcze płynnego), skorupy (chłodnej, złożonej z pierwiastków lżejszych, od ponad 4 miliardów lat stałej) i atmosfery gazowej. Z czasem (gdy chłodzona w ten sposób skorupa dostatecznie ostygła) padająca woda zaczęła formować zaczątki dzisiejszych oceanów.

Ten etap rozwoju atmosfery mógł być podobny dla wszystkich planet naszego układu lub przynajmniej dla planet mniejszych. Zapewne około 4 miliardów lat temu wszystkie otoczone były atmosferami wodno-amoniakalno-metanowymi. Dalej drogi zmian rozchodzą się.

## Skład chemiczny atmosfer Wenus, Ziemi, Marsa i Jowisza

Gaz	Zawartość objętościowa [%]			
	Wenus	Ziemia	Mars	Jowisz
Wodór $\text{H}_2$	$< 10^{-3}$	$< 5 \cdot 10^{-5}$	–	86
Tlen $\text{O}_2$	$< 10^{-3}$	21	0,1	–
Ozon $\text{O}_3$	(?)	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-5}$	–
Azot $\text{N}_2$	3,5	78,1	2,5	–
Siarka $\text{S}_2$	$\approx 2 \cdot 10^{-5}$	–	–	–
Dwutlenek węgla $\text{CO}_2$	96,5	$3 \cdot 10^{-2}$	95	–
Para wodna $\text{H}_2\text{O}$	$\approx 0,2$	$\approx 0,1$	0 – 0,2	*
Tlenek węgla $\text{CO}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	0,08	–
Metan $\text{CH}_4$	$< 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,04
Amoniak $\text{NH}_3$	$< 2 \cdot 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	0,06
Dwutlenek siarki $\text{SO}_2$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$< 10^{-6}$	–
Chlorowodór $\text{HCl}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	–
Fluorowodór $\text{HF}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-7}$	–
Acetylen $\text{C}_2\text{H}_2$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-6}$	$< 5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Etan $\text{C}_2\text{H}_6$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$	$< 4 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$
Fosforowodór $\text{PH}_3$	–	$< 10^{-5}$	–	*
Gazy szlachetne				
He	$10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	–	14
Ne	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	–	–
Ar	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,9	1,5	–
Kr	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	–
Xe	–	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	–
Średnia masa cząsteczkowa	43,5	28,8	43,5	2,3
Masa planety	0,82	1,00	0,12	317,8

\* Ilości śladowe

Zdecydowaną, występującą dziś, odrębność atmosfery ziemskiej wyjaśnia się na ogół ingerencją życia. Z rozpuszczonego w oceanach metanu i amoniaku zaczęły powstawać cukry, gliceryna, kwasy tłuszczowe, aminokwasy, pirymidyny, puryny, dalej tłuszcze, lipidy, enzymy, nukleotydy, kwasy nukleinowe, wreszcie nukleoproteidy, które można już uważać za żyjące (bo rozmnażają się i odżywiają). One też postarały się o otoczkę organiczną, wraz z którą mogły aspirować do dumnych nazw protowirusów i pierwotnych bakterii.



O znaczeniu życia dla rozwoju i przemian

Ziemi można przeczytać w artykule

W. J. H. Kunickiego-Goldfingera. Tu zaznaczamy tylko w skrócie podstawowe etapy zmian atmosfery i życia w ich wzajemnym powiązaniu. Działalność życiowa pierwotnych organizmów wprowadziła do atmosfery nowy składnik – CO<sub>2</sub> (dwutlenek węgla) – produkt fermentacji (bo tlenu do oddychania, jako się rzekło, nie było). Obecność znaczących ilości CO<sub>2</sub> (nie mógł on pochodzić np. z wulkanów – znów brak tlenu) umożliwiła nowy etap życia – fotosyntezę (potrzebny magnez – bez którego nie ma chlorofilu – jako stosunkowo lekki był „pod ręką” w skorupie ziemskiej).

Wytwarzany przez fotosyntezę tlen był wprowadzany do atmosfery w takiej ilości, że organizmom żywym umożliwił oddychanie, przemienił czysty krzem w znany dziś piasek i kwarc, aluminium w glinę i boksyty, żelazo w rudy itd., a jeszcze starczyło go, by wytworzyć ozon (chroniący życie przed promieniowaniem kosmicznym) i pozostać w znacznych ilościach w atmosferze. Analogiczny (bo też będący produktem życia) proces wejścia wolnego azotu cząsteczkowego w skład atmosfery opisany jest w przytoczonym artykule W. J. H. Kunickiego-Goldfingera.

W ten sposób około 2 miliardów lat temu atmosfera Ziemi stała się podobna do tej, jaką znamy dziś. Spójrzmy na nią teraz jak na obiekt ustabilizowany.

Wobec ciągłego procesu wymiany cząstek wszystkie trzy składowe Ziemi (stałą, ciekłą i gazową) można traktować jako część tego samego układu fizycznego, w którym następuje przepływ masy, energii i pędu. Atmosfera jest więc, tak jak skorupa ziemska i oceany, częścią planety, pochodzi „z jej wnętrza”, ewoluuje razem z pozostałymi składowymi, wraz z nimi uczestniczy w ruchu obrotowym, podobnie jak oceany podlega działaniu sił pływowych ze strony Słońca i Księżyca. Taki jest obraz globalny Ziemi – planety z atmosferą, atmosferą pozornie niewiele znaczącą, jeśli wziąć pod uwagę jej znikomą małą masę (zaledwie 10<sup>-6</sup> masy Ziemi), jak też niewielkie rozmiary (99% powietrza atmosferycznego jest zawarte w warstwie o grubości nie przekraczającej 30 km, gdyby więc Ziemię porównać do jabłka, atmosfera odpowiadałaby zaledwie jego skórcie). Kto jednak zechciałby pokusić się o bardziej wnikliwy opis procesów zachodzących w atmosferze, natychmiast przekona się, że obraz szczegółowy jest nieporównanie bardziej skomplikowany.

Wystarczy choćby zastanowić się nad przyczyną występowania tak powszechnego zjawiska, jakim jest wiatr. Nie jest nią, jak sądzą niektórzy, względne przemieszczanie obracającej się Ziemi pod warstwą nieruchomego (nie obracającego się) powietrza. Przy odrobinie wyobraźni łatwo przewidzieć, jak katastrofalne byłyby skutki wiatru wiejącego nieustannie z szybkością około 500 m/s na równiku,

nawet w naszych szerokościach geograficznych dochodzącego do 300 m/s. Za istnienie wiatrów wielkoskalowych (tzw. globalnej cyrkulacji atmosfery) odpowiedzialne jest Słońce, a ściślej nierównomierne nagrzewanie się różnych rejonów powierzchni Ziemi i przylegających do nich warstw atmosfery. Obszary polarne otrzymują średnio znacznie mniej ciepła niż równikowe. Ciepłe powietrze znad równika unosi się ku górze, tak że w dolnych warstwach atmosfery ciśnienie obniża się, w górnych zaś podwyższa. Powstaje prąd wznoszący w rejonie okołorównikowym i prąd opadający w wyższych szerokościach geograficznych wraz z jednoczesnym przepływem powietrza od równika ku biegunom w górnej atmosferze i od bieguna do równika przy powierzchni Ziemi. Słowem, cyrkulacja powietrza wywołana różnicą ciśnień zachodzi w kierunku północ-południe (tzw. cyrkulacja południkowa). Na tym jednak nie koniec. Pora na uwzględnienie obrotu planety, który w tym przypadku da o sobie znać w postaci siły Coriolisa. Skoro atmosfera rotuje wraz z Ziemią, cząstki powietrza nad równikiem mają większy moment pędu ( $m\omega r^2$ , gdzie  $m$  – masa cząstki,  $\omega$  – prędkość kątowna rotacji,  $r$  – odległość od osi obrotu) niż na jakiegokolwiek innej szerokości geograficznej. Z fizycznego punktu widzenia w nieinercyjnym układzie odniesienia związanym z rotującą Ziemią działa na cząstki pozorną siłę prostopadłą do pierwotnego kierunku północ-południe. Jest to właśnie siła Coriolisa. Powietrze przemieszczając się więc od równika ku biegunom wyprzedza Ziemię w jej obrocie, co jest przyczyną powstawania składowej równoleżnikowej (w kierunku wschód-zachód) wiatru. Gdy siła Coriolisa i gradient ciśnienia równoważą się, wieje tzw. wiatr zrównoważony, równoległy do izobar. Na co dzień pojęcie wiatru zrównoważonego może wydawać się niezbyt użyteczne, skoro i tak jesteśmy przyzwyczajeni do tego, że wiatr rzeczywisty wieje z dość dowolnych kierunków. A jednak, dla pewnych celów może być ono całkiem sensowne, o czym niech zaświadczy prosty przykład. Samoloty kursujące między Nowym Jorkiem a Warszawą potrzebują o około 10% mniej czasu na przelot do Warszawy niż z powrotem, ponieważ na wysokościach ich przelotu nad Oceanem Atlantyckim wieje wyraźny wiatr zachodni (zawsze!).

Wciąż jednak opis powyższy jest tylko pierwszym przybliżeniem znacznie bogatszej rzeczywistości. Brałszy pod uwagę jedynie rolę czynników wielkoskalowych, tj. energii cieplnej pochodzenia słonecznego i znaczenie obrotu Ziemi. W dalszym przybliżeniu należałoby uwzględnić hamujący wpływ siły tarcia o powierzchnię Ziemi, nierównomierności w nagrzewaniu się obszarów lądów i oceanów, dobowe wahania temperatury i całe mnóstwo innych czynników. Przewidywania rozwoju procesów atmosferycznych w mniejszych skalach są niezwykle złożone, czego doświadczamy często wysłuchując chybionych prognoz pogody.